



DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EXTENSIÓN TECNOLÓGICA MULTIDISCIPLINARIA PARA LA INNOVACIÓN SOCIAL

COORDINADORES:

ALBA MERCADO HERRERA

ALEJANDRO GARCÍA QUINTERO

FABIOLA LANGO REYNOSO

JOSÉ PROUDINAT SUAREZ

MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

RUBÉN DARÍO RODRÍGUEZ URRETA

ISBN: 978-607-59391-2-4



9 786075 939124

 **Grupo de Ediciones
y Publicaciones
Xalapa S.A. de C.V.**

DIVULGACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y EXTENSIÓN TECNOLÓGICA MULTIDISCIPLINARIA PARA LA INNOVACIÓN SOCIAL

COORDINADORES:

ALBA MERCADO HERRERA, ALEJANDRO GARCÍA QUINTERO, FABIOLA LANGO REYNOSO, JOSÉ PROUDINAT SUAREZ, MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ, RUBÉN DARÍO RODRÍGUEZ URRETA

AUTORES

Abimael Lagunes Castro, Adalberto Galindo Alcántara, Adolfo Rodríguez Parada, Agustín Lagunes Domínguez, Alba Mercado Herrera, Aldo Antonio Castañeda Villanueva, Alejandra Ramírez Martínez, Alejandro Muñoz Aldape, Alessandra Alfonso Utrera, Alicia Eugenia Puertovannetti Arroyo, Alma Patricia Murillo Brenis, Amado Enrique Navarro Frómata, Amara Jiménez Chávez, Ana María Chiunti Hernández, Ana María Mendoza Martínez, Ana Mercedes Echevarría Betanzo, Ana Roselyn Pérez Méndez, Ana Rugerío Suárez, Andrés Castañeda Morales, Ángel Rafael Lara Hernández, Angélica del Carmen López Toto, Arleth Castro García, Armando Adriano Fabre, Armando Gómez Vázquez, Armando Lozada García, Arturo García Saldaña, Belem Anahy Estrella Jordán, Benigno Ortiz Muñiz, Benito Bernardo Dzib Castillo, Berenice Ángel Hernández, Bexidui Anai Pineda Castillo, Blanca Rosa Zamudio Rodríguez, Carlos García Acedo, Carlos Poot Delgado, Carlos Quiroz Aparicio, Carolina Barrientos Salcedo, Cecilia Vázquez Jiménez, Christian Reyes Velazquez, Cinthya Alejandra Sosa Villalobos, Citlalmina Morales Jiménez, Clara Ivonne Ruiz Reyes, Clara Luz Gallegos Parra, Claribel Ventura Lázaro, Claudia María Hernández Rincón, Cuauhtémoc García León, Dámaris Rasgado Gómez, David Salas Monreal, Diego Platas Rosado, Edgar Arturo Chávez Urbiola, Edith Beatriz Olivares Pérez, Eduardo Torres Ramírez, Ela Roxana Rivera Núñez, Elizabeth Díaz Álvarez, Ely García Xotlanihua, Enrique Arcocha Gómez, Erick Mario López Méndez, Erik Giovany Cruz Vergara, Ernesto Francisco Rubio Cruz, Ernesto Ramírez García, Esli Vázquez-Nava, Eutimio Sosa Silva, Eyddy Pérez Lugo, Fabiola de María Beltrán García, Fabiola Lango Reynoso, Felipe Legorreta García, Fernando Pacheco Torres, Fidelio Castillo Romero, Francisca Rodríguez Calihua, Francisco Amador López Villegas, Francisco Hernández Juan, Francisco Martínez Tlapa, Francisco Osorio Acosta, Froylán Sánchez Morales, Gabriela Athie Esparza Díaz, Gabriela Pérez Osorio, Gabycarmen Navarrete Rodríguez, Gladys Jacqueline Rivera Uscanga, Gloria Itzel Valdivia Cabral, Gonzalo Hernández Ibarra, Gonzalo Rodríguez Ballesteros, Guadalupe Dolores Gutiérrez Sampieri, Gustavo Delgado Reyes, Hans Christian Correa Aguado, Haydee Nancy Alvarado Romero, Héctor Narave Flores, Hugo Merino Tecalco, Hugo Pérez Pastenes, Humberto Raymundo Gonzalez Moreno, Ian García Cruz, Ilse Deyanira Lechuga Amador, Irving Pérez Landa, Isaac Tejeda López, Isabel Araceli Amaro Espejo, Ismael Esquivel Gámez, Israel López Prieto, Itzel Galaviz Villa, Iván Castillo Huetto, Iván Valencia Salazar, Jessica Mayo Alcudia, Jorge Alberto Vázquez Contreras, Jorge Arturo Mendoza Sosa, Jorge Luis García Lanz, José Antonio Aguirre Guzmán, José Armando Lozada García, José Bernat Rodríguez, José Isaac Zamora Morales, José Juan Huesca López, José Luis Feranando Palomeque Loyo, José Miguel Pérez Enríquez, José Murguía Ibarra, Juan Antonio Galindo Cobos, Juan Fontalvo Buelvas, Juana Umaña Aguilar, Judith Guadalupe Hernández Mena, Julio Candela Pérez, Karina García Sánchez, Karla Alejandra Jiménez Martínez, Katya Guadalupe Olan Reyes, Laura Ruelas Monjardín, Laura García Barrera, Laura Herrera Franco, Leonardo Ortiz Lozano, Leticia del Carmen Sánchez Rebolledo, Luis Tarango Arámbula, Luis Enrique Garzota Tecalco, Luis Felipe Serna Hernández, Magnolia Grisel Salcedo Garduño, Manuel Susunaga Miranda, Marcela Mejía Calos, Marco Antonio Garzón Zúñiga, María de la Luz Merino Contreras, María del Carmen Cuevas Díaz, María del Carmen Martínez Quezada, María del Refugio Castañeda Chávez, María Estela Montes Carmona, María Esther Carmona Guzmán, María Esther Fragoso Terán, María Hernández Berriel, Mariana De la Miyar Loza, Maricruz Gutiérrez Bravo, Marilem Veida Arriaga Arellano, Mario Díaz González, Mario Enrique Martínez Santiago, Mario Pérez Acosta, Mario Rafael Aguilar Rodríguez, Marissa Vargas Ramírez, Martha Perera García, Martín Pereda Solís, Martín Mancilla Gómez, Martín Marquez Espinoza, Martín Nieva Castillo, Miguel Aguilera Flores, Miguel Ángel Hernández Pérez, Miguel Ángel López Ramírez, Miguel Ángel Ortega González, Miguel Ángel Valera Pérez, Miguel Arcángel Burgos Campos, Miguel Mauricio Aguilera Flores, Miguel Pérez Labra, Miguel Pérez Vasconcelos, Miriam Daniela Rogel Castro, Mirsha Jacqueline Jordán García, Modesta Lorena Hernández Sánchez, Mónica Beatriz López Hernández, Nahum Medellín Castillo, Nancy Brito Manzano, Noel Antonio González Valdivia, Nohra Violeta Gallardo Rivas, Olaya Pirene Castellanos Onorio, Oliver Espinosa Olvera, Omar de Jesús Mota Sangabriel, Omar Juárez Rivera, Oscar Alejandro García Trujillo, Oscar Ricardo Pérez Durán, Oscar Robles Ramírez, Oswaldo Emmanuel Robles Miranda, Oswaldo Guzmán López, Paola Monserrat García García, Patricia Cervantes Acosta, Paula Zúñiga Ruiz, Pedro César Reyna González, Pedro Javier García Ramírez, Perla Vargas Falcón, Rafael Marcelino Pérez Enríquez, Rafael Zamudio Reyes, Ramón Espejo Reyes, Raúl Delgado Macuil, Ricardo Castro García, Ricardo Martínez Delfín, Roberto Ruiz Castro, Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez, Rodolfo Alberto Román Montano, Rodolfo Canseco Sedano, Rogelio de Jesús Portillo Vélez, Romario López Luna, Romeo García Cruz, Rosa Elena Zamudio Alemán, Rosa Gómez Domínguez, Rosa María Arias Mota, Rosario Galvan Ruiz, Salvador Jaime Merlo Rodríguez, Sandra Domínguez Pérez, Sara Coto Leal, Sara Núñez Correa, Sergio Alberto Díaz Barajas, Shirley Hernández Morales, Silvia del Carmen Ruiz Acosta, Stefani Aletse Meza Zamora, Susana Gallegos Cázares, Ulises Páramo García, Verónica Ávila Vázquez, Vianney Hernández Martínez, Víctor Aguilar Pizarro, Virgilio Arenas Fuentes, Virginia Alcántara Méndez, Virginia Lagunes Barradas, Viviana Patricia Del Rivero Ponce, Wadi Elim Sosa González, Xóchitl del Carmen Romero Hipólito, Yadeneyro de la Cruz Elizondo, Yara Anahí Jimenez Nieto, Yolanda Lagunes Paredes

Editorial

© Grupo de Ediciones y Publicaciones Xalapa S.A. de C.V.

 **Grupo de Ediciones
y Publicaciones
Xalapa S.A. de C.V.**

Grupo de Ediciones y Publicaciones Xalapa S.A. de C.V.

Calle Emiliano Zapata, 15, Col. El Tanque.

C.P. 91156, Xalapa, Veracruz, México.

Tel. (228) 2014857

www.grepxa.mx

Sello editorial: Grupo de Ediciones y Publicaciones Xalapa S.A. de C.V.

Primera Edición

Ciudad de Edición: Xalapa, Veracruz, México.

Presentación en medio electrónico:

Libro digital descargable

Formato PDF 27 MB

ISBN: 978-607-59391-2-4

Fecha de aparición: 16/11/2022

ISBN: 978-607-59391-2-4



ÍNDICE

Capítulo 1	
LA COMPUTACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	
TÉCNICAS PARA LA ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN DE LA EDUCACIÓN VIRTUAL EN INGENIERÍA EN GESTIÓN EMPRESARIAL ANA MARÍA CHIUNTI HERNÁNDEZ , GONZALO RODRÍGUEZ BALLESTEROS , ALBA MERCADO HERRERA	2
PLAN DE CAPACITACIÓN EN EL PROTOCOLO DE CONTROL SANITARIO DEL COVID-19, COMO MEDIDA DE SEGURIDAD AL INTERIOR DE LOS SISTEMAS DE COMERCIALIZACIÓN EN LA ORGANIZACIÓN. (ESTUDIO DE CASO) ANGÉLICA DEL CARMEN LÓPEZ TOTO , MARTIN MÁRQUEZ ESPINOZA , ANA MERCEDES ECHEVARRIA BETANZO	12
LA TRANSPARENCIA DE LOS RECURSOS Y LA RENDICIÓN DE CUENTAS EN LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA CLAUDIA MARÍA HERNÁNDEZ RINCÓN , VÍCTOR AGUILAR PIZARRO , FRANCISCO AMADOR LÓPEZ VILLEGAS	33
SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID PARA COMPENSACIÓN DE RETARDOS EN SISTEMAS EMBEBIDOS PARA COMUNICACIÓN POR INTERNET MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ , GUSTAVO DELGADO REYES , PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ , MARÍA ESTELA MONTES CARMONA	45
TIC PARA EL PROCESO DEL FLUJO INTERNO DE LA INFORMACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES HUGO MERINO TECALCO , YARA ANAHÍ JIMENEZ NIETO , ADOLFO RODRIGUEZ PARADA , OMAR JUÁREZ RIVERA	59
SOFTWARE DERELAJAMIENTO: PERCEPCIÓN DE SU EFECTO EN UNIVERSITARIOS ISMAEL ESQUIVEL GÁMEZ , JUANA UMAÑA AGUILAR , GLADYS JACQUELINE RIVERA USCANGA	71
INFLUENCIA DE LA APTITUD ACADÉMICA EN LA CALIDAD TUTORIAL EN ALUMNOS DEL ITS AV CAMPUS MEDELLÍN JOSÉ ANTONIO AGUIRRE GUZMÁN , RAFAEL ZAMUDIO REYES , XÓCHITL DEL CARMEN ROMERO HIPÓLITO , JUAN ANTONIO GALINDO COBOS	82
PROTOTIPO: EQUIPO CON INTERFAZ RS-485 PARA COMUNICARSE VÍA MODBUS CON MEDIDORES DE ENERGÍA COMERCIALES JOSÉ JUAN HUESCA LÓPEZ , IVÁN VALENCIA SALAZAR , JOSÉ LUIS FERANANDO PALOMEQUE LOYO	94
DIAGNÓSTICO DE HABILIDADES DIGITALES PARA LA ENSEÑANZA EN EL PROGRAMA DE ING. EN SISTEMAS COMPUTACIONALES DEL TECNM CAMPUS COATZACOALCOS KARLA ALEJANDRA JIMÉNEZ MARTÍNEZ , BLANCA ROSA ZAMUDIO RODRÍGUEZ, ERNESTO RAMÍREZ GARCÍA	109
ESTRATEGIAS EMPRESARIALES, RETOS Y ACCIONES ANTE LA PANDEMIA COVID- 19: MUNICIPIO DE CAMPECHE LETICIA DEL CARMEN SÁNCHEZ REBOLLEDO , RAMÓN ESPEJO REYES , SANDRA DOMÍNGUEZ PÉREZ , EDITH BEATRIZ OLIVARES PÉREZ	117
MODELO DE NEGOCIO DISRUPTIVO COMO MEDIDA DE FORTALECIMIENTO ECONÓMICO EN LAS MICRO, PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS MARIO ENRIQUE MARTÍNEZ SANTIAGO ; MARTIN MANCILLA GÓMEZ , YARA ANAHÍ JIMÉNEZ NIETO , AGUSTÍN LAGUNES DOMÍNGUEZ	129

ANÁLISIS DEL PROTOCOLO DE CONTROL SANITARIO COVID-19, EN MÉDICA ESPECIALIZADA JUNO DOCTORS. UN ESTUDIO DE CASO MARTIN MARQUEZ ESPINOZA , ANGÉLICA DEL CARMEN LÓPEZ TOTO , ALESSANDRA ALFONSO UTRERA	139
SÍNTESIS DE PELÍCULAS DE BASE CERÁMICA PARA SU APLICACIÓN COMO REFLECTORES DIFUSOS DE SISTEMAS SOLARES HÍBRIDOS MIGUEL ÁNGEL ORTEGA GONZÁLEZ , EDGAR ARTURO CHÁVEZ URBIOLA , FELIPE LEGORRETA GARCÍA , MIGUEL PÉREZ LABRA , MARISSA VARGAS RAMÍREZ	152
INNOVANDO BALDOSAS: REUTILIZANDO POLIESTIRENO CRISTAL MIRSHA JACQUELINE JORDÁN GARCÍA , VIANNEY HERNÁNDEZ MARTÍNEZ , MARILEM VEIDA ARRIAGA ARELLANO	161
S-BOX HÍBRIDAS EN SISTEMAS DE CIFRADO DE IMÁGENES OLIVER ESPINOSA OLVERA , JOSÉ MURGUÍA IBARRA , MARCELA MEJÍA CALOS	173
LA EMPRESA DE BASE TECNOLÓGICA COMO IMPULSOR PARA EL DESARROLLO OSCAR RICARDO PÉREZ DURÁN , LAURA HERRERA FRANCO , ADOLFO RODRÍGUEZ PARADA	186
IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS PARA SELECCIONAR IDEAS DE NEGOCIOS CON CREATIVIDAD E INNOVACIÓN. MARÍA ESTHER CARMONA GUZMÁN , SUSANA GALLEGOS CÁZARES , CLARA LUZ GALLEGOS PARRA	196
OXYCARE: SISTEMA DE MONITOREO REMOTO APLICADO A LOS SERVICIOS DE ENFERMERÍA FRANCISCO HERNÁNDEZ JUAN , ROGELIO DE JESÚS PORTILLO VÉLEZ , VIRGINIA LAGUNES BARRADAS , MARÍA ESTHER FRAGOSO TERÁN	209
TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ZONAS VULNERABLES DE INUNDACIÓN, EN CUENCAS DE RÁPIDA CONCENTRACIÓN. HUMBERTO RAYMUNDO GONZALEZ MORENO, OSCAR ALEJANDRO GARCIA TRUJILLO	224

Capítulo 2
BIOTECNOLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN ASADEROS AMBULANTES EN BOCA DEL RÍO, MÉXICO ARLETH CASTRO GARCÍA , ARTURO GARCÍA SALDAÑA , FABIOLA LANGO REYNOSO , PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ , MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO	230
ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR ANTIBIÓTICOS DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COTZALA USANDO EL MODELO DPSIR BERENICE ÁNGEL HERNÁNDEZ , GABRIELA PÉREZ OSORIO , MIGUEL ÁNGEL VALERA PÉREZ	240
EVALUACIÓN DE PENDIENTE COSTERA Y COMPOSICIÓN SEDIMENTARIA DE PLAYAS FOX-MORRO BOCA DEL RÍO, VERACRUZ EN TEMPORADAS LLUVIAS-ESTIAJE 2021 BEXIDIU ANAI PINEDA CASTILLO , VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ , ROCÍO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ , ITZEL GALAVIZ VILLA , ARTURO GARCÍA SALDAÑA	253
SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTUDIO DE MICROPLÁSTICOS EN MÉXICO CLARA IVONNE RUIZ REYES , BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN , FABIOLA LANGO REYNOSO , OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ	265
APLICACIÓN DEL MUCÍLAGO DE OPUNTIA ROBUSTA COMO BIOCOAGULANTE EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES GLORIA ITZEL VALDIVIA CABRAL , VERÓNICA ÁVILA VÁZQUEZ , HANS CHRISTIAN CORREA AGUADO , MIGUEL MAURICIO AGUILERA FLORES	277
CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAFÉ Y CAÑA DE AZÚCAR Y SU POTENCIAL COMO PLÁSTICOS BIOBASADOS GUADALUPE DOLORES GUTIÉRREZ SAMPIERI , ITZEL GALAVIZ VILLA , MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO	286
NAIN TECH (SUAVIZANTE DE TELAS CON EFECTO REPELENTE) JOSÉ ISAAC ZAMORA MORALES , OMAR DE JESÚS MOTA SANGABRIEL , MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ QUEZADA , ALMA PATRICIA MURILLO BRENIS	295
LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA TOMA DE DECISIONES EN EL ÁMBITO DEPORTIVO KATYA GUADALUPE OLAN REYES , EUTIMIO SOSA SILVA , MIGUEL PÉREZ VASCONCELOS , FIDELIO CASTILLO ROMERO , ROSA GÓMEZ DOMÍNGUEZ	305
HELMINTOS PARÁSITOS BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN PLAYAS DE LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO MAGNOLIA SALCEDO GARDUÑO , CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ , ITZEL GALAVIZ VILLA , MARÍA CASTAÑEDA CHÁVEZ	313
GENERACIÓN DE BIOGÁS DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL NO CONTROLADOS ABANDONADOS EN LA REGIÓN SOTAVENTO VERACRUZ, MÉXICO MANUEL SUSUNAGA MIRANDA , BENIGNO ORTÍZ MUÑIZ , REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , MARÍA HERNÁNDEZ BERRIEL	326
EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CORRIENTES MARINAS SUBINERCIALES EN EL CARIBE MEXICANO PARA LA INSTALACIÓN DE TURBINAS HIDROKINETICAS. MARIANA DE LA MIYAR LOZA , GABRIELA ATHIE ESPARZA DÍAZ , ITZEL GALAVIZ VILLA , JULIO CANDELA PÉREZ	340
EFICIENCIA DEL REACTIVO FENTON COMO AGENTE REDUCTOR EN AGUAS CONTAMINADOS CON NÍQUEL MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ RAMÍREZ , OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO , FABIOLA LANGO REYNOSO , MARIO RAFAEL AGUILAR RODRÍGUEZ	356

<p>PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LA BIODEGRADACIÓN DE FÁRMACOS EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS MIGUEL AGUILERA FLORES¹, VERÓNICA ÁVILA VÁZQUEZ², NAHUM MEDELLÍN CASTILLO</p>	365
<p>SUSTITUTO DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE AAKATL OMAR DE JESÚS MOTA SANGABRIEL , JOSÉ ISAAC ZAMORA MORALES , LUIS ENRIQUE GARZOTA TECALCO</p>	373
<p>APLICACIÓN DE BIOCOAGULANTE A BASE DE MALVA SYLVESTRIS PARA LA CLARIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA OSWALDO EMMANUEL ROBLES MIRANDA , MIGUEL MAURICIO AGUILERA FLORES</p>	380
<p>EFECTO DEL MATERIAL DE SOPORTE EN LA ACTIVACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA PARA GENERAR AGVS Y BIOGÁS EN UN PROCESO DE FERMENTACIÓN OSCURA A PARTIR DE VINAZAS DE MEZCAL SERGIO ALBERTO DÍAZ BARAJAS , MARCO ANTONIO GARZÓN ZÚÑIGA</p>	392
<p>ÍNDICE DE MINERALIZACIÓN PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA VIVIANA PATRICIA DEL RIVERO PONCE, PAULA ZÚÑIGA RUIZ, ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO, ANDRÉS CASTAÑEDA MORALES</p>	403
<p>DESAFÍOS DE LA CAFETICULTURA PARA MITIGAR SU IMPACTO EN EL RECURSO AGUA LAURARUELAS MONJARDÍN , CARLOS QUIROZ APARICIO , ROSA MARÍA ARIAS MOTA, YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO</p>	414
<p>GENERACIÓN DE BIOGÁS DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL NO CONTROLADOS ABANDONADOS EN LA REGIÓN SOTAVENTO VERACRUZ, MÉXICO. MANUEL SUSUNAGA MIRANDA , BENIGNO ORTÍZ MUÑIZ , REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , MARÍA HERNÁNDEZ BERRIEL</p>	428
<p>CONTAMINACIÓN FECAL EN AGUA POTABLE QUE ABASTECE ZONAS DE CAMPECHE, MÉXICO. SHIRLEY HERNÁNDEZ MORALES , WADI ELIM SOSA GONZÁLEZ , CARLOS POOT DELGADO</p>	442
<p>ANÁLISIS DE LA ACTITUD Y EL CONOCIMIENTO SOBRE EL USO DEL CUBREBOCAS EN UNA MUESTRA DE UNA POBLACIÓN DE VERACRUZ ALEJANDRA RAMÍREZ MARTÍNEZ , FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA , ABIMAE LAGUNES CASTRO , FRANCISCO OSORIO ACOSTA</p>	451
<p>DESARROLLO DE 3 NUEVOS PÉPTIDOS CONTRA STAPHYLOCOCCUS AUREUS RESISTENTE A METICILINA ASOCIADO AL GANADO (LA-MRSA) MEDIANTE DISEÑO COMPUTACIONAL OSCAR ROBLES RAMÍREZ , RODOLFO CANSECO SEDANO , PATRICIA CERVANTES ACOSTA , JOSÉ ARMANDO LOZADA GARCÍA , CAROLINA BARRIENTOS SALCEDO</p>	461
<p>EXTRACCIÓN DE ACEITES DE LA BORRA DE CAFÉ EN LA PARA FINES BIOENERGÉTICOS SARA NÚÑEZ CORREA , HUGO PÉREZ PASTENES , MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ , OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ</p>	474
<p>ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE EN ELECTRODOS DE LABORATORIO SIN AFECTAR SU FUNCIONAMIENTO YOLANDA LAGUNES PAREDES , MIRIAM DANIELA ROGEL CASTRO , ERNESTO FRANCISCO RUBIO CRUZ , ESLI VÁZQUEZ NAVA</p>	488

Capítulo 3 DESARROLLO SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS	
CARACTERIZACIÓN, IMPACTO Y VALOR DEL USO DE SUELO EN PREDIOS ALEDAÑOS A LAGUNA OLMECA, VERACRUZ. ISAAC TEJEDA LÓPEZ , FABIOLA LANGO REYNOSO , PEDRO REYNA GONZÁLEZ	504
CADMIO, PLOMO Y ZINC EN EL OSTIÓN CRASSOSTREA VIRGINICA DE LA LAGUNA EL CARMEN, TABASCO, MÉXICO CLARIBEL VENTURA LÁZARO , NANCY BRITO MANZANO , PERLA VARGAS FALCÓN , ARMANDO GÓMEZ VÁZQUEZ	514
NIVEL DE ACIDEZ DE LA LLUVIA EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ – BOCA DEL RÍO DÁMARIS RASGADO GÓMEZ , ARTURO GARCÍA SALDAÑA , MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , IRVING PÉREZ LANDA , ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN	523
ASPECTOS RADIOLOGICOS EN EL AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO JORGE ALBERTO VÁSQUEZ CONTRERAS , OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO , MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ , CINTHYA ALEJANDRA SOSA VILLALOBOS , MARIO DÍAZ GONZÁLEZ , ARTURO GARCÍA SALDAÑA	534
MANEJO Y POSIBLES RIESGOS POR EL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ JUDITH GUADALUPE HERNÁNDEZ MENA , GABYCARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ , MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , CHRISTIAN REYES VELAZQUEZ , FABIOLA LANGO REYNOSO	547
FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN IODADOS A PARTIR DE LA OXIDACIÓN DE IOPAMIDOL EN UN PROCESO DE OZONO-UV-CL2 ISRAEL LÓPEZ PRIETO , MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ , ROSARIO GALVAN RUIZ , OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ	559
TOXICIDAD EN SEDIMENTOS MARINOS DE LA ZONA COSTERO CENTRAL DE VERACRUZ SALVADOR JAIME MERLO RODRÍGUEZ , CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ , MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO , ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN	570
ESTUDIO ECONÓMICO-AMBIENTAL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE AGUAS RESIDUALES EN INSTITUCIONES PÚBLICAS. CASO DE ESTUDIO HAYDEE NANCY ALVARADO ROMERO , MARTIN MARQUEZ ESPINOZA , MARICRUZ GUTIÉRREZ BRAVO	580
PANDEMIA Y MEDIO AMBIENTE: RETOS Y PERSPECTIVAS ARMANDO ADRIANO FABRE , MODESTA LORENA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ , RAFAEL MARCELINO PÉREZ ENRÍQUEZ , JOSÉ MIGUEL PÉREZ ENRÍQUEZ	589
METALES PESADOS EN EL OSTIÓN CRASSOSTREA VIRGINICA EN LA LAGUNA MACHONA EN TABASCO, MÉXICO JESSICA MAYO ALCUDIA , NANCY BRITO MANZANO , PERLA VARGAS FALCÓN , JOSÉ BERNAT RODRÍGUEZ	599
DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SEDIMENTO Y EL OSTIÓN CRASSOSTREA VIRGINICA EN LA LAGUNA MECOACÁN ROMARIO LÓPEZ LUNA , NANCY BRITO MANZANO , PERLA VARGAS FALCÓN , ARMANDO GÓMEZ VÁZQUEZ	607
BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA RICARDO MARTÍNEZ DELFÍN , CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ , MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ , ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN	617
GESTIÓN SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE DE TEOCELO, VERACRUZ YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO , HÉCTOR NARAVE FLORES , ARMANDO LOZADA GARCÍA , FRANCISCO MARTÍNEZ TLAPA , JUAN FONTALVO BUELVAS	627

ANÁLISIS DE USO DE CATALIZADORES HÍBRIDOS PARA LA ELIMINACIÓN DE ANTIBIÓTICOS EN AGUA. FERNANDO PACHECO TORRES , GABRIELA PÉREZ OSORIO , EDUARDO TORRES RAMÍREZ	643
MARCO LEGAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS PROCEDENTES DE LABORATORIOS ACADÉMICOS ANA RUGERIO SUÁREZ , GABRIELA PÉREZ OSORIO	657
EL SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO A PEQUEÑAS COMUNIDADES INSULARES: EL CASO DEL MUNICIPIO DE GUANAJA, HONDURAS. ELA ROXANA RIVERA NÚÑEZ , AMADO ENRIQUE NAVARRO FRÓMETA	669
METALES PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS DE DOS LAGUNAS COSTERAS DE TABASCO, MÉXICO CECILIA VÁZQUEZ JIMÉNEZ , NANCY BRITO MANZANO , PERLA VARGAS FALCÓN , MARTHA PERERA GARCÍA	683
EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FLUORUROS EN POZOS PROFUNDOS DE UN MUNICIPIO EN LOS ALTOS DE JALISCO ALDO ANTONIO CASTAÑEDA VILLANUEVA	692
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE HUMEDALES ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CUAUHTÉMOC GARCÍA LEÓN , CINTHYA ALEJANDRA SOSA VILLALOBOS , ITZEL GALAVIZ VILLA	704

Capítulo 4 GESTIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS, ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS E INDUSTRIALES	
PROCESO DE SECADO CONVECTIVO DE GUAJE VERDE (LEUCAENA LEUCOCEPHALA) Y FORMULACIÓN DE SALSA DESHIDRATADA ERICK MARIO LÓPEZ MÉNDEZ , MARTÍN NIEVA CASTILLO , ELIZABETH DÍAZ ÁLVAREZ	720
PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CONTROL REMOTO NO INVASIVO DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO MEDIANTE INFRARROJO ILSE DEYANIRA LECHUGA AMADOR	731
REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DE UN GENERADOR SÍNCRONO KARINA GARCÍA SÁNCHEZ , LUIS FELIPE SERNA HERNÁNDEZ	742
EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMAS SUELO-TENSOACTIVO ERIK GIOVANY CRUZ VERGARA , ÁNGEL RAFAEL LARA HERNÁNDEZ , NOHRA VIOLETA GALLARDO RIVAS , ANA MARÍA MENDOZA MARTÍNEZ , ULISES PÁRAMO GARCÍA	760
ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ, PARA REDUCIR EL COSTO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. IVÁN CASTILLO HUETO , JORGE ARTURO MENDOZA SOSA , RODOLFO ALBERTO ROMÁN MONTANO	768
MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA EN FRUTOS PAOLA MONSERRAT GARCIA GARCIA , ADALBERTO GALINDO ALCÁNTARA , SILVIA DEL CARMEN RUIZ ACOSTA	782
SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID PARA COMPENSACIÓN DE RETARDOS EN SISTEMAS EMBEBIDOS PARA COMUNICACIÓN POR INTERNET MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ , GUSTAVO DELGADO REYES , PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ , MARÍA ESTELA MONTES CARMONA	794
EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS ELEVADAS DE UNA PANADERÍA DE LA CIUDAD DE MISANTLA, VER. MEDIANTE EL ÍNDICE WBGT ROMEO GARCÍA CRUZ , ANA ROSELYN PÉREZ MÉNDEZ , MARIO PÉREZ ACOSTA	808

Capítulo 5 RECURSOS GENÉTICOS EN LA AGRONOMÍA Y LA ACUICULTURA	
CONDICIÓN CORPORAL DE DOS ESPECIES DE GORRIONES DE PASTIZAL EN CUCHILLAS DE LA ZARCA, DURANGO AMARA JIMÉNEZ CHÁVEZ , LUIS TARANGO ARÁMBULA , MARTIN PEREDA SOLÍS , GONZALO HERNÁNDEZ IBARRA	822
AUTOMATIZACIÓN DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES DE CORRAL MEDIANTE MICROCONTROLADOR ARDUINO ELY GARCÍA XOTLANIHUA , RICARDO CASTRO GARCÍA , ROBERTO RUIZ CASTRO , FRANCISCA RODRIGUEZ CALIHUA	827
APORTE DE LA ACUICULTURA PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS DE LA AGENDA 2030 FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA , DIEGO PLATAS ROSADO	836
ACONDICIONAMIENTO ALIMENTICIO DE JUVENILES DE SARGO ARCHOSARGUS PROBATOCEPHALUS EN CAUTIVERIO FROYLÁN SÁNCHEZ MORALES , MARIA DE LA LUZ MERINO CONTRERAS , SARA COTO LEAL	844
EVALUACIÓN DEL CULTIVO COMERCIAL DEL CARACOL TEGOGOLO (POMACEA PATULA CATEMACENSIS) MARIA DE LA LUZ MERINO CONTRERAS , FROYLÁN SÁNCHEZ MORALES , SARA COTO LEAL , IAN GARCÍA CRUZ	858
COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE PLANTAS TOXICAS PARA BOVINOS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN ESTELI, NICARAGUA NOELANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA , CARLOS GARCÍA ACEDO , ALICIA EUGENIA PUERTO VANNETTI ARROYO , ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ , MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ , JORGE LUIS GARCÍA LANZ , BENITO BERNARDO DZIB CASTILLO	871
EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITRO-FOSFÓRICA EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ NATIVO CHAC NAL TEL NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA , ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ , MIGUEL ARCÁNGEL BURGOS CAMPOS , ALICIA EUGENIA PUERTO VANNETTI ARROYO	876
ABORDAJE INTEGRAL DE LOS EFECTOS CAUSADOS POR MELOIDOGYNE SP. EN SOLANUM LYCOPERSICUM L. STEFANI ALETSE MEZA ZAMORA , RAÚL DELGADO MACUIL , LAURA GARCÍA BARRERA	881
DISTRIBUCIÓN DE APLYSIIDA Y CEPHALASPIDEA (HETEROBRANCHIA) EN EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ , BELEMANAHY ESTRELLA JORDÁN , LEONARDO ORTIZ LOZANO	892
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ EYDDY PÉREZ LUGO , FABIOLA LANGO REYNOSO , DAVID SALAS MONREAL , MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ	904
LOS ACUÍFEROS COSTEROS E INSULARES DEL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO. UN DETERMINANTE ECOLÓGICO IGNORADO. VIRGILIO ARENAS FUENTES , ALEJANDRO MUÑOZ ALDAPE	915

CAPÍTULO 1

LA COMPUTACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

AUTORES

ADOLFO RODRIGUEZ PARADA, AGUSTÍN LAGUNES DOMÍNGUEZ, ALBA MERCADO HERRERA, ALESSANDRA ALFONSO UTRERA, ANA MARÍA CHIUNTI HERNÁNDEZ, ANA MERCEDES ECHEVARRIA BETANZO, ANGÉLICA DEL CARMEN LÓPEZ TOTO, BLANCA ROSA ZAMUDIO RODRÍGUEZ, CLARA LUZ GALLEGOS PARRA, CLAUDIA MARÍA HERNÁNDEZ RINCÓN, EDGAR ARTURO CHÁVEZ URBIOLA, EDITH BEATRIZ OLIVARES PÉREZ, ERNESTO RAMÍREZ GARCÍA, FELIPE LEGORRETA GARCÍA, FRANCISCO AMADOR LÓPEZ VILLEGAS, FRANCISCO HERNÁNDEZ JUAN, GLADYS JACQUELINE RIVERA USCANGA, GONZALO RODRÍGUEZ BALLESTEROS, GUSTAVO DELGADO REYES, HUGO MERINO TECALCO, HUMBERTO RAYMUNDO GONZALEZ MORENO, ISMAEL ESQUIVEL GÁMEZ, IVÁN VALENCIA SALAZAR, JOSÉ ANTONIO AGUIRRE GUZMÁN, JOSÉ JUAN HUESCA LÓPEZ, JOSÉ LUIS FERANANDO PALOMEQUE LOYO, JOSÉ MURGUÍA IBARRA, JUAN ANTONIO GALINDO COBOS, JUANA UMAÑA AGUILAR, KARLA ALEJANDRA JIMÉNEZ MARTÍNEZ, LAURA HERRERA FRANCO, LETICIA DEL CARMEN SÁNCHEZ REBOLLEDO, MARCELA MEJÍA CALOS, MARÍA ESTELA MONTES CARMONA, MARÍA ESTHER CARMONA GUZMÁN, MARÍA ESTHER FRAGOSO TERÁN, MARILEM VEIDA ARRIAGA ARELLANO, MARIO ENRIQUE MARTÍNEZ SANTIAGO, MARISSA VARGAS RAMÍREZ, MARTIN MANCILLA GÓMEZ, MARTIN MARQUEZ ESPINOZA, MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ, MIGUEL ÁNGEL ORTEGA GONZÁLEZ, MIGUEL PÉREZ LABRA, MIRSHA JACQUELINE JORDÁN GARCÍA, OLIVER ESPINOSA OLVERA, OMAR JUÁREZ RIVERA, OSCAR ALEJANDRO GARCIA TRUJILLO, OSCAR RICARDO PÉREZ DURÁN, PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ, RAFAEL ZAMUDIO REYES, RAMÓN ESPEJO REYES, ROGELIO DE JESÚS PORTILLO VÉLEZ, SANDRA DOMÍNGUEZ PÉREZ, SUSANA GALLEGOS CÁZARES, VIANNEY HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, VÍCTOR AGUILAR PIZARRO, VIRGINIA LAGUNES BARRADAS, XÓCHITL DEL CARMEN ROMERO HIPÓLITO, YARA ANAHÍ JIMENEZ NIETO, YARA ANAHÍ JIMÉNEZ NIETO

TÉCNICAS PARA LA ENSEÑANZA Y EVALUACIÓN DE LA EDUCACIÓN VIRTUAL EN INGENIERÍA EN GESTIÓN EMPRESARIAL

ANA MARÍA CHIUNTI HERNÁNDEZ¹, GONZALO RODRÍGUEZ BALLESTEROS², ALBA MERCADO HERRERA³

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la investigación de un grupo de docentes del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado y del Instituto Tecnológico de Boca del Río, teniendo como objetivo principal indagar acerca de las técnicas y herramientas de seguimiento y evaluación utilizadas durante la pandemia, de los retos que enfrentaron los docente por el cambio de modalidad, la conectividad a internet, los recursos utilizados, la formación que les hace falta de cubrir en el desarrollo vertiginoso de las TIC frente a las clases en línea.

El presente estudio, marca un panorama general de las prácticas más comunes, se dedica mayor atención a las características de las estrategias docentes y la evaluación en línea y se toman en cuenta sugerencias para el diseño de tareas de evaluación. La metodología empleada implicó la búsqueda de fuentes documentales, de igual manera, se realizó un análisis de las técnicas, instrumentos y procedimientos que aplicaron los docentes para llevar a cabo la valorización de la formación de los estudiantes para lo cual se seleccionaron dos muestras, la primera del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado y la segunda del Instituto Tecnológico de Boca del Río, compuesta docentes en nivel superior, se diseñaron instrumentos que nos arrojaron análisis estadísticos de las técnicas, estrategias, instrumentos y procedimientos que se utilizaron para la enseñanza en línea y las relaciones entre las variables, de igual manera se comentan los hallazgos y los impedimentos encontrados.

Palabras clave: educación en línea, estrategias docentes, docentes, evaluación y herramientas digitales.

Abstract

This article presents the results of the research of a group of teachers from the Instituto Technologic Superior de Alvarado and the Instituto Technologic de Boca del rio, with the main objective of investigating the monitoring and evaluation techniques and tools used during the pandemic, the challenges faced by teachers

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV), Escollera Norte s/n, Col. La Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Ver. ana.ch@alvarado.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV), Escollera Norte s/n, Col. La Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Ver. gonzaloballesteros06@itsav.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. albamercado@itboca.edu.mx

due to the change of modality, internet connectivity, the resources used, the training that they need to cover in the vertiginous development of ICT compared to online classes.

This study provides an overview of the most common practices, more attention is paid to the characteristics of teaching strategies and online evaluation, and suggestions for the design of evaluation tasks are taken into account. The methodology used involved the search for documentary sources, in the same way, an analysis was carried out of the techniques, instruments and procedures that the teachers applied to carry out the evaluation of the students' training for which two samples were selected, the first from the Instituto Tecnológico Superior de Alvarado and the second from the Instituto Tecnológico de Boca del Río, composed of teachers at a higher level, instruments were designed that gave us statistical analyzes of the techniques, strategies, instruments and procedures that were used for online teaching and the relationships between the variables, in the same way the findings and the impediments found are discussed.

Keywords: online education, teaching strategies, teachers, evaluation and digital tools

Introducción

A nivel mundial el coronavirus SARS COV-2, tomo por sorpresa, se trataba de un virus impredecible y altamente letal que se transmitía por vía aérea, surge por primera vez en diciembre de 2019 en Wuhan, provincia de Hubei en China y fue declarada pandemia global el 11 de marzo de 2020 por parte de la OMS (Organización Mundial de la Salud)

Con el fin de evitar la propagación del virus, en México se publica en el Diario Oficial de la Federación, en el acuerdo 02/03/20 publicado el 16 de marzo de 2021, la suspensión de clases, siendo este un acuerdo apresurado porque no marcaba las pautas para la impartición de clases en línea.

Posteriormente, se acuerda el reinicio de clases que provoca planes improvisados, estos incluyeron clases a través de cuadernillos de ejercicios, televisión, plataformas y herramientas digitales como zoom, meet, classroom, skype, micosoft teams, entre otros. La mayoría de los docentes coinciden que las medidas tomadas fueron desde lo absurdo hasta lo más ingenioso.

En consecuencia, fue necesario establecer un estudio que nos brindaran información acerca de ¿Cuál es la problemática que resulto de la educación en línea? ¿Cuál fue la conectividad y tecnología con la que contaron los docentes? ¿Cómo fue el cambio en su forma de ejercer la enseñanza? pero sobre todo ¿Cuáles fueron las actividades que desarrollaron para la evaluación de los conocimientos del alumno? Las respuestas a dichas preguntas estarán guiadas por una entrevista especialmente diseñada para este estudio, y que fue administrada en línea a través de la plataforma Google forms

Materiales y metodos

La investigación que se realizo fue de tipo descriptiva porque como su nombre lo dice, se encarga de describir las características de la realidad a estudiar con el fin de comprenderla de manera más exacta.

En cuanto al diseño de la investigación tiene un enfoque de tipo cuantitativo, tal como señalan Hernández, Fernández y Baptista (2010) el diseño de investigación se elabora “con el propósito de responder a las preguntas de investigación planteadas y cumplir con los objetivos del estudio” (p.118). Para lo cual se diseñaron un total de 17 reactivos para aplicarse a los docentes con diversas líneas: datos general, conectividad, capacitación y adiestramiento, seguimiento y evaluación, el instrumento fue realizado en la herramienta digital de Google forms (Formularios de Google), el cual permitió crear un formulario de acuerdo a las necesidades de la investigación y facilito el trabajo de tabulación debido a que los datos que se ingresan son almacenados en una hoja de cálculo.

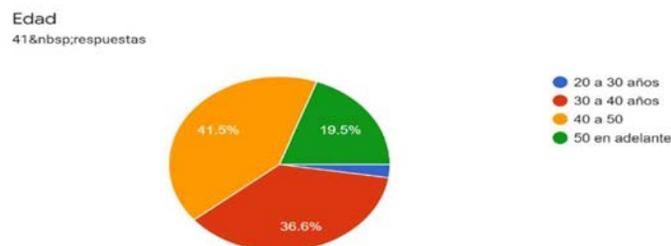
El universo de esta investigación, fueron los docentes pertenecientes al Instituto Tecnológico Superior de Alvarado e Instituto Tecnológico de Boca del Rio, en cuanto a la muestra se eligieron a 41 docentes del área de Ingeniería en Gestión Empresarial mediante la técnica de muestreo probabilístico aleatorio simple, porque dicha técnica garantiza que todos los individuos que componen la población blanca tienen la misma oportunidad de ser incluidos en la muestra. Esto significa que la probabilidad de selección de un sujeto a estudio "x" es independiente de la probabilidad que tienen el resto de los sujetos que integran forman parte de la población blanco.

En cuanto al objetivo general fue establecer las técnicas utilizadas para la enseñanza y evaluación en la educación virtual. En objetivos específicos de la investigación se estableció determinar los factores que influyeron en la enseñanza virtual, determinar las técnicas, herramientas y estrategias mas utilizadas por los docentes e identificar los obstáculos en cuanto a ordenadores y conectividad disponible de los docentes

Resultados y discusión

Dimensión personal.

Grafico 1. Edad

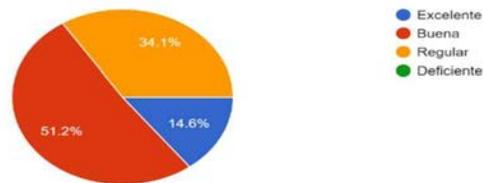


El 2.4% del personal docente encuestado tiene una edad que oscila en el rango de los 20-30 años, un 36.6% del personal oscila en edad en el rango de 30-40 años, un 41.5% del personal oscila en el rango de edad de los 40-50 años y un 19.5% del personal oscila en el rango de edad de los 50 en adelante. Derivado de estos datos se puede afirmar que la mayoría de los docentes encuestados podrían considerarse dentro de la Generación X; que están conformadas por personas entre 30 y 45 años con una característica que la diferencia del resto de generaciones: su capacidad de adaptación. Han vivido varias crisis, aunque también épocas de bonanza. De ahí que tiene alto grado de adaptación a las nuevas tecnologías, situación que ha sido determinante para la impartición de las clases en línea.

Dimensión conectividad.

Gráfico 2. Conectividad

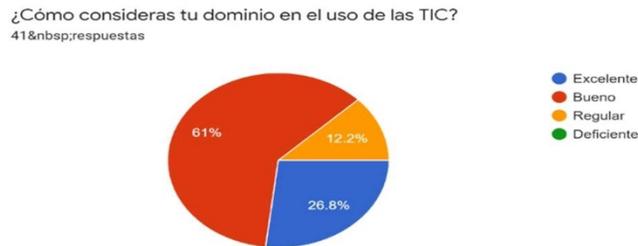
¿Cómo consideras la conectividad a la hora de impartir clases virtuales?
41 respuestas



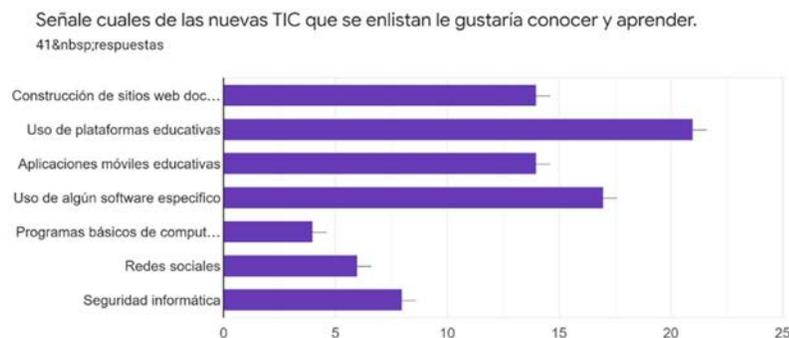
En cuanto a conectividad solo el 14.6% de los docentes entrevistados manifestó que es excelente, el 51.2% de los docentes manifestó que es buena, el 34.1% manifestó que era regular. El número de usuarios de internet en México creció 10.2% durante el 2020, con lo que el año de inicio de la pandemia supuso el mayor incremento de los usuarios mexicanos de internet en cinco años, en buena medida gracias a las medidas de confinamiento que se impusieron por la emergencia sanitaria, según el más reciente Estudio sobre los Hábitos de Internet en México elaborado por la Asociación de Internet.mx y la consultoría The Competitive Intelligence Unit (The CIU).

En total, 86.8 millones de personas están conectadas a internet en México, esto es 10.2% más que los conectados en 2019 o 78.8 millones de personas, y supone que 76.3% de la población mexicana tiene acceso a este servicio, al mismo tiempo que 23.7% o casi 30 millones de personas no pueden acceder a este servicio, de acuerdo con el estudio que fue presentado en el marco de la conmemoración del Día Mundial de Internet que organizaron la Asociación de Internet.mx y el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.

Dimensión capacitación y adiestramiento.

Grafico 3. Dominio TIC

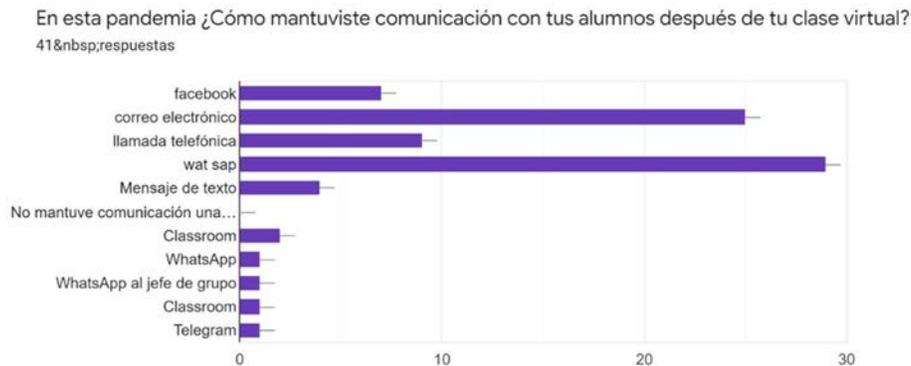
En la pregunta de como consideran el dominio de las TIC el 26.8% de los docentes manifestó que lo considera excelente, el 61% considera que su dominio es bueno y el 12.2% considera que es regular, en cuanto al dominio deficiente no hubo ningún docente que considerara el dominio de las TIC deficiente, esto debe de derivarse a que los docentes ante esta pandemia tuvieron que capacitarse a un ritmo acelerado, en el caso de los institutos pertenecientes al TECNM recibieron capacitaciones de formación en Jornadas de formación de competencias digitales donde se abordaron cursos como: Moodle, teams, aula invertida, metodología para el diseño de cursos en línea, etc. De lo anterior se desprende que se tiene que seguir trabajando en la capacitación de los docentes para lograr reducir ese 12.2% de docentes que todavía consideran su desempeño regular.

Grafico 4. Aprendizaje TIC

En cuanto a las TIC que les gustaría aprender, el 51.2% de docentes quiere formarse más en plataformas educativas, el 41.5% de algún software en específico el 34.1% se inclina por aplicaciones móviles y construcción de sitios web, el 19.5% de seguridad informática, el 14.6% de redes sociales, y solo el 9.8% de programas básicos de computación. La labor del docente, frente a la visión transformadora de una sociedad que necesita de la incorporación de las TIC en el aula, ha visto necesaria su transformación en un agente capaz de generar las competencias necesarias para una sociedad con “ansias” de conocimiento tecnológico, y el uso frecuente de éste en los distintos aspectos del estudiante. (Hernández, 2017).

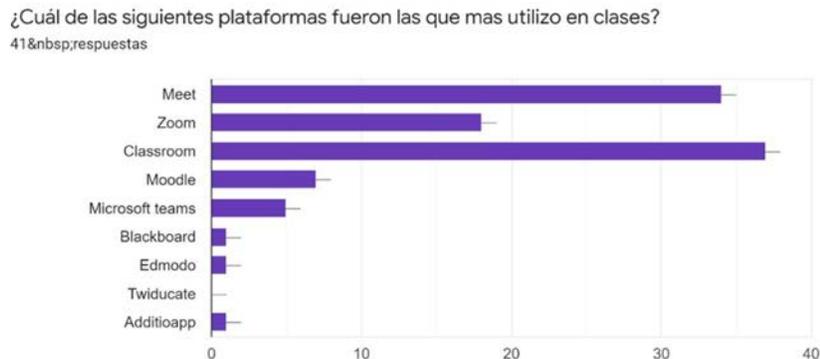
Seguimiento y evaluación

Grafico 5. Comunicación



En esta pandemia una de las principales dificultades en la educación a distancia fue establecer una comunicación efectiva con los alumnos, cuando se les cuestiono a los docentes como establecieron comunicación después de las clases en línea con los alumnos un porcentaje del 70.7% menciono que utilizo la aplicación de whatsapp, un 61% mantuvo contacto a través del correo electrónico, un 22% por llamada telefónica y 17.1% por Facebook siendo estos los medios más utilizados.

Grafico 6. Plataformas



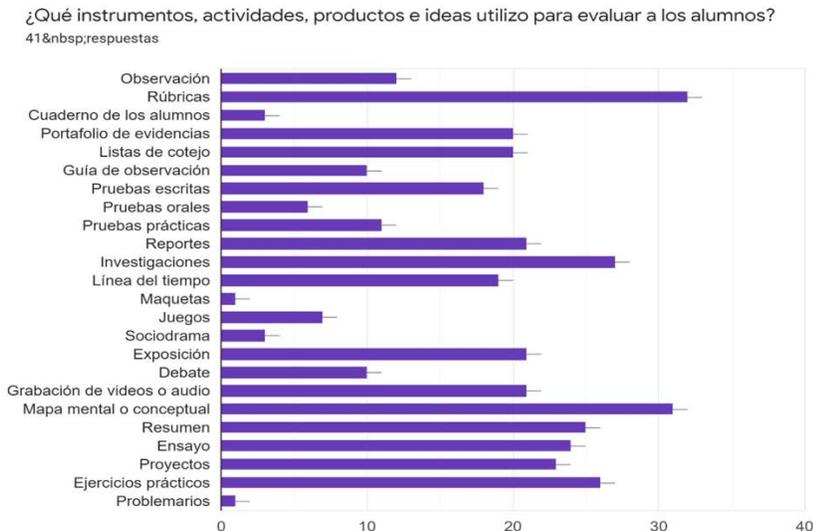
Cuando a los docentes se les cuestiono acerca de las plataformas más utilizadas, los datos más relevantes que se obtuvieron es que el 90.2% de preferencia tiene el classroom, 82.9%, el meet, 43.9% el zoom, el 17,1% prefiere el Moodle. Cabe destacar que a pesar de que ambos tecnológicos cuentan con Moodle prefieren trabajar con la plataforma de classroom por ser considerarla más intuitiva en comparación con la plataforma de Moodle.

Gráfico 7. Herramientas para evaluar.



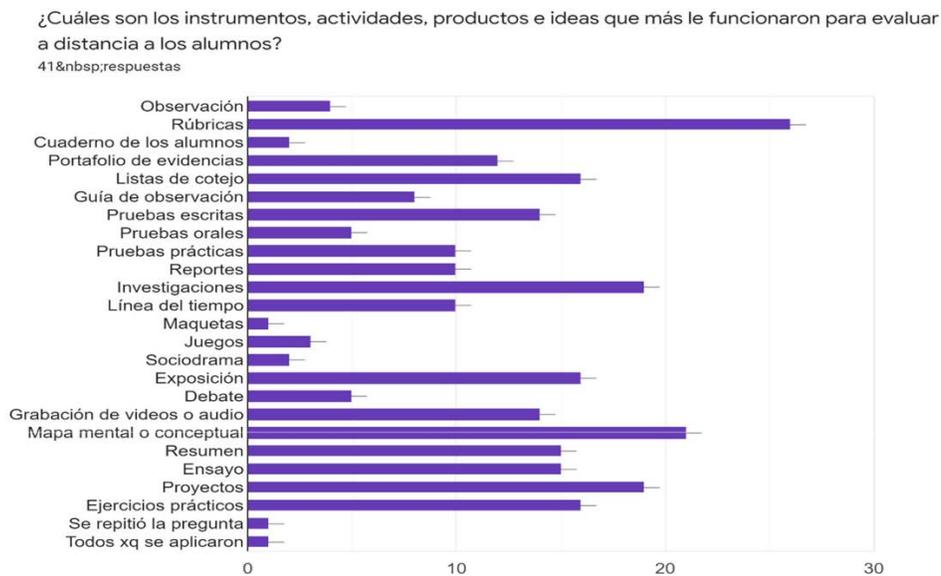
En el momento rubro de ¿Cuáles herramientas utilizaron con más frecuencia para evaluar? Los docentes señalaron las siguientes herramientas: los formularios de Google con una preferencia del 80.5%, seguida muy por detrás por Quizziz con 41.5% de preferencia, un 22% de preferencia por Kahoot e Infografías. Cabe mencionar que los formularios Google forms cuenta con varias ventajas como: ser una herramienta gratis, solo necesitas una cuenta Google, permite exportar a una hoja de cálculo, puedes limitar el tiempo y las respuestas, se puede enviar el cuestionario por correo electrónico, insertarlo en las plataformas y enviar el enlace por cualquier otro medio.

Gráfico 8. Instrumentos, actividades, productos e ideas para evaluar.



En este periodo de pandemia han sido múltiples instrumentos, productos e ideas para evaluar a los alumnos, dentro de este rubro destaca cuando se les comentó a los profesores que eligieran sus favoritos en orden de importancia se determinó que el 78% de preferencia lo tiene el uso de rúbricas para evaluar, el 75% de uso lo tiene el mapa mental o conceptual, el 65.9 % de preferencia lo tiene encargar investigaciones a los alumnos, el 61% la elaboración de resumen, 58.5% ensayos, 56.1% proyectos, el 51.2% solicitar reportes a los alumnos, exposiciones, elaboración de videos, el 48.8% de preferencia la tiene evaluar con el portafolio de evidencias y listas de cotejo, 46.3% lo obtuvo evaluar con líneas del tiempo, 43.9% pruebas escritas, entre otros más de más bajo porcentaje. La evaluación en línea requiere que los docentes conozcan las herramientas tecnológicas, pero no es suficiente su dominio, sino también repensar y rediseñar las estrategias evaluativas y las formas de evaluación, de alguna forma en esta pandemia los docentes se han tenido que reinventar y diversificar su forma de evaluar cómo se puede apreciar, tratando de innovar en cada momento. El sistema de evaluación siempre ha sido motivo de debate en las instituciones de educación. Sin embargo, en la coyuntura actual, esta discusión se hace más compleja, ante el reto de realizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en una modalidad remota (Faurdon, 2020)

Gráfico 9. Instrumentos, actividades, productos e ideas funcionales para evaluar.



En este estudio no solo se buscó determinar cuáles eran los instrumentos, actividades, productos, ideas, que utilizaron sino determinar cuáles fueron las que más le funcionaron, porque es diferente dato no siempre lo que se piensa que va a funcionar es correcto, sobre todo en la educación en línea. En este sentido se les solicito a los docentes que mencionaran las formas de evaluar que más les funcionaron, teniendo como resultado de preferencia las rúbricas con el 63.4%, el

mapa conceptual o mental con el 51.2%, las investigaciones y proyectos con el 46.3%, seguidas por exposiciones, ejercicios prácticos y listas de cotejos con el 39%, seguidos por el resumen y ensayo con el 36.6% Se puede determinar que los porcentajes entre lo que encargaron a los alumnos en la anterior gráfica presentada difiere de lo que realmente les funciona.

Conclusiones

La situación actual desde los inicios de la pandemia ha llevado a tomar medidas extraordinarias en todo el mundo, como lo ha sido el confinamiento de las personas en diversos periodos, esto ha llevado a suspender diversas actividades, entre estas, la impartición de clases de manera presencial en las Instituciones del país, que tuvo que ser sustituida por educación virtual, y en estos últimos días en educación híbrida, lo cual ha llevado a un cambio de estilo de vida de los estudiantes y docentes, de la forma de enseñar, de la forma de interactuar, los docentes en especial se tuvieron que capacitar a ritmos acelerados en uso de tecnologías, plataformas, los docentes se vieron obligados a reinventarse e innovarse, a cambiar el proceso de enseñanza y aprendizaje diseñando nuevas estrategias y sobre todo modificando su forma de evaluar, ensayando a prueba y error.

Hoy en día, el docente no solo debe de contar con una formación pedagógica y técnica de su área correspondiente, sino tener una formación en TIC, además de lograr un cambio de pensamiento que le permita derribar mitos, creencias y actitudes que en el pasado estaban orientadas principalmente a las clases magistrales.

En cuanto a los resultados del estudio, los docentes manifestaron que consideran bueno el dominio que adquirieron en las TIC derivado de las capacitaciones que recibieron, hicieron hincapié en la necesidad de seguirse capacitando sobre todo en temas de software y aplicaciones móviles. El elemento más importante que tuvieron para comunicarse con los alumnos fue el whatsapp, seguido por el correo electrónico. En cuanto a las plataformas más utilizadas, el estudio arrojó que fue el classroom y el meet, situación que resulta peculiar debido a que cuentan con el MOODLE, pero no obstante lo anterior no es su preferido. En las herramientas para evaluar, prefieren hacerlo con Google forms seguidos de Quizz porque les permite entre otras ventajas contar con las calificaciones automatizadas.

Los instrumentos, actividades, productos, ideas que más utilizan para evaluar son las rúbricas para calificar, el mapa conceptual o mental, las investigaciones y proyectos seguidas por exposiciones, ejercicios prácticos. Es importante contar con esta información, pero se sugiere que más adelante se establezcan estudios sobre los resultados de la efectividad de la educación en línea y el modelo híbrido en la enseñanza de los educandos.

Referencias

- Castro L., Ricardo. (2020). Coronavirus, una historia en desarrollo. *Revista médica de Chile*, 148(2), 143-144. <https://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872020000200143>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (s/f). Gob.mx. Recuperado el 27 de septiembre de 2021, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5589479&fecha=16/03/2020
- Faurdon, H. (2020) Estudio exploratorio en Iberoamérica sobre procesos de enseñanza-aprendizaje y propuesta de evaluación en tiempos de pandemia. *Revista Usual*. <https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/2091/1/23537-79772-1-SM.pdf>
- Hernández, R.M.. (2017). Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas. *Propósitos y Representaciones*, 5(1), 325–347 <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>
- Rodrigo, R. (17 Mayo de 2021). Número de usuarios de internet en México creció 10% en 2020: Asociación de internet.mx. *El economista*. <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Numero-de-usuarios-de-internet-en-Mexico-crecio-10-en-2020-Asociacion-de-Internet.mx-20210517-0079.html>

PLAN DE CAPACITACIÓN EN EL PROTOCOLO DE CONTROL SANITARIO DEL COVID-19, COMO MEDIDA DE SEGURIDAD AL INTERIOR DE LOS SISTEMAS DE COMERCIALIZACIÓN EN LA ORGANIZACIÓN. (ESTUDIO DE CASO)

ANGÉLICA DEL CARMEN LÓPEZ TOTO¹, MARTIN MÁRQUEZ ESPINOZA², ANA MERCEDES ECHEVARRIA BETANZO³

Resumen

La pandemia derivada del COVID-19 ha marcado un fuerte impacto prácticamente en todas las naciones y específicamente en los sistemas de comercialización ante los controles sanitarios que se deben de aplicar. El objetivo de este estudio es ayudar a concientizar al personal de los consultorios de medicina especializada "JUNO DOCTORS", implementado un plan de capacitación en el protocolo de control sanitario del COVID-19 (caso de estudio). Dentro del desarrollo del trabajo fue necesario conocer la actividad económica en la que se encuentra operando el negocio, se analizó si se cumplen con los reglamentos de control sanitario en el personal interno, así como en los pacientes, llevando a cabo un sondeo de opinión pública a los empleados, conociendo el manejo de los consultorios, así mismo se desarrolló el plan de capacitación en donde se les brindo información importante del cuidado sanitario dentro de las áreas de trabajo y fomentando el uso correcto de las mismas. Este plan de capacitación fomento la importancia en el cuidado personal de los trabajadores y de los pacientes. Así mismo se generó un mayor control en la propagación pandémica, contribuyendo en crear un vínculo de confianza, entre los pacientes y el personal médico de estos sistemas de comercialización, fortaleciendo el crecimiento económico de dicho sector.

Palabras clave: Plan de capacitación, Covid-19, control sanitario, opinión pública, control pandémico.

Abstract

The pandemic derived from COVID-19 has had a strong impact in practically all nations and specifically in the marketing systems before the health controls that must be applied. The objective of this study is to help raise awareness among the staff of the specialized medicine offices "JUNO DOCTORS", implementing a training plan in the health control protocol of COVID-19 (case study).

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV). Escolleras Norte S/N Colonia la Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Veracruz. lopeztoto@itsav.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV). Escolleras Norte S/N Colonia la Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Veracruz. mark-es.96@itsav.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV). Escolleras Norte S/N Colonia la Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Veracruz. anabetanzo98@gmail.com

Within the development of the work it was necessary to know the economic activity in which the business is operating, it was analyzed if the health control regulations are complied with in the internal personnel, as well as in the patients, carrying out a public opinion poll To the employees, knowing the management of the clinics, likewise the training plan was developed where they were provided with important information on health care within the work areas and promoting the correct use of them. This training plan fostered the importance of personal care for workers and patients. Likewise, a greater control was generated in the pandemic spread, helping to create a bond of trust between the patients and the medical personnel of these marketing systems, strengthening the economic growth of said sector

Introducción

La pandemia del COVID-19 y la ola de contagios del SARS-COV-2, han creado estragos en la vida de todo el mundo, protegerse es la prioridad de todos en este momento. Existen vacunas que han sido creadas para disminuir el riesgo de contagio en la población, por otra parte, el riesgo de contagiarse persiste, es indispensable que las empresas se encuentren acatando las medidas de control sanitario para resguardar la salud del personal interno y externo que engloba su negocio, no importando el sector económico a que se dediquen.

El proyecto se enfoca en observar, determinar e incluso tomar medidas que ayuden a mejorar el manejo del protocolo de control sanitario, es importante analizar este punto, ya que actualmente los casos de contagios persisten y hasta la fecha no se ha logrado vacunar a todas las personas del mundo, por tal razón existe aún el riesgo de ser portador del virus e infectar a más personas. Para poder analizar adecuadamente este problema mundial se tomó como modelo de prueba a los consultorios de medicina especializada JUNO DOCTORS, la cual se dedica al sector económico de servicio privado en la salud pediátrica.

Se recopiló información de parte de los directivos y del personal en general con el fin de conocer su punto de vista, ya que son ellos los que se encuentran colaborando día a día en los consultorios, con la documentación recopilada se determinó el diagnóstico del plan de capacitación del protocolo de control sanitario que se encontraba utilizando, asimismo se jerarquizaron los problemas que presentaban priorizándolos para trabajar con ellos, se organizó un cronograma de actividades que ayudaría a realizar las actividades planeadas de manera adecuada y controlada, además se tomó como base el apoyo de la tecnología para tener controlado el acceso al servicio, también analizando el manejo de los departamentos se detectaron las actividades proactivas que se encuentran realizando como organización y se capacito de manera adecuada al personal interno y externo, asimismo se mejoró la guía de servicio al cliente, con el propósito de que los empleados conocieran las medidas que deben de ser tomadas para el

resguardo de los pacientes. Por último, se evaluó el desempeño de los trabajadores con las correcciones previamente realizadas para obtener los resultados deseados.

Metodología

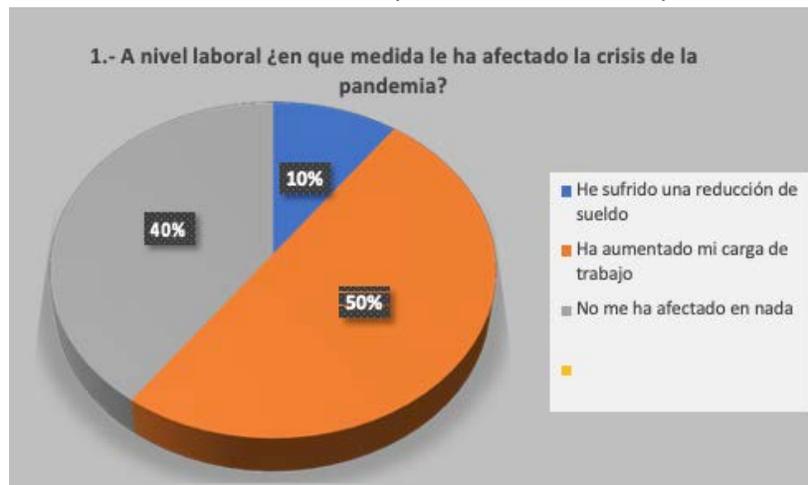
La metodología del estudio se centró en el análisis de un grupo de trabajadores que conforma el equipo de los consultorios médica especializada JUNO DOCTORS y los resultados fueron categorizados de manera general, ya que lo que se buscaba es determinar que afectaciones se presentaron al comienzo de la pandemia del COVID-19 y las olas de contagios en la población. Se valoró una muestra de 24 empleados entrevistados, de las cuales se integran por 15 especialistas hombres de un aproximado de 23 a 35 años y de 9 especialistas mujeres de un aproximado de 23 a 33 años, los cuales asisten a los consultorios y como población total para dicho estudio. Se aplicó una encuesta como instrumento de evaluación, que contiene variables enfocadas al equipo de protección que es utilizado en los consultorios para la seguridad de los empleados y de los pacientes, al igual de los inconvenientes presentados en este tiempo. Al conocer el manejo del protocolo de sanitización, se diagnosticó que es insuficiente por tal razón es importante tomar cartas en el asunto y realizar medidas correctivas para obtener mejores resultados. Para comenzar a contrarrestar el mal manejo del protocolo, se formuló una campaña de concientización y responsabilidad social, en la cual se implementó un objetivo el cual se tendría que alcanzar, se creó una imagen corporativa con la que determinaría la campaña informativa, para tener un sistema controlado se realizó un cronograma de actividades el cual ayudaría a seguir un orden en las actividades que se implementarían al personal interno como al externo de los consultorios.

Una de las actividades primordiales que ayudaron a formular correctamente el objetivo principal del proyecto fue, realizar un presupuesto de los materiales que son necesarios para contrarrestar el peligro de contagios. El objetivo de un presupuesto es brindar a la organización un panorama financiero actualizado que facilite la toma de decisiones y fomente el crecimiento de la misma. Además, prepara a las empresas para hacerle frente a los posibles cambios que puedan surgir en el tiempo. Por tal razón es importante brindarle los materiales necesarios en cuanto a los costos con diferentes proveedores para tomar una buena decisión. Para conocer la aceptación de los cambios implementados en los consultorios, se formuló una encuesta de salida, la cual nos brindaría los datos de la satisfacción del servicio ofrecido durante la estadía, para realizar esta actividad se cuestionó a los pacientes que asistieron a solicitar el servicio en un tiempo de tres semanas, el segmento de mercado que fue encuestado forma parte de padres de un aproximado de 25 años a 40 años.

Resultados

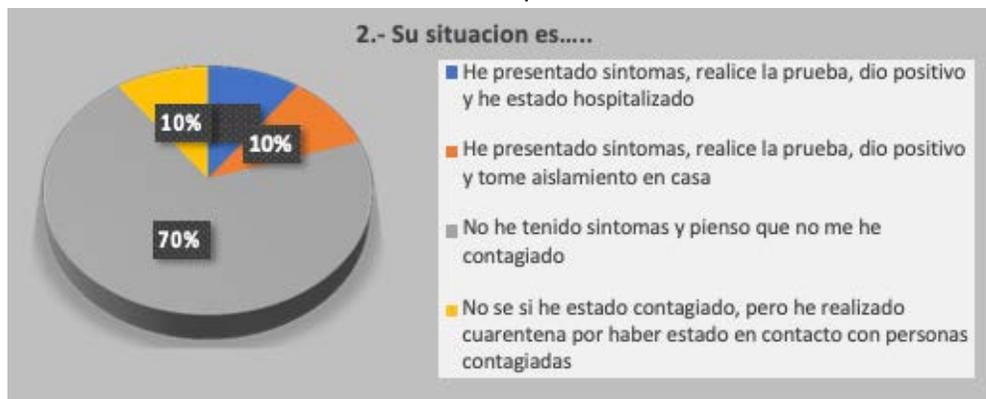
Sondeo de opinión pública del personal.

Gráfico 1. Afectación laboral presentada durante la pandemia



Se encuestó a los empleados de la unidad médica especializada para analizar los cambios que sufrieron durante la pandemia, los resultados obtenidos nos explican que el 50% de los trabajadores sufrió aumento de trabajo, el 40% explica que no sufrió ninguna afectación en su trabajo mientras que el 10% indica que sufrió una reducción en su sueldo

Gráfico 2. Situación médica del personal de los consultorios.



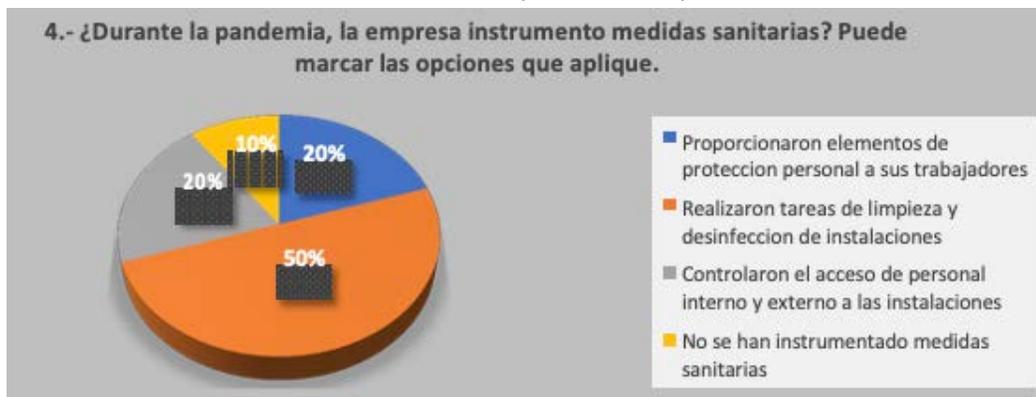
Es importante determinar los casos que presentaron algún síntoma de covid-19, los resultados mencionan que el 70% de los trabajadores no llegaron a sentir ningún tipo de padecimiento y por tal razón no llegaron a pensar que estuvieran infectados, mientras que el 30% sufrieron o estuvieron expuestos ante el virus.

Gráfico 3. Grupos de riesgo que pueden ser afectados por el virus



El 50% mencionan que no pertenecen a un grupo de riesgos y el 50% mencionan que pertenecen a un grupo de riesgo.

Gráfico 4. Medidas sanitarias implementadas por los consultorios.



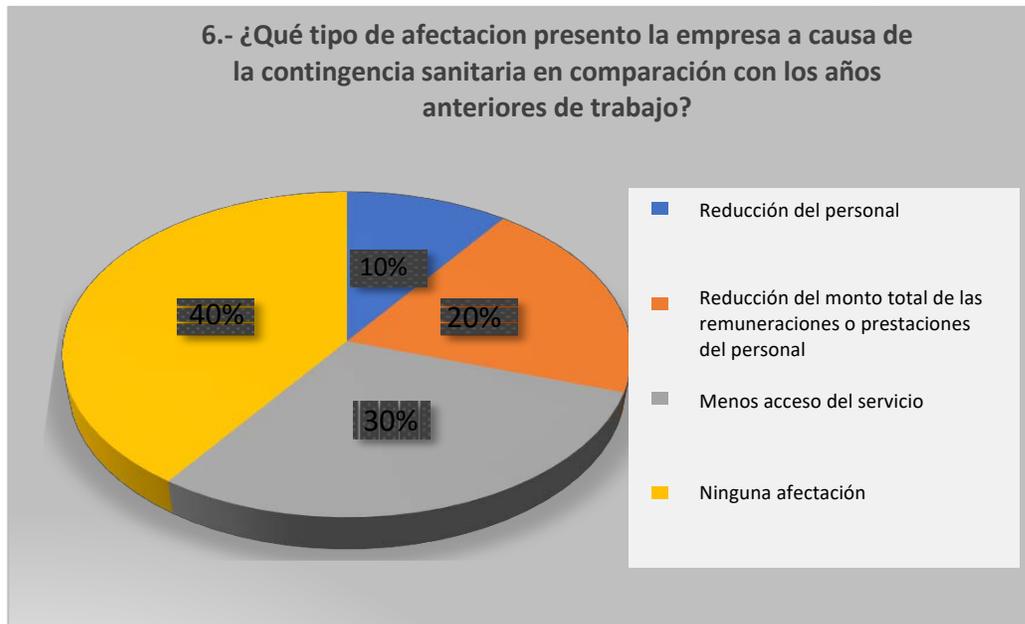
Las medidas sanitarias deben de tomarse en cuenta en todos los negocios por tal razón se interrogó a los encuestados si llevaban a cabo dicho reglamento el 90% menciona que se implementaban medidas, mientras que el 10% menciona que no lo hacen.

Gráfico 5. Materiales utilizados en los consultorios para evitar la propagación del virus.



En la pregunta anterior se plasmó que los consultorios médicos especializados tomaban medidas de prevención, en esta pregunta se indican las acciones tomadas para brindar el servicio a los pacientes.

Gráfico 6. Afectaciones que presentaron los consultorios, con las nuevas reglas de sanitización



Se interrogo a los empleados para conocer si JUNO DOCTORS había sufrido algún inconveniente durante la pandemia, el 40% mencionaron que no sufrió ningún percance, mientras que el 60% menciona que sufrió algunos inconvenientes.

Gráfico 7. Paros técnicos o cierres temporales que sufrieron durante la pandemia



Las pérdidas económicas que sufrieron los negocios se determinaron por el cierre temporal de actividades, por esta razón se preguntó si tuvieron que parar en sus actividades por un tiempo, el 80% mencionan que no pero el 20% mencionaron que si sufrieron este inconveniente.

Observaciones

Dentro del estudio, que se implementó con el propósito de obtener resultados en base a la observación y a la opinión de los trabajadores ya que ellos son los principales interesados en cuidar el bienestar de los pacientes.

Durante el tiempo que se realizó el sondeo de opiniones dentro de JUNO DOCTORS, se pueden observar diferentes actividades, las cuales realizan los departamentos con los que cuenta Juno Doctors. Se dedican a ofrecer servicio de salud y prevención de enfermedades tanto como físicas y psicológicas, dentro de ella se encuentran sub especialistas del área de pediatría, más sin embargo desean crecer y obtener más médicos especialistas para atender a personas adultas.

De acuerdo con los resultados de la encuesta realizada se puede observar que dentro del ámbito económico y productivo la unidad médica de servicio no fue afectada durante este proceso de la pandemia, sino todo lo contrario, las ventas del servicio fueron aumentando; el equipo de publicidad se encarga de atraer cada vez más la atención de los posibles pacientes dentro del segmento de mercado donde se dirigen, cabe mencionar que dentro de las actividades del personal administrativo y del servicio médico incrementó su trabajo al igual que el estrés, más sin embargo el nivel de los trabajadores no fue afectado si no todo lo contrario tratan de ser productivos y fieles al compromiso que tienen a los consultorios médicos especialistas. Dentro de las observaciones que se lograron recopilar, sobre el tema si lleva un protocolo de control sanitario, se detectó que si lo llevaban a cabo, sin embargo se percató que ciertos parámetros no se cumplen dentro de las instalaciones para el cuidado de los pacientes, ciertamente cuentan con productos de limpieza para desinfectar las áreas que son utilizadas, al igual con gel desinfectante para utilizarlos las veces que sea necesario, sin embargo solo se encuentra un solo recipiente para los pacientes, esto hace que surja el problema de que no logre ser detectado por todos, y esto ocasiona que no lo usen adecuadamente, la entrada a la sala de espera no cuenta con un tapete sanitizante esto hace que se puede propagar el virus por la suciedad de los zapatos, el uso de mascarillas si es obligatorio para poder entrar a tomar el servicio, más sin embargo se pudo observar que algunos trabajadores no toman conciencia de lo importante que es acatar esta regla de medida sanitaria, existe de igual manera un problema con el control de acceso limitado a la sala de espera, ya que en ocasiones la sala de espera se encuentra muy llena y eso ocasiona que no se cumplan la regla de sana distancia en los pacientes

Campaña de concientización y responsabilidad social

A continuación, se presenta el desarrollo cronológico de la implementación de la campaña de concientización, dicha actividad forma parte fundamental para conectar de manera directa con el personal y los pacientes que todos los días solicitan el servicio. Para desarrollar las actividades primero se creó una imagen corporativa, la cual representaría el inicio de las actividades, el logo que se realizó tenía que ir acorde al tema que se iba a tratar junto con esto se implementó un eslogan que brindara confianza y que fuera fácil de recordar para todos, para comenzar a difundir la información más importante y relevante se realizaron carteles informativos, folletos y señalizaciones que nos indicaban las reglas que se deberán acatar durante la estadía en los consultorios médica especializada, la información se dio a conocer en un lapso de 4 semanas, ya que se trató de abarcar a la mayoría de pacientes que se presentaron a recibir el servicio en un mes, se capacito a los trabajadores para que implementaran los cuidados pertinentes de sanitización con los materiales y herramientas de trabajo que utilizan con cada uno de los pacientes, así conociendo la información ellos se encargarían de difundir la información de las medidas implementadas al igual las nuevas reglas que se deberán respetar por la salud de ellos mismo a los demás pacientes que se presenten en el futuro. El objetivo central, es fomentar la concientización del uso correcto de los materiales que se deben de utilizar para evitar la propagación del virus a mas personas y resguardar nuestra propia salud.

Objetivo de la campaña

Fomentar la importancia del uso adecuado de las medidas sanitarias ante la COVID-19, ayudando a las empresas a crear un vínculo de confianza entre los clientes y la empresa, evitando la propagación del virus.

Programa de trabajo

El presente plan de estudio, ha sido elaborado para los consultorios médica especializados JUNO DOCTORS, ubicada en la calle 20 de noviembre y José Azueta col. Centro del estado de Veracruz, ver. En base a las necesidades identificadas, en la unidad médica, se plantea realizar diferentes actividades en conjunto con la ayuda del personal, ya que ellos son los encargados de brindar el servicio y su objetivo como empresa es brindar confianza y ver por la integridad de los pacientes. Por un tiempo me encontré colaborando, como miembro del personal en el tiempo de febrero a junio del presente año, las actividades que desempeñaba eran en el departamento de recepción, en la cual el trato era directo con los pacientes que asistían a recibir el servicio, al igual se tenía que tener una comunicación clara y respetuosa con los médicos y el personal que colabora ahí, por tal motivo conozco las necesidades, fortalezas y debilidades con las que cuenta JUNO DOCTORS. A lo largo de este tiempo se ha podido recopilar información de

los aspectos relacionados con el buen funcionamiento de cada una de sus áreas. Es muy importante resaltar que existen evidencias en los cuales se basó, para establecer el presente plan de trabajo ya que han sido elaborado en base a las necesidades sanitarias con las que cuenta, pensando asimismo no sólo en el presente sino en la proyección futura de los consultorios médicos especializados JUNO DOCTORS

Cronograma de actividades

Campaña de concientización y responsabilidad social ante la contingencia sanitaria COVID- 19, para la empresa JUNO DOCTOR						
Número	Objetivo que se pretende alcanzar	Acciones	Responsable	Fecha de inicio	Fecha de terminación	Incidentes
1	Alcanzar la atracción de los clientes, fomentando la concientización	Diseño de la identificación de la campaña logo y eslogan	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	01/03/21	06/03/21	Retardo de 1 día
2	Diseñar imágenes que brinden la información deseada, para fomentar el cuidado ante la contingencia sanitaria COVID-19	Imágenes que generen la información de la campaña	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	08/03/21	19/03/21	Ninguno
3	Interpretar información relevante y de interés para los clientes y el personal de la empresa	Diseñar folletos, tripticos, carteles	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	22/03/21	26/03/21	Ninguno
4	Hacer llegar la información necesaria a los clientes de manera más facil	Creación de un Blog Web	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	29/03/21	09/04/21	Falta de información
5	Realizar un evento donde se planeen los puntos importantes a los empleados	Brindar información a los trabajadores del manejo de las medidas sanitarias que deben de implementar	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	30/03/21	16/04/21	Ninguna
6	Lograr atraer la atención de los pacientes, con información clara y alusiva	Dar a conocer a los pacientes información relevante de los cuidados pertinentes que se deben llevar a cabo	Ana Mercedes Echevarria Betanzo	19/04/21	07/05/21	Ninguna

Evidencias del plan de trabajo

Dentro de este apartado se encontrarán las evidencias de las actividades que se desarrollaron a lo largo de un tiempo determinado, en cada una de las imágenes se representa la información adecuada de lo que se realizó y los resultados que se obtuvieron al ser implementadas.



Figura 1. Logo y eslogan de la campaña de concientización y responsabilidad social.

Al realizar esta actividad se buscó principalmente encontrar una imagen alegre y vistosa al público para llamar la atención de ellos, el eslogan implementado necesitaba que fuera fácil de recordar y que brindara confianza. Los resultados fueron favorables, los pacientes y los trabajadores les agrado el diseño implementado



Figura 2. Carteles informativos y reglamentos internos.

Se brindo información de los lineamientos que se implementarían para el resguardo de la salud de todos, dentro de estas medidas se encuentran el acceso limitado a las personas, el uso adecuado del lavado de manos, el uso obligatorio de cubrebocas y mantener la sana distancia. Las personas acataron estas medidas de manera responsable para su protección.



Figura 3. Medidas sanitarias implementadas en los consultorios médica especializada Juno Doctors.

Las medidas que se implementaron para evitar la propagación del virus, es el uso de desinfectantes, limpiadores de superficies como lo es el cloruro de hipoclorito (cloro), toallas desinfectantes, gel antibacterial, jabón líquido, toallas de papel para secarse las manos y aromatizantes. Cada consultorio cuenta con sabanas quirúrgicas que son cambiadas por cada paciente que lo utiliza, al igual cuentan con desinfectante para que limpien las herramientas utilizadas y gel antibacterial que deben utilizar en todo momento que se tenga contacto con los pacientes. Al entrar a la sala de espera todos deben de limpiar su calzado en el tapete sanitizante para evitar que el virus pueda propagarse por la suciedad de los zapatos, al igual

se les brinda gel antibacterial o se les invita a pasar al baño a lavarse las manos, de esta actividad se encargan las señoritas del departamento de recepción



Figura 4. Actividades implementadas por el departamento de recepción

El departamento de recepción dentro de sus actividades laborales tiene que desempeñar el cuidado de los pacientes, por tal razón desinfectan las áreas más comunes que tocan las personas para evitar la propagación del virus



Figura 5. Medidas implementadas por los médicos

Los médicos deben utilizar cubrebocas en todo momento para brindar el servicio, al igual los pacientes y el familiar del paciente deberá cumplir con las reglas del protocolo de control sanitario



Figura 6. Consultas online

Como medida de prevención los médicos brindan consultas en línea a los pacientes que se encuentran enfermos del virus del COVID-19 o a pacientes que por miedo de ser infectados desean mejor una consulta a distancia

Presupuesto de materiales que son utilizados en la implementación del protocolo del control sanitario.

Para lograr tener un control adecuado en los gastos de los materiales se necesitó desarrollar un presupuesto el cual ayudo a comparar los costos de los materiales antes mencionados para posteriormente presentarlo a los directivos de los consultorios para llevarlo a la implementación. Para presentar un informe a los directivos de los consultorios se estudió a los proveedores que se tomarían como base para adquirir los productos, hoy en día es rápido y fácil adquirir productos a través de aplicaciones ya que tienen servicio a domicilio, como lo son Mercado libre y Amazon, cabe mencionar que dentro de estas aplicaciones se puede encontrar diferentes promociones que ayudan a la economía de la organización, además previniendo asistir a establecimientos en donde se acumulen un exceso de personas se tomaron como base estos proveedores para la compra de los materiales, se tomó un tercer proveedor para algunos productos para comparar los precios ya que nos recomendaron las franquicias de la farmacia Ylan. Los materiales que se cotizaron son cubrebocas para adultos y niños, tapete sanitizante, producto de limpieza para sanitizar y gel antibacterial, los precios que manejas dependen de la cantidad que ofrecen ya sea en piezas o en litros, el costo va de desde 150 pesos hasta 800 pesos dependiendo el material y la cantidad a adquirir, para conocer más detalladamente los costos se presentan unas tablas comparativas para la toma de decisión final.

Presupuesto de cubrebocas adulto							
Mercado libre				Amazon			
100				100			
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz	Costo de envío	costos del Paq.	Total	Costo por pz
94	108	202	2.02	0	159	149	1.49
200				50			
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz	Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz
94	219	313	1.57	0	113	149	2.98
300							
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz				
94	219	313	1.04				

Gráfica 8. Presupuesto de cubrebocas de adultos

Con los datos presentados se logró determinar que la mejor opción es adquirir los productos en mercado libre y se comprara el paquete de 300 piezas

Presupuesto de cubrebocas infantil							
Mercado Libre				Amazon			
50 pz				50 pz			
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz	Costo de envío	costos del Paq.	Total	Costo por pz
94	98	192	3.84	0	165	165	3.3
100 pz				100 pz			
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz	Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz
94	194	288	2.88	0	298	298	2.98
200 pz							
Costo de envío	costo del Paq.	Total	Costo por pz				
94	298	392	1.96				

Gráfica 9. Presupuesto de cubrebocas infantil

Se tomo como proveedor para este producto mercado libre ya que se necesitaba adquirir 200 piezas de cubrebocas infantiles

Presupuesto tapete sanitizante					
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete 2 alfombras	Total	Costo de envío	1 tapete 2 alfombras	Total
94	159	253	0	200	200
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete 1 felpa de secado	Total	Costo de envío	1 tapete 1 tapete para secado	Total
94	119	213	98	129	227
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete	Total	Costo de envío	1 tapete	Total
94	89	183	0	159	159

Gráfica 10. Presupuesto de tapete sanitizante

El proveedor de Amazon brinda un tapete y 2 alfombras que sirven para sacar el calzado a un precio de \$200°° por tal razón es el proveedor al cual que le comprara el producto

Presupuesto de sanitizante								
Mercado libre			Amazon			Farmacia Ylan		
Costo de envío	Costo por 5 L	Total	Costo de envío	Costo por 4 L	Total	Costo de envío	Costo por 5 L	Total
0	426	426	0	550	550	0	499	499

Gráfica 11. Presupuesto de sanitizante.

Para comparar el costo de este producto se consultaron los costos a tres proveedores, el cual ofrece 5 litros de este producto por un costo más bajo que los otros dos y por tal razón se decidió que el proveedor sería mercado libre.

Presupuesto de gel antibacterial								
Mercado libre			Amazon			Farmacia Ylan		
Costo de envío	Costo por 5 L	Total	Costo de envío	Costo por 4 L	Total	Costo de envío	Costo por 3.760 L	Total
0	375	375	70	550	620	0	858	858

Gráfica 12. Presupuesto de gel antibacterial.

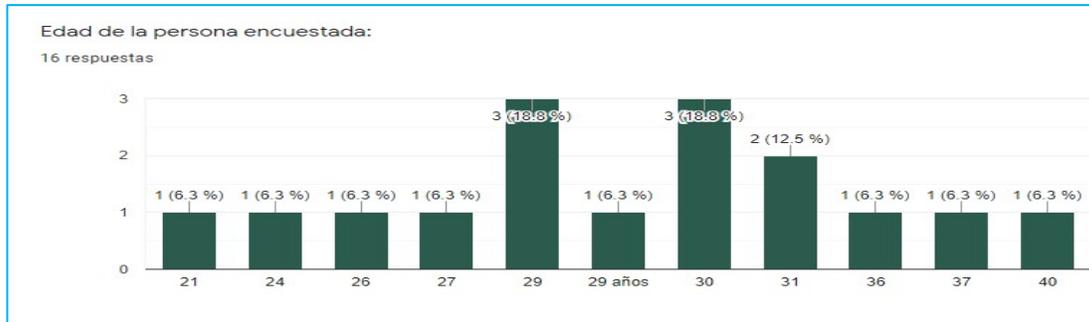
El proveedor de mercado libre ofrece 5 litro de gel antibacterial por \$375°, lo cual es más barato que los demás proveedores. Por tal razón se tomó la decisión de que sería el distribuidor del producto mercado libre

Encuesta de satisfacción del servicio

Para conocer el uso correcto de las medidas y de la satisfacción de los pacientes con el servicio brindado, se implementó una encuesta de salida, es un estudio que sirve para medir qué tan satisfechos están los clientes y cuál es el nivel de compromiso que tienen hacia el servicio que se ofrece. Realizar una encuesta de satisfacción siempre es la mejor manera de conocer lo que opinan los clientes.

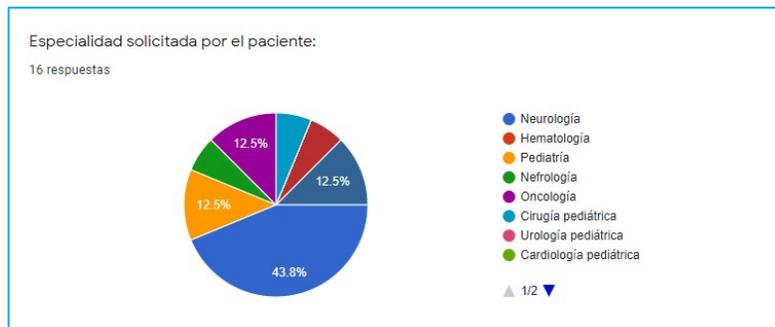
Existen muchos métodos para hacer encuestas, sin embargo, realizar una encuesta de satisfacción en línea siempre será la mejor opción, ya que es el recurso más económico, rápido y fácil. A través de una encuesta de satisfacción se puede conocer también a los clientes insatisfechos y prevenir que abandonen el servicio. Así, se tendrán las herramientas para cumplir con las expectativas de los clientes y no afectar los ingresos de la empresa.

Para desempeñar esta actividad se tomó de manera aleatoria a pacientes que asistieron a los consultorios en un tiempo de 3 semanas los cuales respondieron los siguiente:



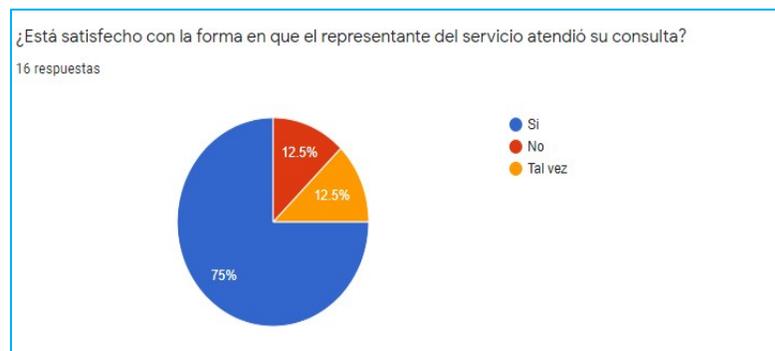
Gráfica 13. Segmento de mercado a la cual se dirige el servicio.

Es importante determinar el segmento de mercado donde se dirige el servicio, esto ayuda al departamento de publicidad para concientizar los colores, información y horarios en las que se publicara la información. Gracias a los resultados del cuestionario se determinó que el segmento se encuentra en personas de la edad de 21 años a los 40 años.



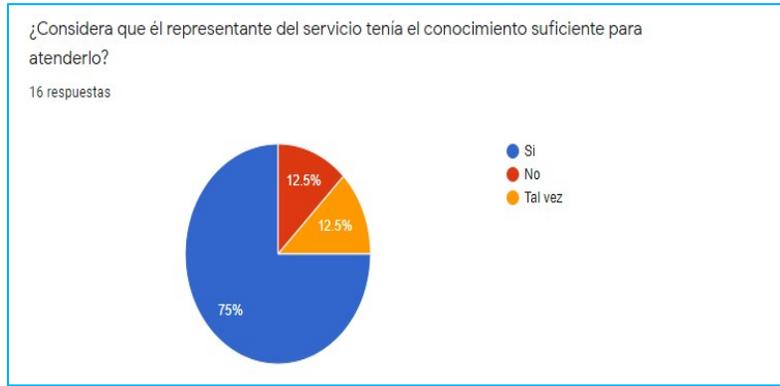
Gráfica 14. Servicio recibido.

Determinar la especialidad que se encuentra en el posicionamiento número 1, ayuda a observar que la publicidad debe de variar para ayudar los demás especialistas en obtener más demanda.



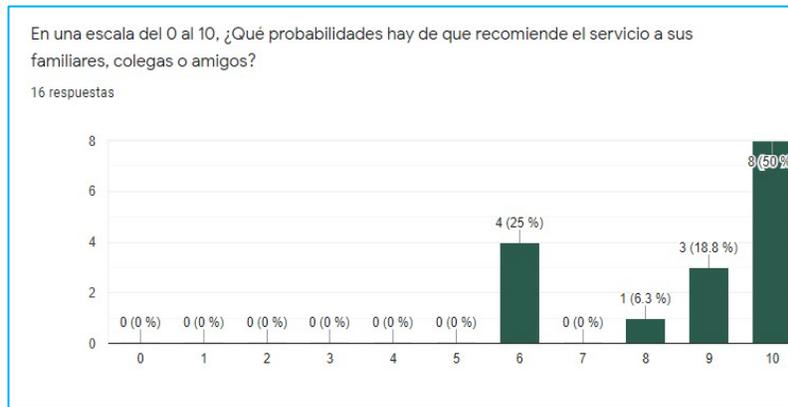
Gráfica 15. Satisfacción del servicio ofrecido.

Calificar el servicio brindado ayudara a los consultorios médicos especializados en mejorar el servicio brindado, las personas interrogadas proporcionaron que el 75% se encuentran satisfechos, el 12.5% se siente confundido del servicio y el 12.5% menciona que no se encuentran satisfechos con el servicio



Gráfica 16. Conocimiento del personal.

Cuando se ofrece un servicio es importante conocer del tema y prepararse día a día para satisfacer las necesidades de los consumidores. El servicio brindado se encuentra en un porcentaje de satisfacción del 75% mientras que el 25% se encuentran confundidos con el servicio.



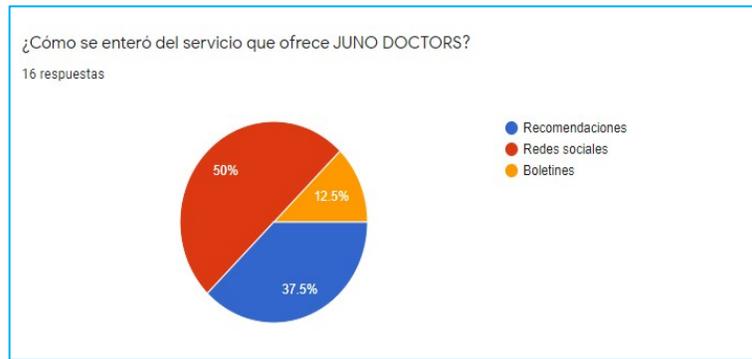
Gráfica 17. Recomendaciones del servicio.

El porcentaje de calificación de ser recomendado con más personas gracias al servicio brindado es de 68.8% en una escala de 9 y 10, mientras que 31.2% califican entre 6 y 8 para recomendar el servicio.



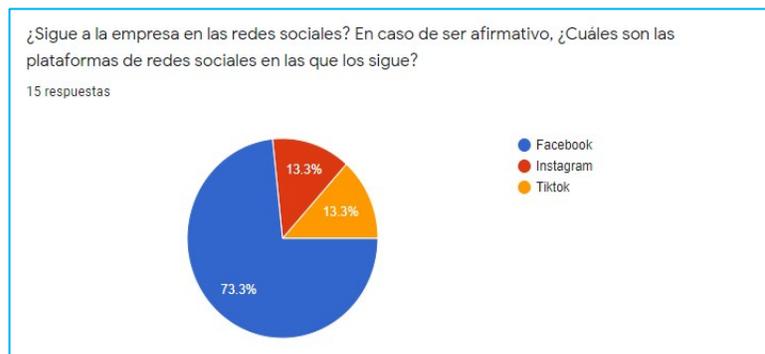
Gráfica 18. Utilización del servicio en un futuro.

El 75% de los encuestados mencionan que volverán a utilizar el servicio en un futuro, mientras que el 25% se encuentran confundidos.



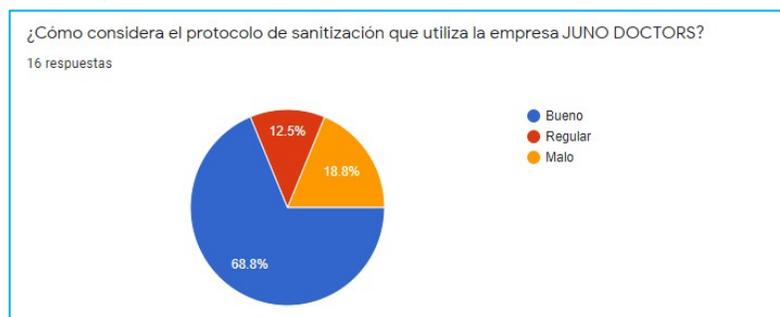
Gráfica 19. Como conocieron el servicio médico

Es importante conocer el alcance que tienen la publicidad del servicio por tan razón se realizó la pregunta, la cual nos brindó la información que el 50% se enteró gracias a las redes sociales, el 37.5% por recomendaciones de pacientes y el 12.5% gracias a boletines.



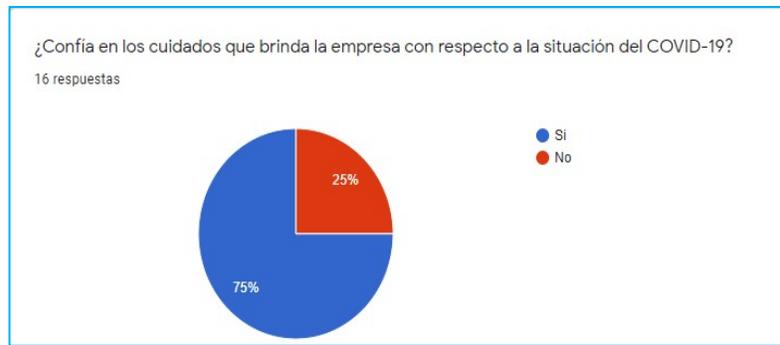
Gráfica 20. Redes sociales por el cual conocen el servicio médico.

Dependiendo la pregunta anterior es importante conocer la aplicación por la cual se conoce el servicio, gracias a las personas interrogadas nos proporcionaron que el 73.3% siguen a JUNO DOCTORS por Facebook, mientras que el 13.3% por Instagram y el 13.3% por Tiktok.



Gráfica 21. Satisfacción con las medidas sanitarias implementadas.

Conocer la satisfacción del paciente en cuanto a las medidas de sanitización de los consultorios médicos especializados, es importante, el 68.8% de las personas se encuentran satisfechas con las medidas, mientras que el 31.3% no se encuentran satisfechas



Gráfica 22. Confianza en el protocolo de control sanitaria que utilizan en los consultorios médica especializada.

Los pacientes encuestados mencionan que el 75% confían en los cuidados que presentan, ante la situación sanitaria mientras que el 25% no se encuentran satisfechos.

Conclusión

Después de culminar el estudio en los consultorios medicina especializada JUNO DOCTORS.

Se llegó a la conclusión de que al final si se logró el desempeño adecuado de la incógnita planteada, desde el principio cuando se destinó a realizar el estudio, con el tema "Plan de capacitación en el protocolo de control sanitario del COVID-19, como medida de seguridad al interior de los sistemas de comercialización en la organización", esto con el fin de determinar el uso correcto de las medidas correspondientes ante la pandemia del COVID-19 en las empresas, ya que el gobierno junto con la secretaria de protección civil esperaban que todos los negocios del estado de Veracruz cumplieran con las indicaciones reglamentarias, sin embargo se detectó que tanto como las micro empresas y macro empresas sufrieron disminución de ventas en los servicios y los productos que ofrecen al mercado, por tal razón no podían costear los materiales necesarios para tomar precauciones ante la situación, o en algunos casos no toman muy en serio esta situación y no acatan los reglamentos correspondientes.

El periodo en cual se realizó la investigación, se interactuó con el personal y se conocieron sus ideas y propuestas para lograr implementarlas en el desarrollo del proyecto, ya que estaban interesados en mejorar el desempeño de su servicio, para esto se conoció el protocolo de sanitización que se encontraban utilizando, se evaluó a grandes y minuciosos rasgos, el desempeño del protocolo y se plantió al departamento directivo y de fianzas, los puntos de vista que se detectaron en las distintas áreas que manejan, esto con el fin de llegar a un acuerdo en mejorar los cuidados sanitarios e incluso personales que deberían realizar para evitar la propagación del virus. Los resultados con los cuales se deseaban culminar fueron los correctos, los empleados aceptaron los cambios y están llevando a cabo la

implementación de las medidas sanitarias tal y como se les indico y los pacientes se encuentran satisfechos del servicio que se brinda y más que estén acatando las medidas adecuadas de un protocolo de control sanitario. El conocimiento obtenido durante la estancia fue de mucha ayuda para la elaboración del plan de capacitación de un protocolo de control sanitario. La ayuda del personal fue muy grata, porque proporcionaron la información necesaria para la evaluación.

Recomendaciones

Después de conocer el manejo que implementa los consultorios medica especializada, se recomienda que se verifique constantemente el correcto manejo del protocolo de control sanitario por parte de los empleados que colaboran en la organización, y si es necesario realizar correcciones, implementándolas lo más antes posible para contrarrestar el peligro de contagiarse. Para revisar el correcto manejo de las medidas sanitarias implementadas, se recomienda evaluar a los empleados con una evaluación de 360° grados, esta herramienta será de mucha ayuda ya que en ella se puede evaluar la actitud y compromiso de llevar a cabo las medidas sanitarias al igual también se puede evaluar el desempeño de los trabajadores en sus puestos

Otra actividad que pueden implementar, es una interrogación a los pacientes antes de tomar su consulta para determinar si presentan sospechas de posible contagio del virus. Esto se puede hacer mediante un formulario Google, que se puede mandar a través de un mensajito de WhatsApp con un día de anticipación, y conocer su estado médico, en un dado caso que el paciente indique que si presenta posible contagio sugerirle tomar su consulta en línea y si no acceden a esta sugerencia, tomar los cuidados pertinentes más estrictos en los consultorios para evitar que otros pacientes se contagien.

Referencias

- cyberclick . (30 de 04 de 2021). cyberclick . Obtenido de cyberclick :
[https://www.cyberclick.es/marketing#:~:text=El%20marketing%20es%20el%20sistema,las %20necesidades%20de%20los%20consumidores.](https://www.cyberclick.es/marketing#:~:text=El%20marketing%20es%20el%20sistema,las%20necesidades%20de%20los%20consumidores.)
- Definicion.ABC. (16 de 03 de 2021). Definicion.ABC. Obtenido de Definicion.ABC:
<https://concepto.de/protocolo/>
- DGCES secretaria de salud . (15 de 03 de 2021). DGCES secretaria de salud . Obtenido de DGCES secretaria de salud :
http://www.calidad.salud.gob.mx/site/calidad/regulacion_control_sanitario.html
- Gobierno de México . (30 de 03 de 2021). Gobierno de México . Obtenido de Gobierno de México : <http://nuevanormalidad.gob.mx/files/FAQ.pdf>
- Gobierno de México (Lineamientos Tecnicos de control sanitaria). (30 de 03 de 2021). Gobierno de México (Lineamientos Tecnicos de control sanitaria). Obtenido de Gobierno de México (Lineamientos Tecnicos de control sanitaria): <http://nuevanormalidad.gob.mx/>
- Gobierno de mexico. (17 de 03 de 2021). Gobierno de mexico. Obtenido de <https://coronavirus.gob.mx/covid-19/>
- Instituto Nacional del Cancer. (16 de 03 de 2021). Instituto Nacional del Cancer. Obtenido de Instituto Nacional del Cancer:
<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/covid-19>
- IVE consultores . (15 de 03 de 2021). IVE consultores . Obtenido de IVE consultores :<https://iveconsultores.com/plan-de-capacitacion/>
- La Asociación para el Progreso de la Dirección. (17 de 03 de 2021). La Asociación para el Progreso de la Dirección. Obtenido de <https://www.apd.es/importancia-del-capital-humano-en-una-empresa/>
- Morales, F. C. (16 de 03 de 2021). Economipedia . Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/protocolo.html>
- Organizacion mundial de la salud. . (17 de 03 de 2021). Organizacion mundial de la salud. Obtenido de Organizacion mundial de la salud.
<https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>

LA TRANSPARENCIA DE LOS RECURSOS Y LA RENDICIÓN DE CUENTAS EN LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA

CLAUDIA MARÍA HERNÁNDEZ RINCÓN¹, VÍCTOR AGUILAR PIZARRO², FRANCISCO AMADOR LÓPEZ VILLEGAS³

Resumen

Derivado de la necesidad y del derecho de los ciudadanos a tener acceso a la información pública y a su vez, a la obligación de que toda dependencia, ente u organismo que reciba recursos públicos tiene para transparentar el uso y aplicación de éstos así como de rendir cuentas, se ha incrementado de manera considerable el interés que tienen dichos temas, toda vez que la misma inercia del constante auge de informar a la sociedad sobre las decisiones tomadas, los procesos realizados, así como las acciones llevadas a cabo con recursos públicos y su aplicación en el sector educativo, se han establecido normas, lineamientos, etc., encaminados a transparentar su gestión y en qué se utilizan, poniendo a disposición de los ciudadanos la información existente. Asimismo, como parte inherente de la transparencia, la rendición de cuentas se consolida como un deber y una obligación que tiene todo servidor que maneje recursos públicos, debiendo reportar sus acciones, así como el resultado de las mismas.

Aunado a lo anterior y derivado de que, por ejemplo, una universidad pública aun siendo autónoma, tiene la obligación de transparentar la aplicación de sus recursos mediante la constitución de comités, órganos colegiados, unidades de transparencia, capacitación, archivos, infraestructura y medios tecnológicos necesarios para garantizar el efectivo acceso a la información, así como de promover la generación de documentación, la publicación de ésta, difundir y contribuir a la cultura de la transparencia.

Palabras clave: información pública, recursos, acceso a la información, transparencia, rendición de cuentas.

Introducción

A través del paso del tiempo, nuestro país ha experimentado diversos cambios originados por diferentes factores, tales como: políticos, jurídicos, sociales, económicos, etc., los cuales influyen en su concepción, funciones, operación,

¹ Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo II s/n esquina Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, Código Postal 94294, Boca del Río, Veracruz. claudiahernandez02@uv.mx

² Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo II s/n esquina Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, Código Postal 94294, Boca del Río, Veracruz

³ Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo II s/n esquina Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, Código Postal 94294, Boca del Río, Veracruz

percepción, valoración y acción, impulsando la necesidad que los ciudadanos tengamos acceso a la información pública, así como a que los diferentes actores realicen la rendición de cuentas de conformidad a la obligación de informar a la sociedad sobre las decisiones, procesos, uso, aplicación y resultados de las acciones y del manejo de los recursos públicos, es por ello que con mayor razón deben transparentarse y rendir cuentas a la población.

De conformidad a lo señalado en los artículos 1 y 2 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LFTAIP) se establece que: *“La presente Ley es de orden público y tiene por objeto proveer lo necesario en el ámbito federal, para garantizar el derecho de acceso a la Información Pública en posesión de cualquier autoridad, entidad, órgano y organismo de los poderes Legislativo, Ejecutivo y Judicial, órganos autónomos, ... así como de cualquier persona física, moral o sindicato que reciba y ejerza recursos públicos federales o realice actos de autoridad, en los términos previstos por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública.*

Artículo 2. Son objetivos de la presente Ley:

- I. Transparentar la gestión pública mediante la difusión de la información oportuna, verificable, inteligible, relevante e integral.*
- II. Favorecer la rendición de cuentas a los ciudadanos, de manera que puedan valorar el desempeño de los sujetos obligados;”*

Los organismos autónomos como es el caso de la Universidad Veracruzana, entre otros, manejan recursos económicos ministrados por el gobierno, por lo cual deben cumplir con las obligaciones de transparencia y más aún por tratarse de recursos destinados a la educación. A partir de ello, surge este estudio, abordando de manera particular el caso de la Universidad Veracruzana, para garantizar el efectivo acceso a la información, promover la generación, documentación, publicación de la misma y difundir la cultura de la transparencia en el ejercicio de su actuar; para tal objeto abordaremos el tema inicialmente con los conceptos de: información pública, transparencia, rendición de cuentas, para acto seguido dar pauta a los mecanismos de transparencia implementados por la Universidad Veracruzana, al final se presentan las conclusiones respectivas, además de incluir la bibliografía y/o fuentes de consulta utilizadas.

Transparencia, rendición de cuentas y acceso a la información

Información pública se considera a todo aquel archivo, registro o dato contenido en cualquier medio, documento o registro impreso, óptico, electrónico, magnético, químico, físico o biológico que se encuentre en poder de los Entes Públicos y que

no haya sido previamente clasificada como de acceso restringido (Instituto de Transparencia, Acceso a la Información Pública, Protección de Datos Personales y Rendición de Cuentas de la Ciudad de México, 2021).

Etimológicamente, la transparencia se deriva de la palabra compuesta latina *transparere*. Lo transparente es lo que podemos ver de un lado a otro, lo que aparece viendo a través de algo. Lo transparente no es simplemente lo que podemos observar, sino lo que podemos observar a través de una división, una pared, una frontera (Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la información, 2021).

Mauricio Merino, dice que: “La transparencia [...] es algo más que derecho a la información, puede ser mucho más útil, si se entiende como herramienta para combatir la apropiación privada de los espacios públicos”. (Merino, 2018, pág. 15).

Sergio López Ayllón define a la transparencia “una política pública orientada a maximizar el uso social de la información de los organismos gubernamentales. No debe confundirse con el derecho de acceso a la información” (Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la información, 2021).

Rendición de cuentas significa que las personas, los organismos y las organizaciones (de carácter público, privado y de la sociedad civil) tienen la responsabilidad del adecuado cumplimiento de sus funciones. (Secretaría de la Función Pública, 2013)

Tomando en cuenta las definiciones anteriores, es fundamental puntualizar que, al hacer referencia de la transparencia en el sector público, ésta se enfoca a establecer medidas y políticas destinadas a cambiar las prácticas de gestión pública, arcaicas y cerradas, las cuales eran practicadas por las administraciones públicas anteriores, es decir, no existía un gobierno abierto al escrutinio de la sociedad.

La transparencia se refiere a todo aquel ente público que “permite ver su actuar”; el acceso a la información se enfoca a la disposición que tienen los mismos a proporcionarla cuando se le solicita.

A nivel federal, desde el año 2002 mediante la publicación de la abrogada Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental (artículos 1, 2 y 3 fracciones XI y XIV inciso d), se garantizó el acceso de toda persona a la información en posesión de los Poderes de la Unión, los órganos constitucionales autónomos (las universidades y las demás instituciones de educación superior a las que la Ley otorga autonomía, entre otros), o con autonomía legal y cualquier otra entidad federal.

Asimismo, el artículo 43 fracción II de la LFTAIP establece que el Instituto a través de los mecanismos de coordinación que al efecto establezca, podrá: *“Promover entre las instituciones públicas y privadas de educación media superior y superior, la inclusión, dentro de sus programas de estudio, actividades académicas curriculares y extracurriculares, de temas que ponderen la importancia social del derecho de acceso a la información y rendición de cuentas;”*.

Los sujetos obligados deberán cumplir, según corresponda, con las siguientes obligaciones dispuestas por el artículo 11 de la LFTAIP:

- I. Contar con los Comités de Transparencia, las Unidades de Transparencia y vigilar su correcto funcionamiento de acuerdo con su normatividad interna;*
- II. Designar en las Unidades de Transparencia titulares que dependan directamente del titular del sujeto obligado, y que preferentemente cuenten con experiencia en la materia;*
- III. Proporcionar capacitación continua y especializada al personal que forme parte de los Comités de Transparencia y Unidades de Transparencia;*
- IV. Constituir y mantener actualizados sus sistemas de archivo y gestión documental conforme a la normatividad aplicable;*
- V. Promover la generación, documentación, y publicación de la información en Formatos Abiertos y Accesibles;*
- VI. Proteger y resguardar la información clasificada como reservada o confidencial;*
- VII. Reportar al Instituto sobre las acciones de implementación de la normatividad en la materia, en los términos que este determine;*
- VIII. Atender los requerimientos, observaciones, recomendaciones y criterios que en materias de transparencia y acceso a la información realice el Instituto y el Sistema Nacional;*
- IX. Fomentar el uso de tecnologías de la información para garantizar la transparencia, el derecho de acceso a la información y la accesibilidad a éstos;*
- X. Cumplir con las resoluciones emitidas por el Instituto en ejercicio de las facultades legales respectivas;*
- XI. Publicar y mantener actualizada la información relativa a las obligaciones de transparencia;*
- XII. Difundir proactivamente información de interés público;*
- XIII. Promover acuerdos con instituciones públicas especializadas que pudieran auxiliarles a entregar las respuestas a solicitudes de información en lengua indígena, braille o cualquier otro ajuste razonable con el formato accesible correspondiente, en la forma más eficiente;*
- XIV. Promover la digitalización de la información en su posesión y la utilización de las tecnologías de información y comunicación, de conformidad con las políticas que al efecto establezca el Sistema Nacional;*
- XV. Dar atención a las recomendaciones del Instituto, y*
- XVI. Las demás que resulten de la Ley General y demás normatividad aplicable.”*

A nivel estatal, a partir del año 2007, con la publicación de la abrogada Ley 848 de Transparencia y Acceso a la Información Pública para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, se promovió la máxima publicidad de los actos de los sujetos obligados, la rendición de cuentas de los servidores públicos hacia la sociedad y la transparencia en la gestión pública (artículos 1, 2 y 3).

Subsecuentemente, con la nueva Ley 875, cuya denominación es idéntica a su antecesora publicada el 29 de septiembre de 2016 se dispone promover, fomentar y difundir la cultura de la transparencia en el ejercicio de la función pública, el acceso a la información y la participación ciudadana, así como la rendición de cuentas, a través del establecimiento de políticas públicas y mecanismos que garanticen la publicidad de la información oportuna, verificable, comprensible, actualizada y completa, que se difunda en los formatos más adecuados y accesibles para todo el público y en atención, en todo momento, a las condiciones sociales, económicas y culturales (artículos 1 y 2).

La Ley de Transparencia y acceso a la Información Pública para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave con la actualización de fecha 5 de noviembre de 2020, en su artículo 9 fracción VIII, señala que son sujetos obligados en ésta: *“VIII. Las universidades públicas e instituciones de educación superior pública dotadas de autonomía;*

“Artículo 11. Para el cumplimiento de los objetivos de la presente Ley, los sujetos obligados tendrán las siguientes obligaciones:

- I. Constituir el Comité y las Unidades de Transparencia y vigilar su correcto funcionamiento, de acuerdo con su normatividad interna;*
- II. Designar a los titulares de las Unidades de Transparencia y nombrar a los servidores públicos que las integren, que dependerán directamente del titular del sujeto obligado y que, preferentemente, contarán con experiencia en la materia;*
- III. Proporcionar capacitación continua y especializada al personal de los Comités, Unidades de Transparencia y áreas, en temas de transparencia, acceso a la información, rendición de cuentas, datos personales y archivos;*
- IV. Constituir y mantener actualizados sus sistemas de archivo y gestión documental;*
- V. Publicar, actualizar y mantener disponible, de manera proactiva, a través de los medios electrónicos con que cuenten, la información a que se refiere esta Ley y, en general, toda aquella que sea de interés público;*
- VI. Promover la generación, documentación y publicación de la información en formatos abiertos y accesibles;*
- VII. Proteger y resguardar la información clasificada como reservada o confidencial;*

- VIII. *Permitir a los servidores públicos del Instituto, debidamente acreditados, el acceso a la información pública y a los archivos administrativos, para verificar el cumplimiento de las obligaciones que les impone esta Ley;*
- IX. *Cumplir los acuerdos y las resoluciones del Instituto y colaborar con éste en el desempeño de sus funciones;*
- X. *Atender los requerimientos, observaciones, recomendaciones y criterios que en materia de transparencia y acceso a la información pública realice el Instituto;*
- XI. *Procurar condiciones de accesibilidad para que las personas con discapacidad ejerzan los derechos regulados en esta Ley;*
- XII. *Crear y hacer uso de sistemas de tecnología avanzados, así como adoptar las nuevas herramientas para que los ciudadanos consulten información de manera directa, sencilla y rápida;*
- XIII. *Contar con el material y equipo de cómputo adecuado, así como con la asistencia técnica necesaria, a disposición del público, para facilitar las solicitudes de acceso a la información y la interposición de los recursos de revisión;*
- XIV. *Contar con la infraestructura y los medios tecnológicos necesarios para garantizar el efectivo acceso a la información de las personas con discapacidad e indígenas, para lo cual podrán valerse de las diversas tecnologías disponibles para la difusión de la información pública;*
- XV. *Elaborar y publicar un informe semestral de las acciones realizadas en la materia y de implementación de las bases y principios de la presente Ley;*
- XVI. *Responder de manera integral las solicitudes de información que les sean presentadas en términos de la presente Ley, documentando en todos los casos el haber realizado la búsqueda de lo solicitado de forma exhaustiva;*
- XVII. *Fomentar la cultura de la transparencia y el respeto del derecho de acceso a la información pública;*
- XVIII. *Reportar al Instituto las acciones de implementación de la normatividad en la materia, en los términos que se señalen en la misma; y*
- XIX. *Las demás que determinen esta Ley y otras disposiciones aplicables.”*

La rendición de cuentas y la transparencia en la Universidad Veracruzana

La Universidad Veracruzana siendo un organismo público autónomo, está sujeta a las leyes antes mencionadas de transparencia, toda vez que recibe recurso público tanto del gobierno federal así como del estatal, tal como puede apreciarse en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Subsidio Ordinario 2021 (Secretaría de Educación Pública, 2021)

 Monto Federal \$2,742'193,808.00 <small>(Dos mil setecientos cuarenta y dos millones ciento noventa y tres mil ochocientos ocho pesos 00/100 m.n.)</small>	 Monto Estatal \$3,062'402,960.00 <small>(Tres mil sesenta y dos millones cuatrocientos dos mil novecientos sesenta pesos 00/100 m.n.)</small>	 Monto Público \$5,804'596,768.00 <small>(Cinco mil ochocientos cuatro millones quinientos noventa y seis mil setecientos sesenta y ocho pesos 00/100 m.n.)</small>
---	--	---

Nota: El monto total de las ministraciones expresadas en esta tabla puede diferir de la suma establecida en el Anexo de Ejecución debido al redondeo.

Cuadro 2. Numeralia (Secretaría de Educación Pública, 2021)

66,043	Matrícula Educación Superior Total ¹
0	Matrícula educación media superior total ²
66,043	Matrícula Total ³
2,107	Total de Profesores de Tiempo Completo ⁴
1,223	Total de Profesores de Tiempo Completo con Perfil Deseable Vigente ⁴
525	Profesores en el Sistema Nacional de Investigadores vigente ⁴
\$87,891.17	Subsidio por alumno (federal y estatal) ⁵
47.24%	Porcentaje de participación de la Federación ⁵
52.76%	Porcentaje de participación del Estado ⁵

Referencias:

- ¹ Sistema de consulta y explotación. Educación Superior, Formatos 911, Ciclo 2020-2021. TSU, Lic. y Posgrado.
- ² Sistema de consulta y explotación. Educación Superior, Formatos 911, Ciclo 2020-2021. Educación media superior.
- ³ Ciclo 2020-2021.
- ⁴ Datos a Agosto de 2021, Dirección de Fortalecimiento Institucional, DGESUI-SEP.
- ⁵ Datos de la Dirección de Subsidio 2021 (incluye subsidio federal y estatal). El cálculo para estudiantes de media superior es de 0.7. Para el subsidio por alumno solo se considera el subsidio ordinario y esta cifra podría modificarse al cierre del año fiscal.

La Universidad Veracruzana cuenta también con medios de difusión y comunicación accesibles a toda la comunidad universitaria y público en general, como lo son: Tele UV, Radio UV, Universo y Redes Sociales, que obviamente pueden facilitar el cumplimiento de la obligación legal de difundir la cultura de la transparencia, el acceso a la información pública y la protección de datos personales, así como, promover la participación ciudadana y la difusión de los proyectos dirigidos por la CUTAI. (Universidad Veracruzana, 2021)

Coordinación Universitaria de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (CUTAI) de la Universidad Veracruzana.

La CUTAI es la Unidad de Transparencia de la Universidad Veracruzana, inició actividades durante el transcurso del mes de noviembre del ejercicio 2006 y es la instancia facultada para recibir, tramitar y resolver las solicitudes de acceso a la información pública que realicen los interesados, además de publicar y mantener actualizadas las obligaciones de transparencia, así como para notificar y poner a disposición de los mismos la información pública que requiera cualquier persona interesada en obtener la información.

La CUTAI se rige internamente por el Reglamento de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales, el cual fue aprobado en sesión del H. Consejo Universitario General celebrada el día 14 de diciembre de 2016,

modificado en sesión del Consejo Universitario General celebrada el 9 de junio 2017 y modificado en sesión del Consejo Universitario General celebrada el 23 de marzo 2018.

Las Obligaciones de Transparencia, es toda aquella información que incluye los temas, documentos y políticas que la Universidad Veracruzana debe poner a disposición del público en general y mantener actualizadas, en la Plataforma Nacional de Transparencia, a través del Sistema de Portales de Obligaciones de Transparencia (SIPOT) y en el portal de transparencia de nuestra Universidad, sin que medie solicitud de información.

La CUTAI para el cumplimiento de sus atribuciones, coordinados por su titular, se apoya en los Departamentos de: Transparencia, Acceso a la Información y en el de Datos Personales como se muestra en la imagen 1 su Estructura Organizacional:

Imagen 1. Estructura Organizacional de la CUTAI



La CUTAI tiene la misión de *“Difundir y fortalecer la cultura de la transparencia y de rendición de cuentas de la Universidad Veracruzana garantizando el derecho de acceso a la información y la protección de los datos personales con los medios, mecanismos e instrumentos previstos en la normatividad aplicable y en las buenas practicas.”* (Veracruzana, 2020)

Además, cuenta con la visión de *“ser una dependencia eficaz y eficiente en la consolidación de la cultura de la transparencia, la rendición de cuentas y el debido tratamiento de los datos personales, que contribuya a generar certidumbre y confianza en la gestión de la Universidad Veracruzana, con reconocimiento nacional e internacional, como garante de los derechos de acceso a la información pública y a la protección de los datos personales”.* (Veracruzana, 2020)

El Objetivo Estratégico de la CUTAI es fortalecer la cultura de la transparencia y de la rendición de cuentas, a través de la difusión de la información pública generada en todas sus áreas, garantizando el derecho de toda persona a acceder a la información pública y a la protección de sus datos personales en posesión de la Universidad Veracruzana en apego a la normatividad aplicable (Veracruzana, 2020).

El Objetivo General de Transparencia es supervisar que la información de las obligaciones de transparencia sea cargada en el Sistema de Portales de Obligaciones de Transparencia (SIPOT) por las áreas responsables que generan la información, de acuerdo a la normatividad aplicable y dar seguimiento a los compromisos establecidos en los ejercicios de Gobierno Abierto en los que participe la UV. (Veracruzana, 2020)

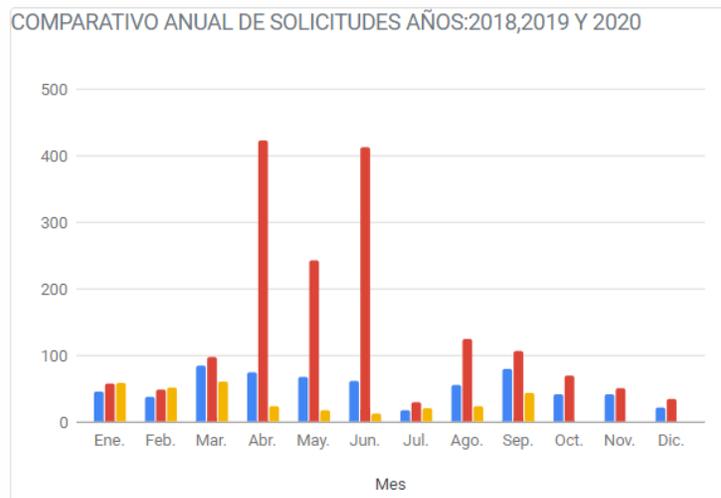
Por ende y en cumplimiento a la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y al Reglamento de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales de la Universidad Veracruzana, así como con la finalidad de proveer lo necesario para que toda persona pueda ejercer su derecho de acceso a la información pública, mediante procedimientos sencillos, expeditos y gratuitos, el 27 de agosto de 2007, la Universidad Veracruzana lanzó el sistema electrónico denominado Mkatsiná para administrar las preguntas y respuestas de las Dependencias y Entidades Académicas de la Universidad Veracruzana.

Cabe mencionar que a partir del 19 de febrero de 2021, el medio para realizar solicitudes de acceso a la información será únicamente la Plataforma Nacional de Transparencia en la dirección electrónica <https://www.plataformade transparencia.org.mx/web/guest/i>

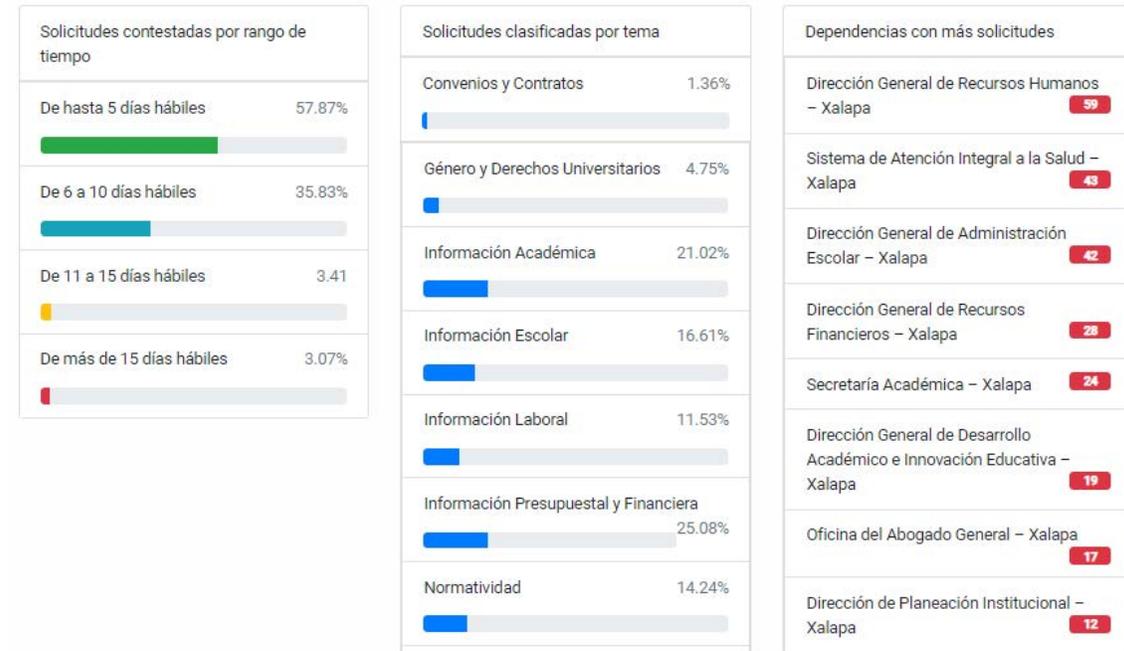
Cuadro 3. Solicitudes de acceso a la información 2020 realizadas a través del sistema Makatsiná con estadística del 1 de enero al 30 de septiembre de 2020 (Veracruzana, 2020)



Figura 1. Comparativo anual de solicitudes de acceso a la información recibidas años 2018, 2019 y 2020. (Veracruzana, 2020)



Cuadro 2. Resultados por rango relativo al tiempo de contestación, clasificación por tema y Dependencias con más solicitudes (Veracruzana, 2020)



Conclusiones

La transparencia y acceso a la información es un tema que contribuye a conocer la información relevante y actualizada, impulsa la participación responsable y activa de la sociedad civil, el gasto eficiente y eficaz de los recursos públicos, contribuye a la estabilidad política; lo anterior promueve la inversión, fortaleciendo así al Estado y la población, puesto que la información debe ser accesible a los ciudadanos, el no hacerlo genera desconfianza y descrédito en las entidades públicas, así como sanciones al ente que esté incumpliendo con dichas obligaciones.

Gracias a que se ha fomentado de manera reiterada la cultura de la transparencia, más personas se interesan en participar de forma activa ejerciendo su derecho al acceso de la información para conocer, el fin, uso y aplicación de los recursos públicos, lo cual obliga a que los gobiernos e instituciones cumplan con la rendición de cuentas y la transparencia.

Dado lo anterior, las Instituciones de Educación Superior pertenecientes al sector público, son instituciones que deben cumplir con la obligación de rendir cuentas y transparentar el manejo de sus recursos públicos, para evitar el desvío de los mismos y mermar su función sustantiva, la cual es brindar educación de calidad a los jóvenes universitarios.

Como se aprecia, la Universidad Veracruzana siendo un organismo público autónomo, está obligada a poner a disposición de la comunidad universitaria y de la sociedad en general, la información generada, obtenida, adquirida, transformada o conservada por las diversas dependencias y entidades de la cual se deriva su actuación, en cumplimiento de sus funciones, esto a través de la Coordinación Universitaria de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (CUTAI).

Cumplir con acciones de transparencia y acceso a la información, hace que se fortalezca la confianza y aprobación de la ciudadanía y demás instituciones públicas o privadas en conocer el funcionamiento y manejo de información jurídica, institucional, financiera, académica, de adquisiciones, de obras y de acceso.

En razón de lo anterior la Universidad Veracruzana cumple con lo estipulado en la normatividad en la materia siguiendo una de sus principales funciones, brindar educación de calidad a sus jóvenes universitarios.

Referencias

- Ley Federal de Transparencia y acceso a la Información Pública
- Ley de Transparencia y acceso a la Información Pública para el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Reglamento de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales, obtenido de <https://colaboracion.uv.mx/rept/files/marco-juridico/2021/9-Normatividad-Interna/9-2-Transparencia-05-2018.pdf>
- Ayllón, S. L. (2017). La Transparencia Gubernamental. En S. L. Ayllón, La Transparencia Gubernamental (pág. 6). México: UNAM Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Ayllón, S. L. (5 de agosto de 2019). Jurídicas UNAM. Obtenido de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/9/4319/19.pdf>
- Crespo, J. A. (2001). Fundamentos Políticos de la Rendición de Cuentas. En J. A. Crespo, Fundamentos Políticos de la Rendición de Cuentas.
- Fernández, J. G. (2001). La transparencia en México: ventajas y desventajas. Mexico.
- Guillermo M. Cejudo, S. L. (5 de agosto de 2019). (2009). Índice de Transparencia y Acceso a la Información de las Universidades Públicas en México. México: areoigonal.com.
- Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la información. (3 de agosto de 2019). Obtenido de <http://cevifaipublica.ifai.org.mx/cursos/lftaip2/m1-17.html>
- Merino, M. (2018). Opacidad y corrupción: las huellas de la captura. Ciudad de México: Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información.
- Transparencia Mexicana. (4 de agosto de 2019). Transparencia Mexicana. Obtenido de <https://www.tm.org.mx/transparencia-internacional/>
- Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la información. (3 de agosto de 2019). Obtenido de <http://cevifaipublica.ifai.org.mx/cursos/lftaip2/m1-17.html>
- Transparencia Mexicana. (4 de agosto de 2019). Transparencia Mexicana. Obtenido de <https://www.tm.org.mx/transparencia-internacional/>

SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID PARA COMPENSACIÓN DE RETARDOS EN SISTEMAS EMBEBIDOS PARA COMUNICACIÓN POR INTERNET

MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ¹, GUSTAVO DELGADO REYES², PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ³, MARÍA ESTELA MONTES CARMONA⁴

Resumen

La mayoría de los procesos, sean cotidianos, industriales o físicos son afectados por retardos temporales o sistemas con tiempo muerto, muchas veces sin ser notados; sin embargo, el problema con los tiempos muertos o retardos es que son acumulativos, por lo tanto, pueden llegar a tener repercusiones negativas como la inestabilidad en sistemas dinámicos de lazo cerrado. En este artículo se presenta la implementación de un esquema de comunicación cliente-servidor vía internet mediante el uso de computadoras embebidas donde se realiza la simulación de un sistema dinámico de primer orden como caso de estudio. El esquema de comunicación implementado hace posible la comunicación inalámbrica y empleando el protocolo de control de transmisión (TCP) entre dos computadoras; en este sentido, el servidor se ha implementado en una computadora de placa reducida (SBC) tipo Raspberry Pi 2 B® y el cliente, se ha programado en una computadora tipo laptop la cual cuenta con el software LabVIEW 2009® instalado. Adicionalmente, con el fin de tratar con la problemática vinculada a los retardos presentes e inherentes en el canal de comunicación, se presentan las condiciones necesarias y suficientes para la sintonización de un controlador PID mediante un análisis en el dominio de la frecuencia. Finalmente, los resultados se presentan mediante una simulación en Matlab y la implementación en la computadora embebida.

Palabras clave: Controlador PID, Retardos de Comunicación, Esquema de comunicación Cliente-Servidor, Computadora Embebida.

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

² Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México. gusdelgado@uv.mx

³ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

⁴ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

Introducción

El ser humano en su búsqueda implacable por facilitar tareas involucradas en procesos de carácter industrial y/o mejorar su estilo de vida, ha desarrollado e innovado sistemas digitales que cumplen con funciones específicas (Cano, 2014). Un ejemplo es la fabricación de sensores cada vez más precisos y sistemas digitales de uso específico; tales sistemas se conocen como *sistemas embebidos* (Morelos, 2015). En la actualidad existe una gran influencia de dichos sistemas, por ejemplo, se aplican en sistemas de navegación, aeronaves no tripuladas, automóviles, redes de comunicación, redes de distribución de energía eléctrica, etc.

En este sentido, los sistemas embebidos, son parte central de este complejo mundo interconectado del IoT (internet de las cosas por sus siglas en inglés) y con su inteligencia computacional conformada de hardware y software, cumplen con tareas determinadas en tiempo real que hacen que la inteligencia integrada en circuitos se multiplique día a día. De hecho, en una forma particular, los sistemas embebidos son una alternativa de solución para el desarrollo de sistemas de comunicación por internet, sin embargo ante el manejo de grandes cantidades de información y debido a la latencia del canal de comunicación variante en tiempo que depende de horas picos, cantidad de usuarios conectados a la red y múltiples factores que aparecen en escena (Ariganello, 2007), algunos inconvenientes y problemáticas que requieren de un análisis más complejo son los tiempos de retardo implícitos en el canal de comunicación.

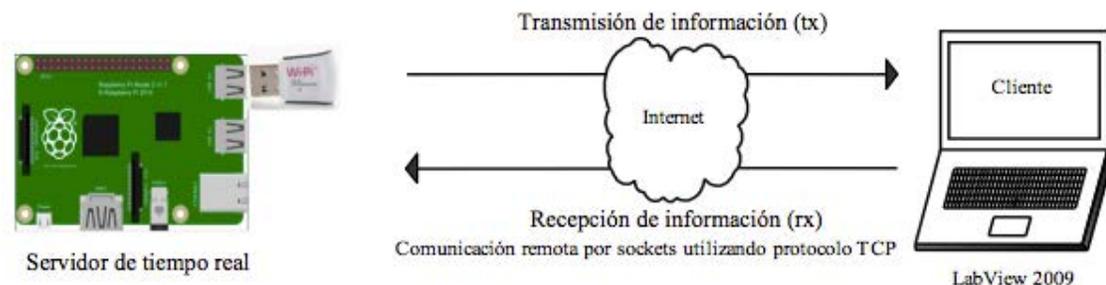
Un retardo actuando en un sistema causal se puede definir como un lapso finito entre la ocurrencia de un cambio en la entrada y la aparición de su efecto en la salida del mismo. Cuando el tamaño del retardo no es significativo si se compara con las características del sistema, es decir, con la constante de tiempo dominante, el análisis y control de aquel no son muy difíciles de llevar a cabo, pudiendo incluso despreciarse. Por el contrario, cuando el retardo es de tal magnitud que el sistema deja de funcionar adecuadamente, son necesarias otras técnicas para diseñar controladores que mitiguen su efecto.

(R. Sipahi, 2011) hacen una exposición muy completa en el enfoque de sistemas con retardo y la necesidad de diseñar sistemas que permitan tomar y ejecutar acciones de control. Los sistemas con retardo ocurren en campos tan disímiles como ingeniería, biología, física o economía. En este sentido, el presente trabajo pretende dar una solución a la problemática que lleva consigo lidiar con los tiempos de retardo intrínsecos en el proceso de comunicación vía internet mediante la implementación de un esquema cliente-servidor que servirá para la caracterización de dichos retardos. Además, se pretende diseñar y presentar las regiones de estabilidad mediante un control tipo PID para un caso general de estos sistemas dinámicos; en particular un sistema inestable de primer orden emulado en la computadora embebida Raspberry Pi®.

Para llevar a cabo el trabajo propuesto, este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan las especificaciones técnicas e implementación del sistema de comunicación cliente-servidor. En la sección 3 se lleva a cabo la experimentación y caracterización para la obtención de los tiempos de retardo en el canal de comunicación vía internet. En la sección 4 se presenta la estrategia de control propuesta para la estabilización de una clase particular de sistemas de primer orden con retardo. En la sección 5 se presentan los resultados obtenidos mediante simulaciones numéricas y experimentales y, finalmente en la sección 6 se proponen las conclusiones.

Especificaciones Técnicas e Implementación

En esta sección se describe el funcionamiento del esquema de comunicación que se ha implementado entre la red de computadoras que hacen posible el monitoreo remoto del sistema en tiempo real donde se lleva a cabo la simulación del sistema dinámico empleado como objeto de prueba. Se ha configurado este desarrollo experimental para que la transferencia de información sea realizada entre los equipos de cómputo bajo un *esquema de comunicación cliente-servidor*. En este contexto se establece la comunicación por red utilizando el protocolo TCP entre dos computadoras, una encargada de ejecutar el servidor y la otra encargada de ejecutar el cliente. En la computadora en la que se ha programado el servidor se implantó el sistema de tiempo real que realiza la simulación del sistema dinámico de primer orden que se pretende analizar y cuyos resultados de simulación se exportan en forma de *strings* a la computadora en la que se ha programado el cliente, la cual los grafica haciendo uso del software LabView 2009®, el cual, además sirve como interfaz al usuario. Cabe destacar que otra de las funciones que lleva a cabo el servidor es realizar la medición de los tiempos de ejecución de las tareas en tiempo real que se han programado y de los tiempos de inactividad (tiempos de retardo) que son propios del enlace de comunicación por internet. El esquema de comunicación que se ha desarrollado, se aprecia en la Figura 1.



En la figura anterior, se aprecia la comunicación que se ha implementado entre la computadora embebida (la cual tiene instalado el adaptador WiPi® para comunicación Wifi) y la computadora cliente, la cual tiene instalado el sistema operativo de tiempo compartido Mac OS X. Este modelo de comunicación permite

enlazar al sistema en tiempo real que radica en el servidor, con un sistema en línea ejecutado por el cliente, enviando así la información entre las computadoras y aislando al servidor del cliente utilizando *sockets no bloqueantes*, permitiendo al usuario realizar el monitoreo totalmente a distancia de la simulación realizada por el servidor. Es importante mencionar que el servidor se ha implementado en la computadora embebida Raspberry Pi 2 Modelo B®, la cual cuenta con las siguientes características: Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor, Core: Quad-core ARM Cortex-A7, 900MHz, 1GB RAM y el sistema operativo Emlib RT. Por otro lado, el cliente se ha llevado a cabo mediante una computadora tipo laptop MacBook Pro con las siguientes características: Intel Core i5, 2.5 GHz, 16GB RAM, SATA 1TB, 5400 revoluciones por minuto, interfaz de comunicación I2C, I2S, SPI, UART y el sistema operativo Mac OS X.

Una vez que se han definido las características técnicas de los sistemas de cómputo que se utilizarán en el proceso de implementación del esquema de comunicación cliente-servidor, a continuación, se realiza la descripción del software desarrollado para la implementación de dicho esquema, el cual se puede apreciar mediante la Figura 1. La descripción que se realiza en esta sección está basada en un enfoque gráfico, en el cual, cada funcionalidad del software, es descrita por un módulo gráfico. En este sentido, los módulos que componen al servidor, y al cliente se aprecian en la Figura 2. A continuación se presenta la descripción de los módulos que componen al servidor:

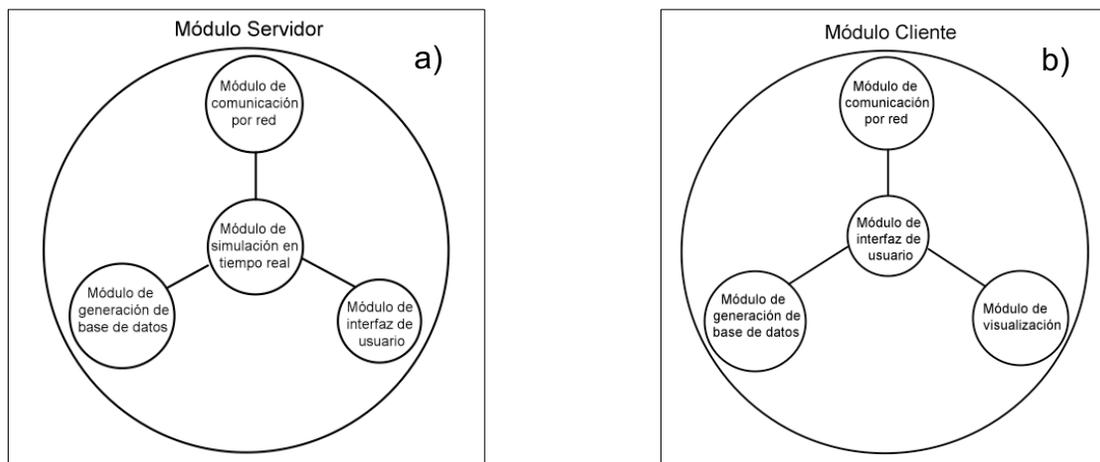


Figura 2. Arquitectura modular desarrollada para el esquema de comunicación.

a) Módulos que componen al servidor. b) Módulos que componen al cliente.

Módulo de comunicación por red: Este módulo proporciona las condiciones necesarias para poder iniciar la comunicación por red y a través de sockets entre el servidor y el cliente, para lo cual es necesario definir la dirección IP y el número de puerto a utilizar.

Módulo de simulación en tiempo real: Haciendo uso del sistema operativo de tiempo real Emlid-Rt® para este módulo, se programaron tareas en tiempo real (TTR) y sus iteraciones o instancias para la simulación del sistema dinámico analizado. En este sentido, la comunicación entre TTR, se ha realizado mediante el mecanismo de comunicación entre procesos en sistemas operativos de tiempo real conocido como: tuberías *first input-first output* (FIFO) (Delgado, 2010).

Módulo de generación de base de datos: Este módulo se encarga de generar dos archivos de tipo texto en cada instancia de las tareas en tiempo real programadas en el sistema operativo de tiempo real. El primer archivo contiene los tiempos de retardo propios del enlace de comunicación, los cuales tiene la definición expresada por (1).

$$\tau = \tau_{tx} + \tau_{rx}, \quad (1)$$

siendo τ el retardo de comunicación propio del enlace de comunicación por internet, τ_{tx} el retardo generado por la transmisión de información y τ_{rx} el retardo generado por la recepción de información. El segundo archivo generado por este módulo, contiene los datos de simulación correspondientes al sistema dinámico analizado.

Módulo de interfaz de usuario: Este módulo funciona como interfaz gráfica al usuario para poder compilar y ejecutar los procesos concurrentes que se han programado en el sistema operativo de tiempo real.

Una vez que el módulo servidor se encuentra listo para aceptar la petición de conexión del cliente, este último es el que inicia la comunicación. En este sentido, en la computadora cliente, se ha programado una aplicación desarrollada en el programa LabView® de National Instruments® el cual utiliza lenguaje gráfico para su programación. Análogamente al servidor, el cliente utiliza los módulos que se aprecian en la Figura 2 b), cuya descripción es la siguiente:

Módulo de comunicación por red: Este módulo de manera similar que su contraparte en el proceso servidor, está a cargo de establecer un circuito virtual para realizar el intercambio de información entre la red de computadoras. Para realizar esta acción es necesario que el usuario proporcione la dirección IP estática 192.168.0.11 del servidor remoto y el número de puerto 2056.

Módulo de interfaz de usuario: Este módulo funge como interfaz gráfica al usuario para poder realizar las siguientes acciones: inicio o paro en la ejecución de la aplicación que reside en el módulo cliente, ingresar la dirección IP del módulo servidor remoto, ingresar los números de puerto del circuito virtual para la simulación del sistema dinámico y monitorear los tiempos de retraso de información generados por el enlace de comunicación.

Módulo de generación de base de datos: Este módulo se encarga de generar un archivo que contiene todos los datos enviados a través del socket de comunicación.

Módulo de visualización: Este módulo permite visualizar los datos de simulación y presentarlos al usuario, en forma de gráfica de dos dimensiones.

Habiendo descrito la arquitectura del sistema de comunicación que se ha desarrollado, a continuación, se presenta la experimentación realizada en el presente trabajo.

Experimentación: caracterización de los tiempos de retardo de comunicación

Para llevar a cabo la caracterización de los tiempos de retardo inherentes en el proceso de comunicación presentado en la Figura 1, se emuló el sistema de primer orden inestable en lazo abierto descrito por (2) durante 50 segundos.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G(s) = \frac{1}{s - 2} \quad (2)$$

En este sentido, en el servidor se programó una TTR que emplea un paso de iteración $\Delta t = 10ms$, resultando en 5,000 instancias. Los resultados del sistema emulado son desplegados en la computadora cliente como se puede apreciar en la Figura 3.

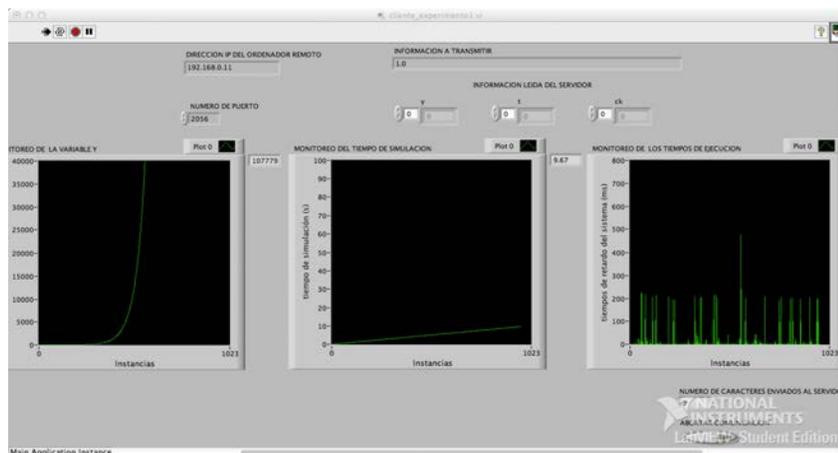


Figura 3. Simulación del sistema dinámico mediante el esquema de comunicación cliente-servidor. En la Figura 3, se puede constatar que se ha empleado la dirección IP y el número de puerto correcto para lograr que se establezca la comunicación por internet. De igual manera, se puede observar que el sistema emulado es un sistema inestable que dificultará el diseño de la estrategia de control. Además, los tiempos de retardo inherentes al enlace de comunicación han sido medidos para 2,000 instancias en la computadora servidor. Dichos tiempos tienen un comportamiento aleatorio (Valdez, 2014a), (Valdez, 2014b), (Guevara, 2002) y su variabilidad y comportamiento, se puede apreciar en la Figura 4.

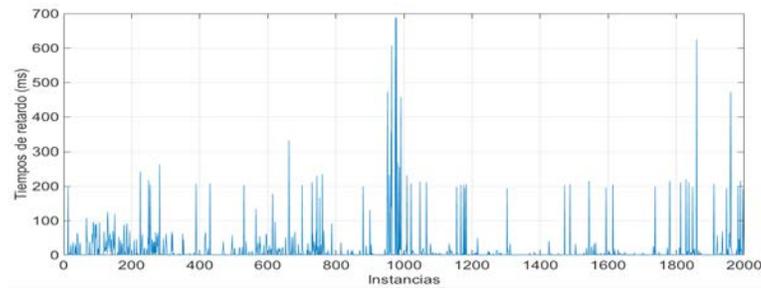


Figura 4. Tiempos de retardo medidos del enlace de comunicación cliente-servidor. Es importante mencionar que estos tiempos de retardo caracterizados mediante la comunicación descrita en la Figura 1 son medidos en lazo abierto, lo que nos permitirá buscar las condiciones necesarias y suficientes para asegurar la estabilidad del sistema en lazo cerrado.

Condiciones de estabilidad mediante un control PID

La presencia de tiempos de retardo en sistemas de control de lazo cerrado como el que se aprecia en la Figura 5, tienen un impacto negativo en la estabilidad (Dan, 2019).

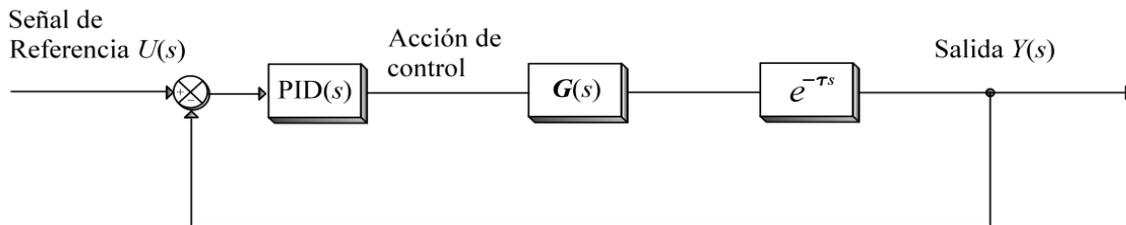


Figura 5. Esquema de control PID propuesto para compensación de retardos.

En esta figura se puede observar que los tiempos de retardo son modelados mediante el bloque funcional $e^{-\tau s}$, siendo τ la magnitud constante del retardo. En este sentido, se propone utilizar un controlador PID para compensar los efectos negativos de los retardos implícitos en el sistema de lazo cerrado.

Para la sintonización del controlador PID, de acuerdo con la Figura 4, se considera que la magnitud τ de los retardos, es variante en el tiempo por lo que se toma el máximo valor; es decir, se considera $\tau = \tau_{max} = 0.7s$ y se procede a utilizar la siguiente metodología propuesta para el control y estabilización de un sistema general de primer orden inestable con tiempo de retardo.

Considere ahora la siguiente clase general de sistemas inestables lineales invariantes en el tiempo (LTI por sus siglas en inglés) de primer orden con retardo dado por (3), donde a , α y τ son constantes positivas. por lo tanto, se puede

enunciar que esta clase de sistemas pueden ser estabilizados mediante un control PID dado por (4), si el Lema 1 se cumple:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\alpha}{(s-a)} e^{-\tau s} \quad (3)$$

$$C(s) = k_p \left(1 + \frac{k_i}{s} + k_d s \right), \quad (4)$$

Lema 1: Considere la clase de sistemas de primer orden con retardo (3). Existe un controlador PID tal que el sistema de lazo cerrado es estable si y solo si,

$$\tau < \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (5)$$

La demostración de la condición (5) se puede deducir a partir de los resultados presentados en Lee (2010) y Hernandez (2015) mediante un análisis en el dominio de la frecuencia. Esta demostración se basa en el criterio de estabilidad de Nyquist, el cual se puede enunciar de la siguiente forma: *Un sistema lineal es estable si y solo si $N + P = 0$, donde P es el número de polos en el semiplano derecho de la variable compleja s y N es el número de rodeos al punto $(-1,0j)$ en sentido horario (si N es negativo, el rodeo será en sentido antihorario) en el diagrama de Nyquist.*

Demostración: Considerando un análisis en el dominio de frecuencia. La respuesta en frecuencia de lazo abierto de (3)-(4) está dada por:

$$Q(j\omega) = k_p \frac{\alpha \left(1 + \frac{k_i}{j\omega} + k_d j\omega \right) e^{-\tau j\omega}}{(j\omega - a)} \quad (6)$$

La expresión de fase y magnitud en el dominio de la frecuencia ω de (6) está dada por (7) y (8) respectivamente:

$$\angle Q(j\omega) = \arctan\left(\frac{\omega}{a}\right) - \omega\tau - \pi - \arctan\left(k_d\omega - \frac{k_i}{j\omega}\right) \quad (7)$$

$$M_Q(j\omega) = k_p \alpha \sqrt{\frac{1 + \left(k_d\omega - \frac{k_i}{j\omega}\right)^2}{(\omega^2 + a^2)}} \quad (8)$$

A partir del criterio de estabilidad de Nyquist y tomando en consideración la metodología descrita en Hernandez (2015), para asegurar la existencia del rodeo en sentido antihorario, se dice que la expresión de fase (7) debe ser una función creciente alrededor de $\omega = 0$, es decir, esta comenzará a crecer con un ángulo mayor a $-\pi$ para frecuencias cercanas a cero tal que $\angle Q(j\omega) > -\pi$. Por lo tanto, con el fin de tener una función con fase inicial creciente, se debe de satisfacer la siguiente desigualdad,

$$\frac{d}{d\omega}(\angle Q(j\omega))|_{\omega=0} > 0 \quad (9)$$

En consecuencia, la expresión de magnitud debe ser una función decreciente, por lo tanto (10) se debe de cumplir:

$$\frac{d}{d\omega} \left(\frac{M_Q^2(j\omega)}{k_p^2 \alpha^2} \right) |_{\omega=0} < 0 \quad (10)$$

Con el fin de simplificar el análisis considere una ganancia k_i lo suficientemente pequeña tal que $k_i \rightarrow 0$. A partir de esta consideración y después de algunas simplificaciones en (9) se puede deducir fácilmente que:

$$\frac{d}{d\omega}(\angle Q(j\omega))|_{\omega=0} = -\tau + \frac{a}{\omega^2 + a^2} + \frac{k_d}{k_d^2 \omega^2 + 1} \quad (11)$$

Evaluando en $\omega = 0$, se puede obtener:

$$\frac{d}{d\omega}(\angle Q(0)) = -\tau + \frac{1}{a} + k_d > 0, \quad (12)$$

Por lo tanto, la fase será una función creciente si se cumple la expresión (13).

$$\tau < \frac{1}{a} + k_d \quad (13)$$

En el mismo sentido, desde el supuesto de que existe un rodeo en sentido antihorario y el hecho de que (9) se cumple para $\omega = 0$, está claro que para este valor de frecuencia, la expresión de magnitud (8) deberá ser una función decreciente. Por lo tanto, lo anterior es equivalente a expresar que:

$$\frac{d}{d\omega} \left(\frac{M_Q^2(j\omega)}{k_p^2 \alpha^2} \right) |_{\omega=0} = \frac{(1 + k_d^2 \omega^2) \left[-\frac{k_d^2}{1 + k_d^2 \omega^2} + \frac{1}{\omega^2 + a^2} \right]}{(\omega^2 + a^2)} < 0 \quad (14)$$

Evaluando la desigualdad con $\omega = 0$, y con el fin de que (10) se cumpla, la siguiente relación (15) debe satisfacerse, tal que:

$$k_d < \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (15)$$

Por lo tanto, a partir de este hecho, la expresión (13) puede reescribirse usando (15), de modo que la siguiente relación (16) es verdadera.

$$\tau < \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (16)$$

Sintonización del control PID propuesto

A partir de la demostración del Lema anterior es posible encontrar las regiones de estabilidad para la sintonización de los parámetros del control PID (4) para la clase de sistemas (3). Como primer paso y debido a las consideraciones anteriores nótese que el parámetro de sintonización k_i se elige tal que sea lo suficientemente pequeño, es decir, tal que:

$$k_i \rightarrow 0 \quad (17)$$

Posteriormente los parámetros de sintonización k_p y k_d se pueden obtener de los desarrollos anteriores mediante las expresiones de fase y magnitud. En este sentido, a partir de (13) y (15) es posible elegir el valor de k_d tal que:

$$\tau - \frac{1}{a} < k_d < \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (18)$$

Una vez elegido el parámetro k_d , con el fin de garantizar que el rodeo en sentido antihorario encierre el punto $(-1,0j)$ en Nyquist, el parámetro k_p debe satisfacer:

$$k_p(\omega_{c_1}) < k_p < k_p(\omega_{c_2}), \quad (19)$$

donde ω_{c_i} para $i = 1,2$ son las frecuencias de corte y $k_p(\omega_{c_i})$ se puede obtener de (20)

$$k_p = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{(\omega_{c_i}^2 + a^2)}{1 + \left(k_d \omega_{c_i} - \frac{k_i}{\omega_{c_i}}\right)^2}} \quad (20)$$

siendo ω_{c_i} ($\omega_{c_1} < \omega_{c_2}$), las dos primeras soluciones positivas de:

$$\arctan\left(\frac{\omega_{c_2}}{a}\right) - \omega_{c_2}\tau + \arctan\left(k_d \omega_{c_2} - \frac{k_i}{\omega_{c_2}}\right) \quad (21)$$

Resultados y Discusión

Considere ahora el sistema presentado en (3) y de acuerdo a la definición del sistema dinámico (2), los valores propuestos para la simulación de este mediante el esquema de comunicación cliente-servidor descrito en la sección anterior son: $a = 2$, $\alpha = 1$ y $\tau = \tau_{max} = 0.7s$. Siguiendo la metodología presentada en el Lema 1 es posible asegurar que existe un controlador PID dado en (4) tal que el sistema es asintóticamente estable en lazo cerrado si y solo si (5) se cumple. Por lo tanto, y pese al comportamiento variante en el tiempo del retardo (ver Figura 4), la condición se satisface y los parámetros estabilizantes del controlador se pueden definir tomando en consideración las ecuaciones (17)-(19). Por lo tanto, de (17) y (18) se

puede decir que basta considerar un $k_i = 0.01$ y un $k_d = 0.3$ tal que las condiciones (9) y (10) se satisfagan y se presente el rodeo en sentido antihorario en el diagrama de Nyquist. Finalmente, con el fin de asegurar que el rodeo en sentido antihorario se presente en el punto $(-1,0j)$ basta que (19) se cumpla, tal que se elige una $k_p = 2.07$. El rango de parámetros estabilizantes se puede apreciar en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Rango de parámetros estabilizantes del control PID.

Parámetros estabilizantes	Ecuaciones	Rango de parámetros	Ganancias elegidas
k_i	(15)	$k_i \rightarrow 0$	$k_i = 0.01$
k_d	(16)	$0.2 < k_d < 0.5$	$k_d = 0.3$
k_p	(17)	$2.02 < k_p < 2.30$	$k_p = 2.07$

Con el fin de ejemplificar el correcto funcionamiento del sistema (3) aplicando (4) mediante el uso de los parámetros concretados en el Cuadro 1, se llevó a cabo una serie de simulaciones numéricas, considerando 2 escenarios: un retardo constante $\tau = 0.7s$ y los retardos de magnitud variante caracterizados en la Figura 4.

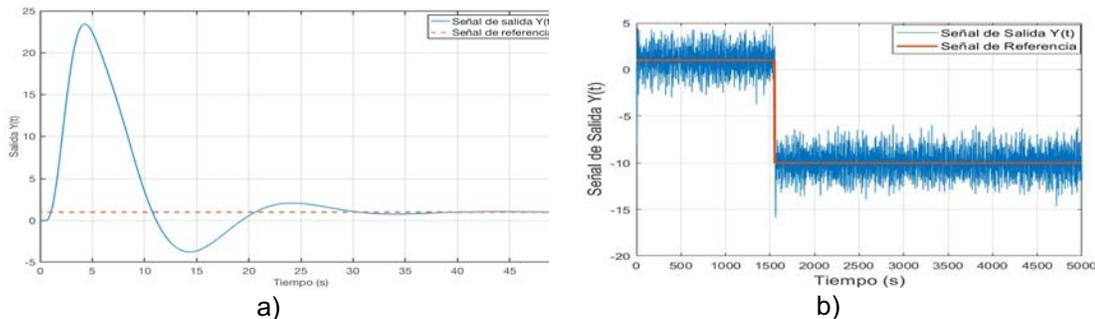


Figura 6. Señal de salida considerando: a) retardo constante. b) retardos variantes.

Además, con el fin de simular la naturaleza aleatoria de los retardos implícitos en el esquema de comunicación cliente-servidor caracterizado en la sección de experimentación, se proponen valores aleatorios del retardo comprendidos en el rango entre $0 < \tau < 0.7$ tal que el controlador debe de ser capaz de mantener en una media la señal de referencia tal como se ilustra en la Figura 6 b).

Finalmente, para justificar que el diseño del controlador PID tiene un correcto funcionamiento sobre el esquema de comunicación cliente-servidor propuesto (en donde se tiene que lidiar con retardos variantes), se propone emular la estrategia de control en el sistema embebido con un retardo de magnitud constante definida por la cota inferior ilustrada por la Figura 4 y un periodo de muestreo de 10 ms empleando los parámetros de sintonización definidos por el cuadro 1. En este sentido, en la Figura 7 se presenta la respuesta dinámica de dicho sistema en lazo cerrado, haciendo una comparativa entre los resultados de simulación obtenidos en

MatLab Simulink® y el sistema emulado en la computadora embebida Raspberry Pi 2 Modelo B®.

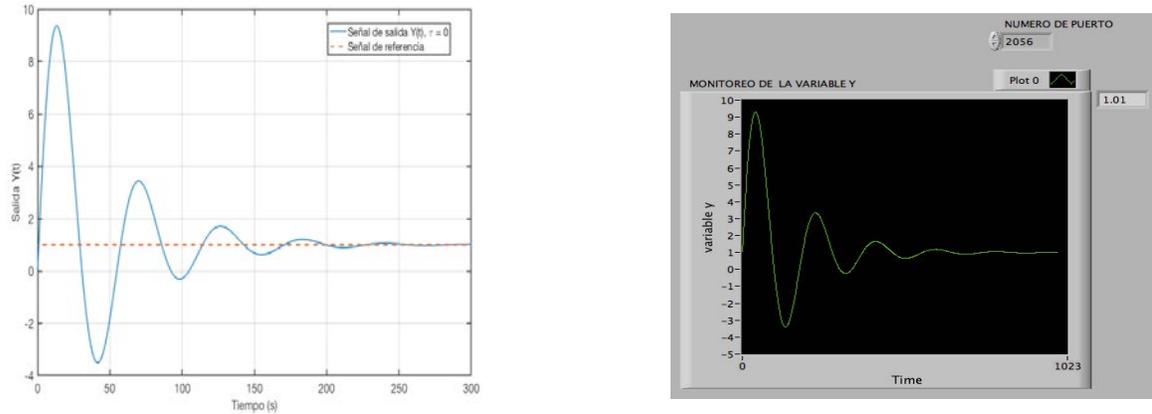


Figura 7. Comparativa de desempeño del esquema de control propuesto entre el sistema simulado y el sistema emulado.

Nótese que en la respuesta emulada mostrada en la Figura 7 b), se aprecia la información recibida por la computadora cliente al realizarse la comunicación entre esta y el servidor, empleando el esquema de la Figura 1. En este contexto, en la Figura 8, se ilustra la implementación física de dicho esquema de comunicación propuesto.

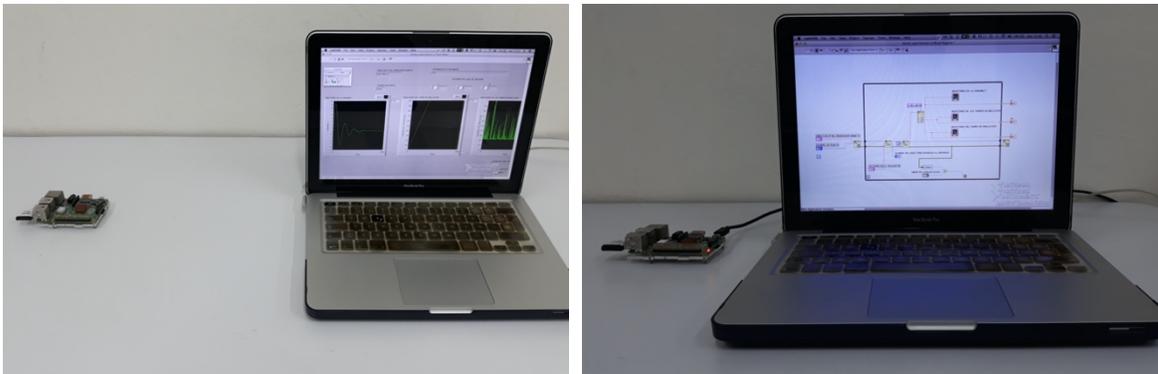


Figura 8. Implementación física del esquema de comunicación cliente-servidor.

Conclusión

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un esquema de comunicación cliente-servidor, haciendo uso del protocolo TCP/IP y de un sistema multiplataforma en el cual el servidor se ha implementado en la computadora embebida Raspberry Pi®, y el cliente se ha programado en una computadora tipo laptop. Además, para lidiar con los retardos inherentes en cualquier sistema de comunicación por internet, se llevó a cabo la medición de los tiempos de latencia en la red, los cuales fueron caracterizados como retardos. Asimismo, se propuso una estrategia de control de tipo PID, la cual fue diseñada mediante un análisis en el

dominio de la frecuencia para definir los parámetros de sintonización que permitan compensar los efectos negativos producidos por dichos retardos actuando en un sistema dinámico de primer orden inestable. Finalmente, con el fin de validar el esquema de control propuesto, el sistema de primer orden inestable se emuló en el esquema de comunicación cliente-servidor y se llevó a cabo una comparativa entre los resultados de simulación y los obtenidos mediante la implementación física de dicho sistema de comunicación, asegurando en ambos casos la estabilidad del sistema con retardo en lazo cerrado y garantizando una convergencia en casi todos los puntos de ambas respuestas.

Referencias

- Ariganello, E. (2007). "Redes Cisco". Publicado por la editorial Alfaomega. Registro de Derechos de Autor: ISBN 978-970-15-1263-0. México.
- Cano, J.L., Delgado, G., & Guevara, P. (2014). Simulación estructurada del filtro de Kalman para identificación de estados en un motor de C.C. sobre una computadora embebida. *Revista electrónica de ingeniería y tecnologías de la universidad autónoma de Zacatecas*. Zacatecas, México. ISSN:2007-3585.
- Delgado, G., Guevara, P., & Falcón, J. (2010). Simulación Concurrente en Tiempo Real de un motor de Corriente Continua Sobre la Plataforma QNX. In *Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Control Automático, XIX Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático ACCA*. Santiago de Chile, Chile (pp. 1-6).
- Dan, M. & Chen, J. (2019). Delay margin of low-order systems achievable by pid controllers. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 64, no. 5, pp. 1958–1973.
- Guevara, P., Medel, J. J., & Barrón, R. (2002). Interacción Entre Sistemas en Tiempo Real y Sistemas en Línea. *Congreso Internacional de Instrumentación Virtual*, Pachuca, México.
- Hernández-Pérez, M. A., del Muro-Cuéllar, B., & Velasco-Villa, M. (2015). PID for the stabilization of high-order unstable delayed systems with possible complex conjugate poles. *Asia Pacific Journal of Chemical Engineering*, vol. 10, no. 5, pp. 687–699.
- Lee, S. C., Wang, Q. G., & Xiang, C. (2010). Stabilization of all-pole unstable delay processes by simple controllers. *Journal of process control*, vol. 20, pp. 235–239.
- Morelos, J. C., Delgado, G., & López, A. (2015). Configuración PIC-Raspberry Pi® modelo B, con fines de monitoreo de señales analógicas. *Mexican International Congress on Computer Systems 2015*, Centro Universitario UAEM Valle de México.
- Sipahi, R., Nicolescu, S. J., Abdallah, C. T., Michiels, W., & Gu, K. (2011). Stability and stabilization of systems with time delay. *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 31, pp. 38–65.
- Valdez, J. S., Delgado, G., Guevara, P., & García, J. C. (2014a). Reconstrucción de la dinámica de los tiempos de ejecución de tareas en tiempo real empleando filtrado digital difuso. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, No. 70, pp 155-166, Colombia. ISSN 0120-6230.
- Valdez, J. S., Guevara, P., & Delgado, G. (2014b). Execution Times Reconstruction in a LTI System Real-time Simulation, *Revista IEEE América Latina*, vol. 12, No. 2. pp. 277-284. USA. ISSN 1548-0992.

TIC PARA EL PROCESO DEL FLUJO INTERNO DE LA INFORMACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES

HUGO MERINO TECALCO¹, YARA ANAHÍ JIMENEZ NIETO², ADOLFO RODRIGUEZ PARADA³,
OMAR JUÁREZ RIVERA⁴

Resumen

El flujo de la información mediante una estrategia y con apoyo de la tecnología mejora la toma de decisiones en sus procesos organizacionales internos. La información presentada en este trabajo da a conocer los diferentes fenómenos que modulan el flujo interno de la información en las organizaciones con la finalidad de utilizar las TIC como estrategia de comunicación interna y mejorar el flujo de información dentro de la organización. Esta investigación es un tipo de estudio explicativo y descriptivo ya que se detectan las variables que engloban el fenómeno y muestran las diferentes opiniones que tienen los autores de acuerdo a sus investigaciones estas resaltan las diferentes variables que pueden estar afectando la comunicación interna en las organizaciones y con ello encontrar las posibles soluciones que utilizan las empresas para evitar esta debilidad que afecta la operación diaria de las empresas por ejemplo bajo desempeño laboral, traducido en ineficiencia y baja productividad, mala relación entre áreas y departamentos, teniendo como consecuencia la inadecuada utilización de los diferentes recursos de la empresa. En conclusión con todo lo analizado las organizaciones con mejor comunicación interna son aquellas que mediante una estrategia innovadora y con el uso de las TIC en todos los niveles son las que mantienen un flujo interno correcto de la información, las cuales tienen beneficios tales como aumentar un 40% en la satisfacción del cliente, son 4 veces más propensas a tener altos niveles de compromiso interno, la productividad en organizaciones con empleados conectados mejora de un 20-25% (Yanin, 2016)

Palabras clave: Comunicación, tecnología, metodologías

¹ Universidad Veracruzana Ixtaczoquitlan (UV) Carretera Orizaba Córdoba Código postal 94452 Ixtaczoquitlán, Ver. ZS20000063@estudiantes.uv.mx

² Universidad Veracruzana Ixtaczoquitlan (UV) Carretera Orizaba Córdoba Código postal 94452 Ixtaczoquitlán, Ver.

³ Universidad Veracruzana Ixtaczoquitlan (UV) Carretera Orizaba Córdoba Código postal 94452 Ixtaczoquitlán, Ver.

⁴ Universidad Veracruzana Ixtaczoquitlan (UV) Carretera Orizaba Córdoba Código postal 94452 Ixtaczoquitlán, Ver.

Introducción

En la actualidad, las organizaciones tienen problemas dentro de su estructura organizacional debido a que el 74% de ellas presenta un retraso en sus operaciones debido a que el flujo de la información es clave para que se puedan avanzar en las actividades (Yanin, 2016). De igual forma la falta de una línea comunicacional clara termina siendo perjudicial para las organizaciones en todos los niveles. Un tercio de todos los proyectos no terminados es resultado de una mala comunicación (M, 2020).

Por eso es importante evaluar un flujo de información dentro de las organizaciones, esto les permitirá a las organizaciones tener una línea de comunicación para todas las áreas involucradas de la organización.

“Son pocas las empresas mexicanas que saben comunicarse correctamente con sus clientes y empleados, lo que las pone en riesgo al enfrentar una crisis, afirmó Medina, presidenta de la Asociación Mexicana de Comunicadores” (Medina, 2016). Las empresas no le dan importancia al punto de la comunicación interna, no cuentan con un proceso o estrategia porque consideran la comunicación es algo que sabemos realizar (Medina, 2016).

La falta de comunicación interna está relacionada con baja productividad, por ejemplo, en México, la baja productividad laboral llega a costar hasta 815.5 millones de pesos anuales a las grandes empresas según un estudio realizado por la consultora de negocios Coleman Parkes (Yanin, 2016).

En la comunicación organizacional se divide en interna y la externa. La comunicación interna para los directivos es una estratégica que permite lograr mayor competitividad. Cuando todas las áreas de la organización conocen la misión, los valores, la estrategia empresarial, esto quiere decir que solo hay una sola línea de comunicación los resultados de la empresa son superiores (Oyarvide Ramírez , 2017).

Materiales y Métodos

Tipo de estudio

Esta investigación es un tipo de estudio explicativo y descriptivo ya que se detectan las variables que engloban el fenómeno y es mediante la revisión y análisis de la literatura que podemos llegar a la comprensión de la importancia del uso de las TIC para el proceso del flujo interno de información en las organizaciones y poder plantear soluciones a las diferentes problemáticas.

Discusión y resultados

La investigación mostrada a continuación da a conocer los diferentes aspectos que pueden ser factor determinante para que haya un buen flujo de información en las organizaciones públicas y privadas, los cuales exponen las diferentes variables que existen con la comunicación organizacional, así como ejemplos de estudios y

factores que nos indican cuales son las principales estrategias para poder realizar una mejora en la comunicación organizacional.

La comunicación en las organizaciones es el “conjuntos de esfuerzos y medios establecidos mediante una estrategia” (Rebeil, María, & Arévalo, 2017).

La comunicación está cobrando demasiada importancia en todas las organizaciones, tal y como muestra el estudio de Dircom en España, en donde nueve 9 de cada diez empresas grandes disponen de un departamento de comunicación administrado por gente mejor preparada en el ámbito de la comunicación y con una posición jerárquica muy cercana a la Alta Dirección (Morales , 2007). Por su parte Peter Drucker, sentenció que “el 60% de los problemas empresariales son consecuencia de una mala comunicación”. Por ello hoy las organizaciones están dando prioridad a este punto tanto a niveles externos como internos, implementando diferentes estrategias gracias a sus estudios pueden determinar los problemas y esto les permite generar una solución de acuerdo a sus necesidades (Begona Gómez & Benito Vielb, 2014).

En el artículo Features of communication in Ecuadorian companies: A first approximation (Pardo-Paredesay, Ortiz-del Pino, & Pazmay-Ramos, 2017) se destaca que la comunicación organizacional no puede ser estudiada como un modelo de información de emisor-receptor esta debe ser estudiada bajo los diferentes enfoques que existen en las organizaciones. Por lo que es importante que las estrategias de comunicación se ejecuten de forma general entre todos los departamentos de las organizaciones. Todos los objetivos deben ser comunes y las estrategias deben ser llevadas al mismo ritmo y solo tener un solo mensaje único y con características comunes que identifiquen a la organización en su conjunto de forma inequívoca (Arévalo-Martínez & Ortiz-Rodríguez, 2019).

Los equipos de trabajo exitosos necesitan estar conectados con la organización, es decir que, todos los individuos de una organización deben estar informados de los objetivos, misión, valores y las estrategias, iniciando desde el empleado con menos jerarquía hasta el de mayor jerarquía, esto crean un ambiente organizacional ideal para que el flujo de información se procese de manera correcta, cabe señalar que la comunicación interna es muy importante ya que si no es correcta puede afectar a la organización seriamente (Muñiz-González, 2001). Por ejemplo, una empresa del ecuador, para determinar su problema de comunicación aplico un estudio exploratorio y descriptivo aplicando encuestas sobre por qué medios sus empleados se les podría facilitar un medio de comunicación interna. (Egas Cruz & Yance Jacome, 2018). Con la información obtenida la información se pudieron extraer las siguientes estrategias:

- Implementar la creación de un departamento de comunicación
- Implementar diferentes canales de comunicación interna: carteles, correos electrónicos, buzón de sugerencias
- Formar y entrenar a los colaboradores de la empresa en el manejo de la información
- Preparación de actividades encaminadas a consolidar los principios, valores.

Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en la actualidad han jugado un papel importante para todo el mundo, ya que son una herramienta que le ha dado soporte a todo tipo de instituciones públicas y privadas, el banco mundial así como la UNESCO afirman que la preparación para el uso de las TIC tienen un gran beneficio en el aprendizaje así como impacto en los procesos diarios de las organizaciones, esto permite que la comunicación fluya desde cualquier punto del planeta (Rivera-Hernández, Carrillo-Huerta, De Vries-Meijer, & Gutiérrez-Ochoa, 2016). Esto quiere decir que la comunicación organizacional digital es el aprovechamiento de diferentes tecnologías aplicadas mediante una estrategia, la cual puede agilizar diferentes procesos. Debido a los cambios diarios que existen por la globalización, las organizaciones se están centrando en generar nuevas estrategias de comunicación pues éstas han sido la base de su éxito ya que generan una ventaja competitiva. Así mismo, la necesidad de estar comunicados con mayor alcance ha provocado que todas las organizaciones fomenten la comunicación digital hoy en día.

En el artículo Análisis del ranking Great Place to Work y de Comunicación Interna: prácticas españolas (2014-2018) El ranking GPTW, en donde se abarcan 250 empresas, indica que las tendencias futuras en cuanto a comunicación interna se concretan al uso de nuevas tecnologías integradas con el factor humano, lo que permitirá aumentar el flujo de información entre los diferentes niveles jerárquicos que tenga la organización. Así mismo el Global Communication Report(2019) menciona que las TIC han sido un elemento variable en el sector interno de las organizaciones y esto seguirá siendo tendencia en los próximos años, de modo que la mayoría de las organizaciones identifican a las TIC como la fuente principal al cambio. Podemos observar que el 61% del personal dedicado al área de comunicación y el 53% encargado del área señalan que en los próximos años el cambio en la industria será “impactante”, pues el 59% considera que la tecnología será la base para la comunicación organizacional. El Anuario de la comunicación en España enfatiza que los retos profesionales para el futuro son la inteligencia artificial (Rodríguez-Fernández & Vázquez-Sande, 2019). Ya se puede observar que países como Singapur, Estados Unidos, Canadá, Japón y la mayoría de las naciones europeas han adoptado y aplicado las TIC a sus operaciones, dando como resultado cambios drásticos en su crecimiento, mejor gobernabilidad, mayor espacio

democrático, mayor productividad y efectividad administrativa. (Ubogu & Orighofori, 2020)

El hotel Howard Johnson es una empresa, que presentaba problemas en su comunicación interna lo que impactaba en el desempeño de los colaboradores y en el logro de objetivos. Ellos mediante las TIC implementaron una estrategia de comunicación con herramientas digitales como una página web y aplicaciones android lo que les permitió establecer un canal único de comunicación entre todas sus áreas, lo que facilitó el flujo de información entre los empleados de jerarquía media y los altos directivo. Otra estrategia incorporada fue la capacitación de todo el personal incluyendo los jefes de área (Iglesias, 2020).

Otra estrategia de comunicación de empresas internacionales es Nestlé, es tener un departamento propio de 'Comunicación Interna y Externa'. El objetivo de este es que los empleados obtengan un mayor conocimiento sobre la cultura interna (Peña Cuña, 2017). Entre las herramientas de ámbito interno, promueve:

- Talleres de creatividad, integrados por personas de diferentes departamentos.
- Cursos de creatividad.
- Intercambios de proyectos internacionales a través de las unidades de negocio estratégico (Strategic Business Units).
- Desarrollos técnicos y científicos propios en los Nestlé Research Center (NRC), en los que se realiza investigación básica; y en los Centros de
- Investigación de Productos o Products Technologies Centers (PTC), en inglés (Nestlé, s.f.).

Como parte de sus estrategias de comunicación, la empresa LG Electronics ha creado varias herramientas de comunicación en su web, muestra historias cotidianas acerca de sus empleados y de lo que ocurre dentro de la empresa con el objetivo que todos puedan acceder a la información en cualquier momento y puedan percibir todo lo que pasa internamente. Esta estrategia estimula en cada uno de los miembros el orgullo por los logros conseguidos, ya que se cumplen gracias al trabajo conjunto. (Peña Cuña, 2017). Utilizan las siguientes herramientas como apoyo a la comunicación interna:

- Como sugerencias a la impecable planificación interna de LG, se pueden incluir algunas medidas (Business Innovation Center Galicia, 2009):
- Manual de bienvenida.
- Revista interna.
- Envío de mensajes de texto a móviles corporativos para comunicar noticias de máxima relevancia.
- Reuniones con dirigentes, desayunos con el dirigente y los profesionales de las distintas áreas de la organización.

Otra estrategia de éxito, en cuanto a comunicación interna, es la implementada por General Motors; la compañía realiza encuestas de clima laboral denominadas 'Workplace Of Choice' (WOC), con la finalidad de entender qué hacer para alcanzar su objetivo y definir un plan de acción, en el que participen todos los empleados de la sin importar jerarquías, con el fin de corregir fallos en la comunicación interna, con ello detectan las necesidades nuevas y con apoyo de las TIC generan la herramientas de ayuda (CalCaldevilla, 2014).

Las Redes Sociales son, en la actualidad, una de las herramientas más fuertes y con mayor proyección empresarial, ya que facilitan el acceso a la información en tiempo real (Begona Gómez & Benito Vielb, 2014). Hoy en día todas las organizaciones de cualquier sector están digitalizando sus procesos, así como su comunicación interna integrando redes sociales como herramientas para estar en contacto con sus clientes y trabajadores. (Muhammad, 2020). Es importante que las empresas desarrollen estrategias que incluyan tecnología, tomando en consideración las redes sociales para fomentar la comunicación, porque muchas actividades no se realizan debido a que la información no fluye adecuadamente entre la alta dirección y las bajas jerarquías de las organizaciones, todo esto necesario para que la toma de decisiones sea efectiva y orientada al objetivo.

WhatsApp es una herramienta que mejora los flujos de comunicación organizacional, ya que es una de las plataformas más utilizadas en todo el mundo con 300 millones usuarios (Nahmata & Patnaik, 2019). Es considerado un medio interno de comunicación dentro de las organizaciones actuales, su objetivo es sencillo mantener la comunicación (Montag & Błaszkiwicz, 2015). Actualmente muchas organizaciones utilizan WhatsApp como principal medio de comunicación con sus empleados, ya que les permite obtener respuestas inmediatas y mantener el contacto con cualquier departamento de la empresa.

Por ejemplo, la empresa Barrick en Perú, con aproximadamente 600 trabajadores, ha implementado un número de WhatsApp para uso interno con el cual ellos tienen respuestas inmediatas en cualquier momento que soliciten la información. Un estudio de la consultora Deloitte, muestra que aumentado a gran escala las soluciones denominadas de red social empresarial. En este ámbito, las herramientas más usadas actualmente son: Slack, Yammer, Microsoft Sharepoint, HipChat, Jive, Facebook Workplace, Chatter, SAP Jam o IBM ESN con Connections Cloud (Kotara, 2017). La famosa empresa de cosméticos Lush, utiliza la herramienta Slack como parte de su estrategia para mejorar la comunicación interna en sus oficinas centrales, para sus 240 tiendas, lo que ha permitido el intercambio de información y que está fluya de manera más oportuna en la organización.

Otra herramienta que las organizaciones están aprovechando, son los asistentes virtuales, no solo como una herramienta con sus clientes externos, si no también han sido utilizados como una herramienta de comunicación interna, hacen uso de chatbots capaces de llevar acabo muchas actividades, como respuesta a inquietudes del personal lo que impactan en los objetivos de las empresas.

La startup mexicana SKYDROPX utiliza la plataforma Zendes al implementar esta plataforma de chatbots, ha logrado disminuir los tiempos de respuesta y ha incrementado su productividad, consolidándose de esta manera como empresa líder en el sector de envíos en México (Da Silva, 2020).

La empresa Gympass, mediante el uso de la herramienta Zendesk Support, y gracias a la implementación de chatbot en su empresa, ha mejorado el servicio de atención tanto para el cliente como para los empleados.

Finalmente podemos ver que las empresas, han aprovechado la tecnología para innovar en la comunicación interna, en respuesta a las demandas de los nuevos tiempos, incluso están aprovechando la implementación de la inteligencia artificial mediante los chatbot y esto ha generado un impacto positivo, como es el caso de las empresas Juniper Research, lo que pronostica un ahorro de aproximadamente 8 mil millones de dólares en costos de negocios para el año 2022, gracias al uso de los chatbots. (Da Silva, 2020)

Conclusión

La comunicación interna es un factor importante para que se cumplan los objetivos, por ello todas las organizaciones deben tomarla como parte primordial en todas sus estrategias e invertir tiempo y recursos para mejorarla con las diferentes herramientas que existen actualmente, las organizaciones están avanzando junto con la tecnología, por ello estas se inclinan a utilizar herramientas tecnológicas de fácil uso pero que están al acceso de todos, una de ellas son las redes sociales como estrategias de comunicación externa e interna con ellas tienen mayor proyección empresarial, facilitan el acceso y flujo de la información.

Por ello, es necesario que las empresas desarrollen estrategias de comunicación utilizando las TIC que les permitan llegar con éxito a sus objetivos de comunicación, mediante estudios internos se pueden establecer estrategias de acuerdo a los resultados obtenidos, con ello pueden digitalizar sus procesos y generar herramientas web, portales, Apps así como programas informáticos propios, que se ajusten a sus necesidades lo que les permitirá que la comunicación interna fluya de manera correcta.

Otra herramienta que las empresas necesitan aprovechar e integrar como herramienta de comunicación interna son los chatbots, estos sirven para mejorar las comunicaciones en toda la empresa, son capaces de llevar a cabo unas grandes actividades que pueden estar aportando a los objetivos y solamente es necesario ajustarlos a las necesidades internas de cada organización.

Las empresas mundiales con éxito tienen estrategias de comunicación bien establecida, son aquellas que dedican tiempo en hacer estudios internos con esto a su vez les permite detectar las debilidades las cuales son analizadas por el departamento de comunicación ellos generan soluciones tecnológicas existentes o nuevas las cuales son implementadas en toda la organización las cuales al ser ejecutadas el flujo de la información viaja correctamente en las organizaciones.

Todo lo analizado contribuye a entender la necesidad de contar con una estrategia de comunicación interna que se adapte a la era digital, y que permita el flujo de la información correcta mediante las diferentes herramientas que existen, todo depende de las necesidades de la organización, así como su infraestructura.

Referencias

- Arévalo-Martínez, R. I., & Ortiz-Rodríguez, H. (2019). Comunicación organizacional web de la etica en las organizaciones del tercer sector. *El profesional de la información*, 1-11.
- Aryani, R., & Widodo, W. (2020). The Determinant of Organizational Culture and Its Impact on Organization: A Conceptual Framework. *International Journal of Higher Education*, 64-69.
- Barbeito-Veloso, M. L., & Perona-Páez, J. J. (2019). Comunicación organizacional en clave sonora: el caso de Blink, los podcasts de BBVA. *El profesional de la información*, 1-9.
- Begona Gómez, N., & Benito Vielb, C. (2014). Presente de la comunicación organizacional en la Pyme Española. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 86.
- CalCaldevilla. (2014). Impacto de las TIC y el 2.0: Consecuencia para el sector de la comunicación. *Revista de Comunicación de la SEECI*, 35.
- Camacho, M., & Segarra, M. (2019). La narrativa transmedia aplicada a la comunicación corporativa. *Revista de comunicación*, 225-244.
- Cárdenas Travieso, O. (2018). Acciones para potenciar la gestión de la comunicación en la administración pública local. *Folletos Gerenciales*, 24-34.
- Castillo-Almeida, G., & Pérez-Rodríguez, E. M. (2017). Diagnóstico de los sistemas de información de las empresas priorizadas según los requerimientos actuales. *Sistema de Información Científica*, 1-11.
- Castro-Martínez, A., & Díaz-Morilla, P. (2019). Analysis of the Great Place to Work and the Internal Communication Observatory awards: Internal communication practices in Spanish companies (2014-2018). *El profesional de la información*, 1-11.
- Castro-Martínez, A., & Díaz-Morilla, P. (2019). Comunicación interna y gestión de bienestar y felicidad en la empresa Española. *Profesional de la información*, 1-13.
- Contreras-Delgado, O. E. (2020). Comunicación Organizacional historia, desarrollo y perspectiva de un concepto en constante construcción en América Latina. *Mediaciones de la Comunicación*, 43-70.
- Cookson, M. (2020). Internal communication is critical in the new workplace. *NH Business Review*, 1.
- Cruells-Cadevall, M., & Roca-Vallmajor, A. (2016). THE SURVEYS TO THE COMPANIES: A TOOL FOR THE. *Journal of Technology and Science Education*, 2014-5309.

- Da Silva, D. (14 de 8 de 2020). *Chatbot para empresas: sorpréndete con los resultados de estos 7 casos de éxito*. Recuperado el 27 de 9 de 2021, de Chatbot para empresas: sorpréndete con los resultados de estos 7 casos de éxito: <https://www.zendesk.com.mx/blog/chatbot-para-empresas/>
- Díaz-Fúnez, P. A., Mañas-Rodríguez, M. Á., Pecino-Medina, V., Salvador-Ferrer, C. M., & Llopis-Marín, J. M. (2016). El efecto modulador del clima organizacional en la influencia de la comunicación de funciones directivas sobre el conflicto de rol. *Univ. Psychol*, 383-394.
- Egas Cruz, E. Y., & Yance Jacome, K. T. (2018). Estrategias de comunicación interna para fortalecer la identidad corporativa de una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de guayaquil. *Espacios*, 39.
- Fernandez Martínez, A. B. (2015). Comunicación interna y nuevos medios de comunicación. *Facultad de ciencias del trabajo*, 42.
- Geertz. (1973). The interpretation of culture. *Basic Books*, 3-54.
- Hernandez, M. (29 de 09 de 2017). *Los chatbots están cambiando la comunicación interna de las empresas*. Recuperado el 26 de 09 de 2021, de Los chatbots están cambiando la comunicación interna de las empresas: <https://1millionbot.com/chatbots-cambiando-comunicacion-interna-de-empresas/>
- Ifigeneia, M., Angouri, J., & Nigel, H. (2018). The Snowball of Emails We Deal With': CCing in Multinational Companies. *Business and Professional*, 5-37.
- Iglesias, N. L. (2020). PLAN DE COMUNICACIÓN INTERNA Y FORMACION DE LIDERES COACH PARA EL HOTEL HOWARD JOHNSON. *Siglo 21*, 32-64.
- Journal, o. (30 de marzo de 2017). Firms found to lack good internal communications. *Special Report*, pág. 1.
- Keyton, J. (2017). Communication in Organizations. *Department of Communication, North Carolina State University, Raleigh, North*, 501-527.
- Kotara, J. (7 de Junio de 2017). *Jobs winzar*. Recuperado el 27 de 9 de 2021, de Jobs winzar: <https://job-wizards.com/es/rapido-y-transparente-como-las-redes-sociales-estan-cambiando-la-comunicacion-interna-1/>
- Machili, I., Angouri, J., & Harwood, N. (2019). The Snowball of Emails We Deal With': CCing in Multinational Companies. *Business Communication*, 5-37.
- Martinez Musiño, C. (2013). La investigación sobre los flujos de información en las fábricas: el enfoque de la disciplina administrativa. *Ibersid*, 91-101.
- Nápoles-Quiñones, G. (2017). La formación profesional del administrador de empresa en Ecuador. *Santiago*, 682-695.
- M, S. (20 de Septiembre de 2020). *DataScope*. Recuperado el Lunes de Noviembre de 2020, de ¿Cuáles son las causas de los problemas de comunicación en las empresas?: <https://mydatascope.com/blog/es/cuales-son-las-causas-de-los-problemas-de-comunicacion-en-las-empresas/>
- Medina, G. (2016). Comunicación el desafío de las empresas. *Excelsior*, 1-2.

- Montag, C., & Błaszkiwicz, K. (2015). Smartphone usage in the 21st century: who is active on WhatsApp? *BMC Research Notes*, 331.
- Morales , F. (2007). La figura del Dircom. Su importancia en el modelo de comunicación integra. *Facultad de Ciencias de la Comunicación*, 83-93.
- Muhammad , N. (2020). Using social networking applications to facilitate change implementation. *Revista Emerald Insight*, 1-19.
- Muñiz-González, R. (2001). *Marketing en el Siglo XXI. 5ª Edición*. España: Centro de estudios financieros.
- Nahmata, R., & Patnaik, P. (2019). The 'Verticals', 'Horizontals', and 'Diagonals' in Organisational Communication: Developing Models to Mitigate Communication Barriers Through Social Media Applications. *Digital*, 323-343.
- Oyarvide Ramírez , H. (2017). La comunicación interna como herramienta indispensable de la administración de empresas . *Dominios de la ciencia*, 296-309.
- Peña Cuña, B. (2017). Tres casos de empresas internacionales con éxito: Estudio de las estrategias de comunicación interna. *Latinoamericana de Comunicación*, 315-333.
- Phillips, C. (2019). Positive communication can maximize business success. *New Hampshire Business Review*, 20-21.
- Pikhart, M. (2020). The use of technology in the learning environment for business communication: applied linguistics of business communication from the positive psychology perspective. *ScienceDirect*, 1479-1486.
- Pardo-Paredesay, E. V., Ortiz-del Pino, Á. R., & Pazmay-Ramos, G. (2017). aproximación Features of communication in Ecuadorian companies: A first approximation. *Psychological Research Records*, 1-13.
- Rabogadi, T. A. (2017). Strategies Information and Communication Technology Managers Use to Build. *Walden University*, 2-8.
- Rebeil, C., María, A., & Arévalo, M. (2017). Las organizaciones y sus procesos de comunicación: una visión integral . *Tirant humanidades*, 25-40.
- Rivera-Hernández, C., Carrillo-Huerta, M. M., De Vries-Meijer, W., & Gutiérrez-Ochoa, F. M. (2016). Las tecnologías de la información y de la comunicación El caso del programa Aula Digital ciudad de México. *Ciencias de la Información*, 19-25.
- Rodríguez-Fernández, L., & Vázquez-Sande, P. (2019). Retos y perspectivas en la comunicación organizacional. *El profesional de la información* , 1-7.
- Susan, G. (2018). Communication with your employees is a necessity for businesses. *New Hamps H I R E B U S I N E S S R*, 16.
- Ubogu, R., & Orighofori, V. M. (2020). Information and communication technology: a strategic tool in the internationalization of higher education . *International Journal of Education and Practice*, 586-598.

- Urbiola-Solís, A. E., & Levin-Kosberg, S. (2018). Una propuesta para el estudio de la comunicación organizacional y la construcción de significados desde lo procesual y simbólico. *Administración y Organizaciones*, 51-72.
- Usman, K. (2019). Impact of organizational culture, organizational communication and supervisor support on the job satisfaction of employees working in online IT based distance learning . *Open Praxis*, 143-156.
- Valero-Pastor, J. M., Carvajal-Prieto, M., & García-Avilés, J. A. (2019). Flujos de trabajo para el periodismo postindustrial: métodos y programas para una comunicación organizacional más ágil y transversal. *El profesional de la información* , 2-11.
- Yanin, A. (06 de Julio de 2016). *Expansion*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2020, de Expansion: <https://expansion.mx/carrera/2016/07/26/la-baja-productividad-laboral-le-cuesta-8155-mdp-a-las-empresas-mexicanas>
- Zaumane, L. (2019). The Internal Communications crisis and its impact. *Journal of Business Management*, 24-33.

SOFTWARE DE RELAJAMIENTO: PERCEPCIÓN DE SU EFECTO EN UNIVERSITARIOS

ISMAEL ESQUIVEL GÁMEZ¹, JUANA UMAÑA AGUILAR², GLADYS JACQUELINE RIVERA USCANGA³

Resumen

Dados los desafíos que enfrentan los universitarios durante sus actividades académicas, es común encontrar efectos negativos de ansiedad en la población estudiantil. Por lo anterior, se ha desarrollado un software en línea denominado AUMM, del cual en el presente trabajo se determinó el nivel de relajamiento percibido por usuarios del mismo. Aprovechando que aún se encuentra en la fase de prototipo, se plantearon preguntas sobre posibles mejoras y lograr así, un mayor efecto futuro. Desde un abordaje cuantitativo se ejecutó un estudio transversal, prospectivo y descriptivo, con tipo de muestreo no probabilístico a conveniencia, logrando una muestra con 21 años de edad en promedio, una representatividad similar de ambos géneros y un total de 396 valoraciones. El instrumento para recabar los datos fue una adaptación del mismo software, el cual consiste de 14 rutinas multimedia. Entre los resultados más importantes, en general la muestra señaló tener un nivel de uso de videojuegos de 3.08 y perciben al software con un nivel de relajamiento de 3.01; en una escala Likert de 1 a 4. Asimismo, se encontró asociación significativa de magnitud menor, entre los niveles percibidos de jugador y de relajamiento provocado por las rutinas. Adicionalmente, del análisis de los comentarios de mejora, se obtuvieron siete grandes categorías de las cuales solo una implica corrección al código. A partir de los resultados, se tiene gran confianza que luego de realizar las mejoras más representativas, se pueda aplicar el software para ayudar a reducir índices de ansiedad en la población meta.

Palabras clave: Ansiedad, tranquilidad, rutinas, aplicación informática

Introducción

La ansiedad puede verse como una respuesta adaptativa o como trastorno, entendida la primera, como una emoción normal que se presenta al enfrentar una situación peligrosa en potencia, llegando a ser en un mecanismo de alarma. Los efectos posibles son inquietud, tensión motriz, mayor alerta y una mayor actividad autónoma y al no ser un trastorno, una vez que desaparece el estímulo, desaparecen (Gutiérrez y Contreras, 2013). De acuerdo a Carrillo (2019), la

¹ Universidad Veracruzana/Facultad de Administración (UV), Puesta de Sol 24, Vistamar, C.P. 91780, Veracruz, Ver. iesquivel@uv.mx

² Universidad Veracruzana/Facultad de Administración (UV), Puesta de Sol 24, Vistamar, C.P. 91780, Veracruz, Ver.

³ Universidad Veracruzana/Facultad de Administración (UV), Puesta de Sol 24, Vistamar, C.P. 91780, Veracruz, Ver.

ansiedad puede concebirse como una conducta emocional inadaptada, pues impide el aprendizaje de nuevas conductas, afecta la ejecución de las mismas y finalmente, termina afectando al individuo, la experiencia vivida. Sahin (2014) señala que aquellas condiciones que generan niveles de ansiedad baja, ocasionalmente pueden conseguir mejoras en el logro individual si se compara con las que generan un alto grado. Es importante considerar que el miedo es una sensación de agitación debido a la presencia de un peligro próximo y puede ser una emoción de protección. Sin embargo, es muy similar a la ansiedad como emoción adaptativa, desde un punto de vista evolutivo (Gutiérrez y Contreras, 2013). Mientras que la ansiedad es provocada por amenazas vagas y potenciales, el miedo por amenazas severas y discretas (Harmon, Bastian y Harmon, 2016). Bänziger, Grandjean y Scherer (2009) al citar a Ekman (1994), como variante de menor intensidad en la familia del miedo, incluyen a la ansiedad. La ansiedad es de los trastornos psicológicos más registrados en los centros de salud y con gran presencia en el sector de universitarios (Agudelo, Casadiegos, Sánchez, 2008). Por su parte, Arco et al. (2005) indican que los síntomas son tan fuertes, que afecta al rendimiento de los estudiantes y según reportes de la INJUVE (2013), los adolescentes de quince a veinticuatro años en España, presentan una enfermedad crónica de larga duración asociada a factores psicológicos.

A partir de lo anterior, es importante verificar alternativas para disminuir la ansiedad entre los jóvenes, entre las cuales se encuentra el software (Botella y otros, 2007). Por ello, el principal objetivo del presente trabajo es determinar los niveles de relajamiento, provocados en una muestra de universitarios, al usar una serie de rutinas incorporados en un software en línea. Como objetivo secundario, se plantea el recuperar comentarios orientados a la mejoría de las mismas.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó desde un enfoque cuantitativo con tipo de estudio descriptivo, transversal, prospectivo y no experimental. A continuación, se presentan las características de la muestra, el procedimiento seguido, y los instrumentos aplicados.

Participantes. Se trabajó con universitarios de una institución pública cuya edad promedio fue de 20.9 para las mujeres, 21.12 para los hombres y en general de 21 años. El total de revisiones fue de 396 y la proporción por género fue similar.

Procedimiento. Se invitó por redes sociales a un conjunto de universitarios para que evaluarán las rutinas componentes de AUMM, para que durante tres meses revisaran un máximo de tres rutinas por día para evitar cansancio que pudiera influir en sus respuestas. Aunque fueron muchos los invitados, la cantidad de respondientes no fue similar. En cada sesión, se hacía hincapié en que iban a interactuar no con un videojuego sino con un relajante, por lo cual la única ganancia era la disminución de su ansiedad. Al ingresar el participante registraba su género,

edad y la costumbre de jugar (desde 1-Nada hasta 4-Mucho). Luego que experimentaba cada rutina, se pedía registrara el nivel percibido de relajamiento provocado (desde 1-Nada hasta 4-Mucho) y eventualmente, algún comentario de mejoría de la rutina.

Instrumento. Se usó una adaptación del software AUMM, en la cual se agregaron interfaces de usuario, cuya secuencia a seguir se muestra en la figura 1 y como se aprecia, mientras que las dos primeras aparecen una sola vez al comienzo, las restantes aparecen conforme se revisa cada rutina. Los datos capturados junto con la fecha y hora de la revisión, se registraron en un archivo en línea. El software AUMM original está conformado por 14 rutinas las cuales se eligen desde el menú principal, en una de tres modalidades (+1, 0, -1), la primera de las cuales presenta previamente una burbuja que se expande y contrae para guiar un minuto de inspiración/expiración de aire, la segunda presenta inmediatamente la rutina y la tercera solo presenta el mensaje “Un momento, por favor” por un minuto, antes de comenzar la rutina. Las dimensiones de las interfaces de usuario son 1024x768 pixeles, adecuada para diferentes dispositivos. Los objetos multimedia usados son de distribución gratuita y el software de desarrollo es Construct 2, una plataforma que permite exportar los proyectos a diferentes tiendas de videojuegos, de las cuales para el presente caso se eligió HTML5 y se exportó a un servicio de hospedaje de páginas Web. Todas las rutinas al inicio presentan un cuadro de instrucciones, el cual debe ser tocado para comenzar. Además, todas cuentan con música relajante, un botón de pausa y reproducción de la música, otro para terminar y en algunas, uno más, para reiniciar la actividad. En la figura 2, se presentan brevemente cada una de las rutinas de relajamiento.

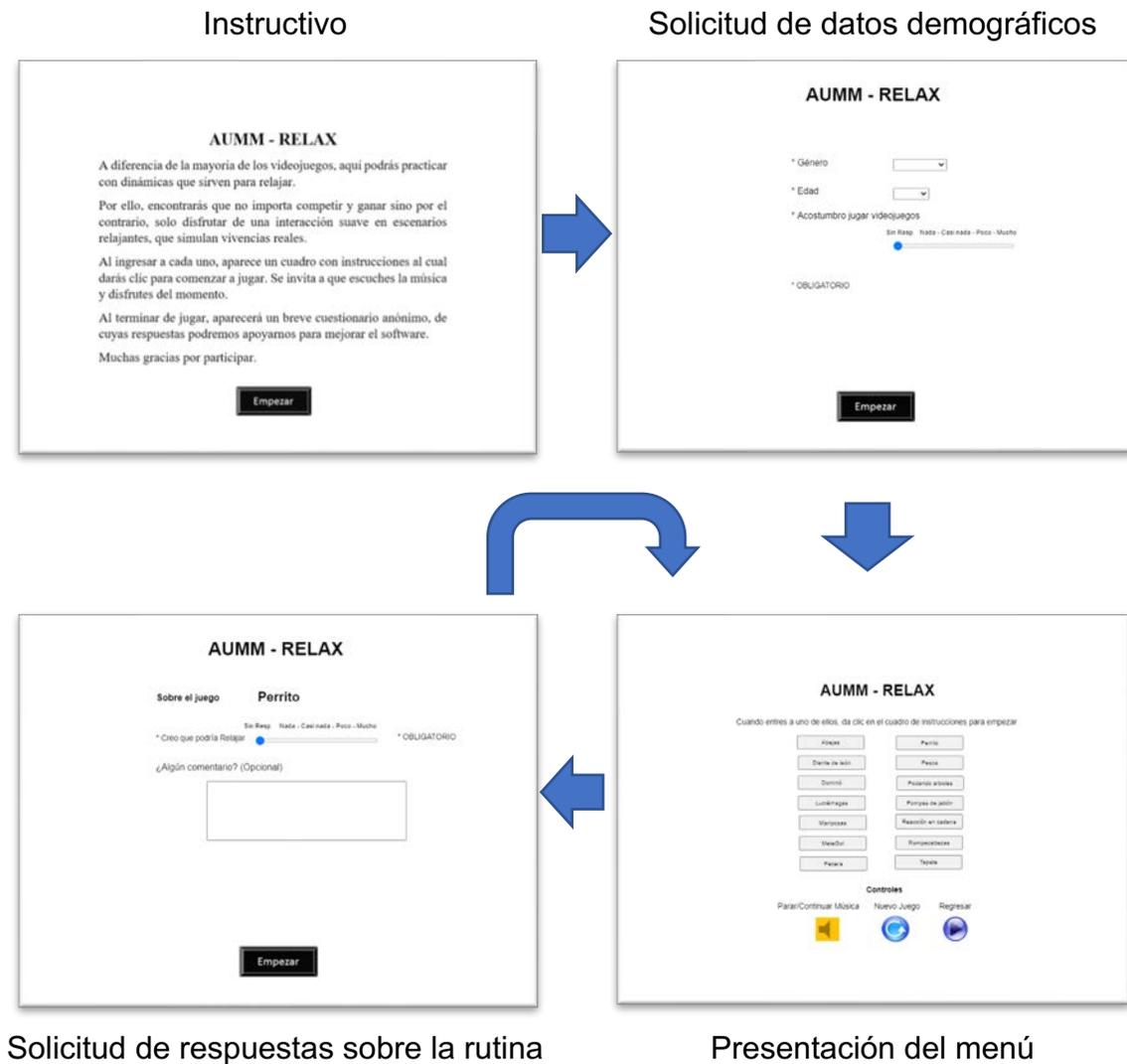
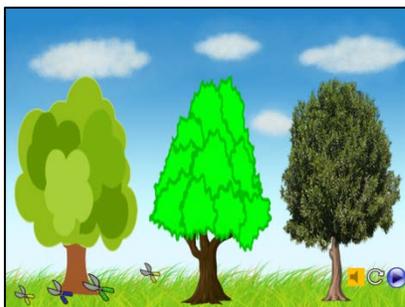
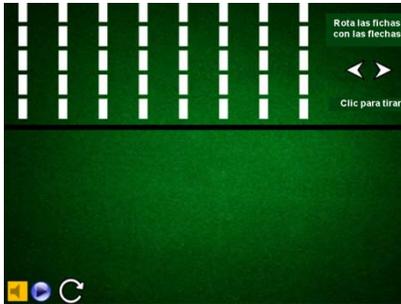


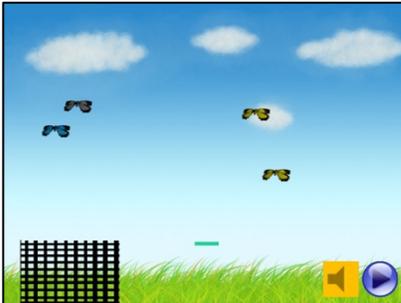
Figura 1. Secuencia de interfaces del instrumento de recolección de datos (Fuente: Elaboración propia)



Podando árboles. Entre las herramientas que se tienen para esta entretenida actividad, se encuentran varias tijeras de diferente tamaño que podan en diferentes grosores y el participante puede usarlas para darles la forma que más le guste.



Dominó. El participante puede acomodar las fichas en la distribución que desee, para crear las formaciones que caerán en cascada, cuando ha decidido terminar y tirara las fichas.



Mariposas. Se busca que el atrapar mariposas sea una actividad atractiva para el usuario. Para ello, se cuenta con una barra que simula una red y conforme van siendo atrapadas, se pueden dejar en la trampa inferior.



Metegol. Similar a rebotar una pelota en una pared, de lo que se trata es calcular la parábola que describe la bola, conforme la fuerza y dirección que se aplica al émbolo para que caiga dentro de la portería de futbol.



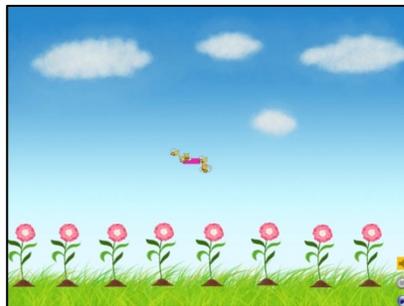
Perrito. Una actividad placentera es pasear a un perro por verdes espacios. Más aún si el perro está entrenado para seguir la trayectoria que se le marca, conforme a las piedras seleccionadas.



Pompas de jabón. Tan delicadas las pompas de jabón y al mismo tiempo tan entretenido que resulta reventarlas. Entre más pequeñas sean las reventadas mayor placer producen al participante.



Rompecabezas. Se muestran 3 secciones, en la primera aparece la imagen terminada, la segunda tiene las piezas del rompecabezas y por el espacio de trabajo. Solo se arrastran las piezas al lugar correcto y se depositan hasta completar la imagen original.



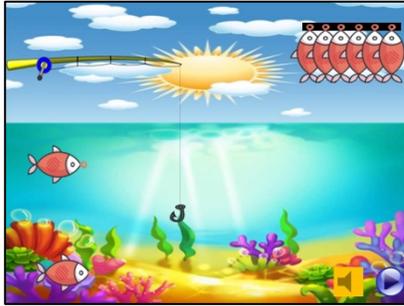
Abejas. Insectos a quienes se les debe la vida en el planeta, es necesario atraparlas sutilmente y llevarlas a las flores para que crezcan conforme se acercan y mantienen cerca.



Diente de león. Todo un espectáculo ver a esta planta arrojar sus dientes conforme se les sopla. Aún mejor, la tarea de atrapar los dientes antes de que toquen el suelo.



Luciérnagas. Enorme fascinación producen estos destellantes insectos. Seguramente en un momento dado, se ha querido atraparlas para disfrutar más de su presencia. Esta es la oportunidad de recrear tal vivencia.



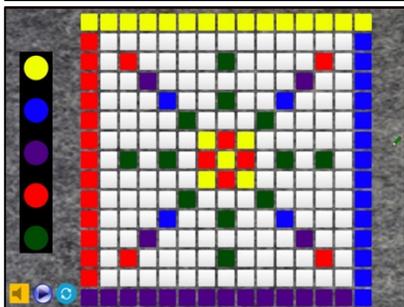
Pesca. Ir de pesca aún cuando no se atrape algún pez, es posible recrearla con esta actividad, en la cual puedes liberar a todos los conseguidos para volver a empezar.



Pecera. Las peceras son bellos espectáculos que entretienen a los espectadores y que mejor que tener la oportunidad de alimentar a los peces para verlos mover en diferentes direcciones y velocidades.



Reacción en cadena. Recrear una reacción en cadena es una experiencia vivificante. Se van colocando trampas para ratón y una vez terminado, se pueden hacer saltar al arrojar una bola de ping-pong.



Tapete. Es posible crear formas visualmente atractivas y en todo caso, se pueden crear pequeñas mandalas, al iluminar de diferentes colores las celdas del arreglo que se presenta.

Figura 2. Rutinas de relajamiento que comprenden el software AUMM (Fuente: Elaboración propia)

Resultados y Discusión

Luego de recuperar los datos del archivo se procesaron con el software SPSS V15.0.

La percepción global promedio de relajamiento fue de 3.02 y muy similar por género (2.95 y 3.08, respectivamente). La única diferencia significativa se encontró para la rutina de Pesca a favor de los varones. La costumbre de jugar en términos generales

fue de 3.09, con una diferencia altamente significativa a favor de los hombres con un 3.55 contra un 2.64 de las mujeres.

Por cada grupo etario, se presentan en el cuadro 1, el nivel promedio de relajamiento y de jugador, percibidos. La media de las valoraciones emitidas, implican que la mayor representatividad se da entre los 20 y 22 años, con un 68.2% de participación y una media similar a la global. Adicionalmente, en el cuadro 2 se presentan los descriptivos por cada una de las rutinas, encontrando que aquella que implica armar una figura (Rompecabezas) resultó mucho más relajante que una que requiere construir para luego destruir (Dominó).

En cuanto a las asociaciones, se encontró una positiva altamente significativa aunque de baja magnitud entre los niveles de relajamiento y de jugador ($r=.165$, $p=.001$). En tanto, entre la edad y el nivel de relajamiento, se detectó una negativa de tamaño menor ($r=-.120$, $p=.017$).

Del análisis de los comentarios, se determinaron siete grandes categorías: Instrucciones, Música, Interacciones, Objetivo/Puntaje, Interfaz, Objetos multimedia; de las cuales se presentan las menciones más frecuentes.

- Instrucciones: Comentan que hace falta aclarar las instrucciones.
- Música: Refieren que hay que evitar que se note cuando acaba y reinicia la pieza musical.
- Interacciones: Solicitan que el participante tenga más acciones por ejecutar.
- Objetivo/Puntaje: Señalan que sería más atractivo el conseguir algún logro o puntos.
- Interfaz: Apuntan que los elementos multimedia debieran ser más realistas.
- Objetos: Mencionan que es necesario diversificar las imágenes y agregar audios representativos.

Todas implican mejoras excepto lo relativo a la música, lo cual requiere de corrección.

Cuadro 1. Medias de valoraciones y niveles de jugador, por grupo etario

Edad	Valoraciones	Relajamiento (Media)	Nivel de Jugador (Media)
16	2	3.5	3.5
18	18	2.6	3.6
19	35	3.4	3.4
20	82	3.2	2.9
21	142	3.1	3.2
22	46	2.7	2.5
23	54	2.7	3.2
24	3	3.0	3.3
25	14	3.4	3.6

Cuadro 2. Descriptivos de las valoraciones de relajamiento por tarea y global

Rutina	Valoraciones	Relajamiento	
		Media	Desv. Std.
Rompecabezas	25	3.64	0.700
Mariposas	29	3.21	0.774
Pompas	33	3.18	0.808
Abejas	29	3.14	0.693
Reacción en cadena	30	3.13	1.042
Perrito	23	3.13	1.058
Tapete	32	3.06	0.878
Podando Arboles	28	3.00	1.054
Diente de Leon	29	2.97	0.906
Luciérnagas	33	2.94	0.827
Pecera	21	2.90	0.995
Metegol	27	2.74	1.095
Pesca	28	2.61	0.916
Dominó	29	2.59	1.181
Global	396	3.02	0.949

Es interesante que en la muestra encuestada, a pesar de que los varones indican jugar más que las mujeres, no existió diferencia significativa entre ambos géneros, en cuanto a la percepción de relajamiento global y para la gran mayoría de las rutinas por separado. Al parecer, los participantes entre 20 y 22 años presentan las valoraciones más representativas, independientemente del género. Digno de mencionarse es la diferencia percibida de relajamiento entre rutinas con mecánica similar como Mariposas y Luciérnagas y Reacción en Cadena y Dominó. También, interesante el hecho de que una rutina como Pecera que se ha indicado generar tranquilidad y Metegol, la única con características de videojuego tradicional, hayan logrado medias parecidas y de las más bajas. Quizás el que la rutina Dominó haya logrado tan baja estimación, se deba a que implica mayor trabajo colocar las fichas que colocar las trampas en Reacción en cadena, la cual logró una mayor.

En cuanto a las asociaciones encontradas, aunque de manera incipiente, el estudiante entre más acostumbra usar videojuegos, mayor relajación percibió de manera general provocado por el software. De manera análoga, a menor edad se detectó una mayor tranquilidad provocada. Lo anterior puede indicar que entre más joven y más asiduo a los videojuegos, el participante detectó una mayor efecto de disminución de ansiedad.

Respecto a los comentarios vertidos, es destacable que a pesar de las reiteradas solicitudes, en muchas valoraciones el participante no registró algo; lo cual es una pena, pues se perdió la oportunidad de enriquecer los comentarios. En cuanto a las categorías detectadas, se encontró que por costumbre los usuarios de videojuegos no acostumbran leer indicaciones y rápidamente prueban, lo cual causa dudas sobre la pertinencia de mejorar este rubro. Respecto a la música, procede eliminar el ruido provocado por el fin e inicio de la canción; aunque no se comentó si provocaba tranquilidad. Tocante a Interacciones y Objetivo, acostumbrados como están a realizar múltiples acciones y lograr pequeñas metas, al usar los videojuegos

tradicionales, hace falta enfatizarles que están frente a un mundo totalmente distinto, para lo cual tendrían que desaprender lo que han desarrollado. En cuanto a las categorías Interfaz y Objetos, se considera pertinente mejorar los recursos multimedia, para proveer un ambiente más orgánico al intentar tranquilizarse.

Conclusión

La idea principal cuando se diseñaron las rutinas fue que se basaran en actividades que las personas han comentado generan tranquilidad. Un elemento común en estas es que hay más contemplación que actividad y cuando la misma ocurre, comúnmente sucede a un ritmo lento, porque la idea no es llegar a un fin, sino disfrutar del proceso sin restricciones de tiempo. Los jóvenes actualmente acostumbrados en realizar múltiples actividades a un ritmo frenético para lograr satisfacciones inmediatas podrían estar muy alejados de la dinámica que sustenta a los relajadores. Por lo anterior, es sorprendente el nivel de valoración que proporcionan al software AUMM, aún cuando quedan dudas sobre los comentarios vertidos de mejoría, precisamente por los entornos de entretenimiento que acostumbran usar.

Indudablemente se han logrado los objetivos inicialmente planteados, aún cuando queda trabajo futuro por hacer, del cual destaca:

- Mejorar los rubros planteados por la muestra y que son pertinentes
- Aplicar la versión mejorada del software a una mayor muestra, enfatizando la importancia de responder los comentarios de mejora
- Agregar una pregunta sobre el nivel de aburrimiento, en una escala de 1 a 4, provocado por cada rutina, y verificar la asociación con el nivel de relajamiento percibido; para de esa manera determinar cuales se eliminarán.

Sin embargo, se podrían aplicar ya las rutinas más destacadas y que tienen las correcciones menores para realmente medir el nivel de disminución de la ansiedad, usando recursos multimedia provocadores de ansiedad y medidores de frecuencia cardíaca, en un estudio de medidas repetidas; con cada una de las tres modalidades presentes en el software original.

Referencias

- Agudelo, D. M., Casadiegos, C. P., & Sánchez, D. L. (2008). *Características de ansiedad y depresión en estudiantes universitarios*. Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga, Colombia. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2990/299023503006.pdf>
- Arco Tirado, J., López Ortega, S., Heilborn Díaz, V., Fernández Martín, F. (2005). Terapia breve en estudiantes universitarios con problemas de rendimiento académico y ansiedad: eficacia del. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 589-608. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33705310>
- Bänziger, T., Mortillaro, M. y Scherer, K. R. (2012). Introducing the Geneva Multimodal expression corpus for experimental research on emotion perception. *Emotion*, 12(5), 1161.
- Botella, C., Baños, R., Garcia Palacios, A., Quero, S., Guillen, V., Heliodoro, J. M. (2007). La utilización de las nuevas tecnologías de la información. *uoc papers Revista sobre la sociedad del conocimiento* (4), 32-41. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=79000409>
- Carrillo Chamorro, F. E. (2019). Ansiedad ante exámenes y autoconcepto en adolescentes de una institución educativa en el distrito de Villa María del Triunfo. Universidad Autónoma del Perú.
- Ekman, P. (1994). Moods, emotions, and traits. In P. Ekman & R. J. Davidson (Eds.), *The nature of emotion: Fundamental questions* (pp. 56–58). Nueva York: Oxford University Press.
- Gutiérrez-García, A. G. y Contreras, C. M. (2013). Anxiety: an adaptive emotion. *New insights into anxiety disorders*, 21-37.
- Harmon-Jones, C., Bastian, B. y Harmon-Jones, E. (2016). The discrete emotions questionnaire: A new tool for measuring state self-reported emotions. *PloS one*, 11(8).
- INJUVE (2013). *Informe juventud en españa 2012*. Madrid: Instituto de la Juventud. Obtenido de: http://www.injuve.es/sites/default/files/IJE2012_0.pdf
- Sahin, M. (2014). The relationship between pre-service teachers' physics anxiety and demographic variables. *Journal of Baltic Science Education*, 13(2), 201-215.

INFLUENCIA DE LA APTITUD ACADÉMICA EN LA CALIDAD TUTORIAL EN ALUMNOS DEL ITSAV CAMPUS MEDELLÍN

JOSÉ ANTONIO AGUIRRE GUZMÁN¹, RAFAEL ZAMUDIO REYES², XÓCHITL DEL CARMEN ROMERO HIPÓLITO³, JUAN ANTONIO GALINDO COBOS⁴

Resumen

El presente trabajo consiste en determinar si la aptitud del docente tutor influye en la calidad del trabajo tutorial en los alumnos de las distintas carreras que imparte el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado (ITSAV). Lo cual fue realizado al identificar la problemática de la atención y orientación, así como el adecuado seguimiento al alumno; en su proceso de formación profesional. El tipo de estudio que se realizó es explicativo, debido a que este tipo de estudio explica porque ocurre un fenómeno o bien porque dos o más variables están relacionadas. El método que se desarrolló en esta investigación es una metodología cuantitativa que de acuerdo con (Tamayo, 2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. En cuanto a las técnicas de recolección de información se implementan los resultados de la escala de calidad académica tutorial (adaptada) de Manassero y Vázquez y la escala de aptitud del tutor a la función tutorial Deborah Ann Busko. Derivado del proceso de la investigación realizada nos permite tener beneficios en la práctica educativa del quehacer docente siendo con esto, que la aptitud académica del docente tutor si influye para el desempeño del trabajo en los alumnos que estén a su cargo.

Palabras clave: Tutoría, Tutoría académica, Aptitud, Servicio, alumno.

Introducción

La tutoría, como actividad dinámica, permite que el estudiante obtenga continuamente los conocimientos necesarios para la toma de decisiones en su vida académica y desarrolle a su vez las habilidades, destrezas, actitudes y valores que le resultarán útiles en su vida personal y en sus relaciones sociales. Además, la

1 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado Paseo Las Aves, Escollera Norte S/N Alvarado, Ver., México. pepe-tono@itsav.edu.mx

2 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado Paseo Las Aves, Escollera Norte S/N Alvarado, Ver., México. rafaelzamudio@itsav.edu.mx

3 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado Paseo Las Aves, Escollera Norte S/N Alvarado, Ver., México. xochitlrh19@itsav.edu.mx

4 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado Paseo Las Aves, Escollera Norte S/N Alvarado, Ver., México. antonio.galindo@itsav.edu.mx

misma tutoría, contribuye al proceso educativo, ya que se enfocan en la interpretación, argumentación y resolución de problemas del contexto externo, en la formación idónea y con compromiso ético en todas las competencias. Lo que permite afrontar retos personales, institucionales y sociales. Enfoque socioformativo (Tobón, García Frayle, & Pimienta Prieto, 2008) A pesar de ello, para que un programa de tutorías funcione, existen diversos aspectos que influyen en éxito del mismo, por ejemplo, la actitud de los tutorados, la aptitud del tutor, las herramientas y técnicas empleadas, entre otras.

El presente trabajo busca comprobar si la aptitud académica del docente tutor influye en la calidad del servicio tutorial en los alumnos del segundo semestre de las distintas carreras profesionales que imparte la unidad académica Medellín del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. Para posteriormente realizar un análisis causal que permita determinar si la actitud del docente tutor influye en el servicio brindado a los alumnos. Lo anterior se realizó empleando un enfoque cuantitativo, para obtener resultados que brinden información acerca de la forma de proceder del docente tutor en la atención a los alumnos de dicha institución académica.

Materiales y Métodos

La metodología a utilizar es la cuantitativa, debido a que ésta permite interpretar numérica y estadísticamente los resultados, y lo que se desea comprobar es si la aptitud escolar tiene influencia en la calidad del servicio tutorial en los alumnos del segundo semestre de las distintas carreras del ITSAV en la unidad académica Medellín, tomando la muestra durante el periodo de febrero-junio 2021. Por lo cual, mediante la interpretación de resultados obtenidos, se corroborará si ambas variables tienen relación entre sí. Por ello, se optó por implementar un estudio explicativo, debido a que permite explicar porque ocurre un fenómeno o bien porque dos o más variables están relacionadas, ya que como se había explicado anteriormente, se requiere conocer la relación entre aptitud escolar y la calidad del servicio tutorial.

Por otra parte, el método a desarrollar es cuantitativo, que de acuerdo con (Tamayo, 2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. La metodología cuantitativa utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

Sujetos de estudio. En el cuadro 1 se presentan los criterios de inclusión del estudio, donde se consideran a los alumnos de segundo semestre del ITSAV Campus Medellín, evaluando un docente tutor por grupo, con un total de 6 grupos de diferentes carreras.

Cuadro 1. Criterios de inclusión: alumnos de segundo semestre del ITSAV Campus Medellín.

Tutor	Carrera	Hombres	Mujeres	Total
1 docente tutor	Ing. Industrial	15	17	32
1 docente tutor	Ing. en Gestión Empresarial	14	17	31
1 docente tutor	Ing. Mecánica	15	1	16
1 docente tutor	Ing. en Sistemas Computacionales	15	8	23
1 docente tutor	Contador público	3	10	13
1 docente tutor	Ing. Electrónica	7	2	9

Como criterios de exclusión del estudio se considera la ausencia durante la aplicación de la prueba y a aquellos docentes que no quieran participar en la realización del trabajo de investigación.

Instrumentos de Acopio. Para realizar la recolección de datos, se utilizó un cuestionario, el cual valora los siguientes aspectos:

- a) Evalúa la aptitud y la influencia de perfil profesional del tutor en la atención al tutorado.
- b) Evalúa la calidad de servicio brindado por el tutor a los alumnos.
- c) Aspectos a evaluar: dimensiones o categorías de análisis.

La metodología empleada para la realización del estudio se describe a continuación, listando las fases llevadas a cabo durante el mismo:

- Fase 1: Selección de la población a estudiar: alumnos y docentes del ITSAV Campus Medellín.
- Fase 2: Selección de prueba de conocimiento de la aptitud y perfil profesional del docente que imparte tutoría: valora el conocimiento. Para esta prueba se aplicó un cuestionario de opción múltiple.
- Fase 3: Selección de prueba de la calidad del servicio: valora la calidad del servicio que brinda el tutor a los alumnos. Para esta prueba se aplicó un cuestionario de opción múltiple.
- Fase 4: Valorar la aptitud y el perfil profesional a través de las evaluaciones semestrales por parte de los alumnos (llevada a cabo con un instrumento institucional).
- Fase 5: Valorar la calidad del servicio por parte del docente tutor en su práctica docente por parte de los alumnos.
- Fase 6: Obtener la causalidad entre la aptitud y perfil profesional del docente tutor en la calidad del servicio que ofrece a los alumnos.

Resultados y Discusión

El servicio de atención de Tutoría promueve el desarrollo de habilidades de los alumnos en formación, permitiendo revisar y comprender sus procesos metacognitivos en el aprendizaje de los diversos contenidos curriculares, así como, reconocer en dónde tienen dificultades, qué tipo de contenidos se les facilitan y cómo pueden mejorar, asumir y dirigir su trayecto formativo. Por ello, la tutoría es responsabilidad de la institución y del docente, pero se reconoce como un derecho del estudiante, quien debe apropiarse de la tutoría como una experiencia de crecimiento personal que, junto con otros apoyos, contribuya a elevar el aprovechamiento escolar en asignaturas de alto índice de reprobación y a disminuir la deserción.

De tal forma, que el acompañamiento académico es de suma importancia y se debe de brindar el servicio con disposición y compromiso para el trabajo de asesoría, así como el acompañamiento a los estudiantes en formación y, por consiguiente, identificar sus fortalezas y áreas de oportunidad en las diferentes etapas de formación en su trayecto formativo de su carrera.

El presente trabajo pretende comprobar la Influencia de la aptitud académica en la calidad del servicio tutorial de los alumnos del segundo semestre de las distintas carreras del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado en la unidad académica Medellín. Para lograr este objetivo se presentan los resultados de la escala de calidad académica tutorial (adaptada) de Manassero y Vázquez y la escala de aptitud del tutor a la función tutorial Deborah Ann Busko.

Primeramente, se realizará una descripción de la población de acuerdo a las diferentes carreras que se imparten en la institución educativa. Posteriormente se realiza un análisis de los resultados por variables (actitud escolar y calidad del servicio tutorial, carrera y sexo de los alumnos) donde se observen gráficamente los resultados.

Descripción de la población estudiada

Antes de establecer la descripción de la población, me permito mostrar la confianza de los instrumentos ocupados en esta investigación, los cuales fueron valorados con la prueba de Alfa de Cronbach, la cual utiliza un rango de confiabilidad, el cual se muestra a continuación:

Cuadro 2. Rangos de confiabilidad para la prueba Alfa de Cronbach.

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Nula
0.54 a 0.59	Baja
0.60 a 0.65	Confiable
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente
1	Perfecta

Se aplicaron dos instrumentos, uno a los tutores y otro a los alumnos: dentro del primer instrumento aplicado a los tutores se obtuvo un coeficiente de confiabilidad de 0.87, indicando una confiabilidad “Excelente”, mientras que en el segundo instrumento aplicado a los estudiantes, se logró un coeficiente de confiabilidad de 0.79, mostrando ser resultados “Muy confiables”. Cada instrumento está conformado por 6 ítems, pero a diferencia del instrumento aplicado a los tutores, en el instrumento para los alumnos se obtuvo una gran varianza, lo cual representa una menor confiabilidad en los resultados en comparación con los alcanzados en el instrumento para los tutores.

En el presente estudio se evaluó a 108 alumnos del segundo semestre del periodo febrero-junio 2021 del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado en la unidad académica Medellín, ubicado en Lagos de Puente Moreno del municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, arrojando los datos que a continuación se presentan.

Del total de alumnos que participaron, respondieron de la siguiente forma: 13 respondieron “a veces” equivaliendo a un 12 % con una puntuación de 39, mientras que 15 contestaron “casi siempre”, que equivale a un 13% con una puntuación de 60, 3 alumnos respondieron “pocas veces”, con puntuación de 9, esto equivale a un 3% y una puntuación de 6 y 77 alumnos respondieron “siempre” que equivale a un 71% con una puntuación de 38 correspondiendo con esto a un total de 490 puntos de los 540 como máximo esperado y corresponde a un 91%, lo cual indica que de acuerdo a la población, se genera confianza y buena comunicación con todo el grupo (Figura 1).

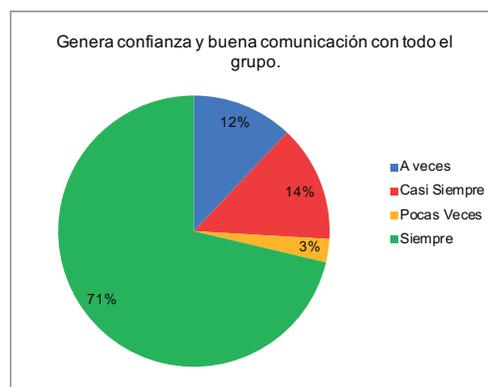


Figura 1. Distribución de la población de acuerdo con: “genera confianza y buena comunicación con todo el grupo”.

Con base en la población evaluada, los tutores se muestran en su mayoría empáticos con las consultas que les hacen los tutorados, obteniendo los siguientes resultados: 6 alumnos respondieron “a veces” proporcionando 18 puntos que equivalen a un 6%, 15 respondieron “casi siempre”, obteniendo una puntuación de 60, que representa un 14%, 2 alumnos contestaron “pocas veces” con una puntuación de 2 y representan el 2%, 85 respondieron “siempre” obteniendo 425 puntos, que equivalen a un 79%, 1 alumno respondió “nunca”, obteniendo 1 punto

equivaliendo a 1 % de todo lo anterior, este ítem obtiene 506 puntos de un máximo esperado de 540 que equivalen a un 94% (Figura 2).

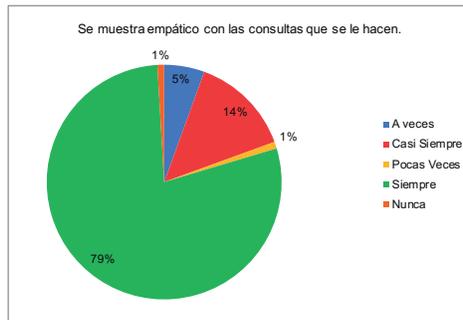


Figura 2. Distribución de la población de acuerdo con: "se muestra empático con las consultas que le hacen".

De acuerdo a la población encuestada, se canaliza adecuadamente a los tutorados siempre que se tiene algún problema y que no lo pueden resolver por si mismos, obteniendo: 4 alumnos contestaron "a veces", proporcionado 12 puntos, que equivalen a un 4%, 22 respondieron "casi siempre", alcanzando 88 puntos, que equivalen a un 20%, 1 alumno manifestó "pocas veces", con un valor de 2 puntos, que equivalen a un 1%, 81 estudiantes indicaron "siempre", con valor de 507 puntos de los 540 esperados, que equivalen a un 75%, consiguiendo un porcentaje general de 94% en esta pregunta (Figura 3).

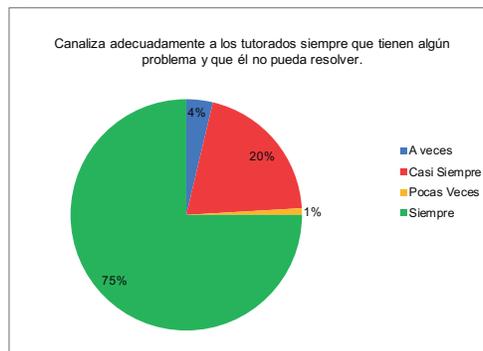


Figura 3. Distribución de la población de acuerdo con: "canaliza adecuadamente a los tutorados siempre que tienen algún problema y que él no pueda resolver".

Del total de 108 alumnos que participaron se obtuvo lo siguiente: 5 mencionaron "a veces", obteniendo 15 puntos que equivalen al 4 %, 15 contestaron "casi siempre" logrando 60 puntos que equivalen a 14%, 2 alumnos sugirieron "pocas veces", alcanzando 4 puntos que son equivalentes a un 2%, 86 alumnos respondieron "siempre", consiguiendo 509 puntos de los 540 esperados, lo cual representa un 80% de la población, llegando a obtener en este ítem tiene un 94% general, lo cual indica que de acuerdo a la población, en la mayoría de los casos se le da un correcto seguimiento a los tutorados que han sido canalizados (Figura 4).

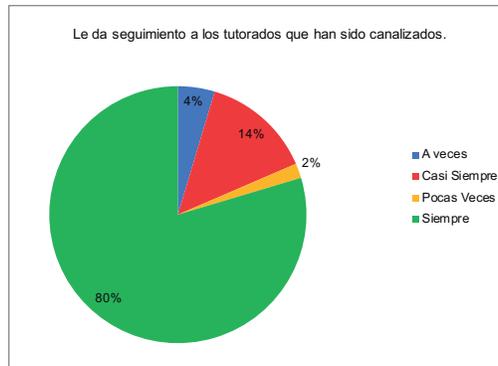


Figura 4. Distribución de la población de acuerdo con: “le da seguimiento a los tutorados que han sido canalizados”.

Basados en la interrogante de si los tutores proveen de la información adecuada a los alumnos para realizar trámites escolares se obtuvieron los siguientes resultados: 6 respondieron “a veces”, que representan 18 puntos con un valor de 6%, 22 contestaron “casi siempre” con una puntuación de 88 que equivale a 20%, 2 alumnos seleccionaron “pocas veces”, con puntuación de 4 que equivale a 2%, 78 eligieron “siempre” que equivale a 390 puntos con un 72%, donde el valor total de este ítem es de 93%, indicando un resultado positivo en este rubro (Figura 5).

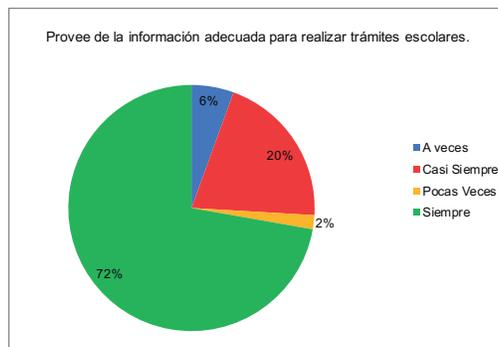


Figura 5. Distribución de la población de acuerdo con: “provee de la información adecuada para realizar trámites escolares”.

Analizando los casos en que tan ágilmente se puede localizar a los tutores se observó lo siguiente: 11 alumnos respondieron “a veces”, con una puntuación de 33 que corresponden a un 10%, 35 contestaron “casi siempre”, obteniendo 140 puntos que equivalen a un 32%, 1 alumno eligió “pocas veces” que corresponde a 2 puntos con un valor de 1%, 61 alumnos seleccionaron “siempre”, alcanzando 305 puntos de los 480 esperados y que equivalen a 57 %, dando como resultado final de este ítem un 89%, lo cual representa una aptitud positiva de los tutores (Figura 6).

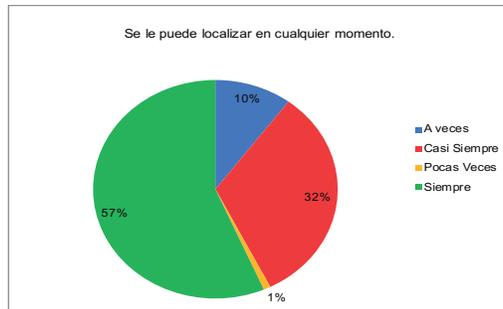


Figura 6. Distribución de la población de acuerdo a se le puede localizar en cualquier momento. De acuerdo a la población, al realizar la función de tutor se brinda al tutorado información adicional y pertinente para su formación profesional, independientemente de la información institucional, obteniendo resultados de 6 tutores encuestados respondieron lo siguiente: 33% “siempre” y un 67 % “casi siempre” (Figura 7).



Figura 7. Distribución de la población de acuerdo con: “al realizar tu función brindas al tutorado información adicional y pertinente para su formación profesional, independientemente de la información institucional”.

Encuestando a los 6 tutores sobre que tanta confianza y respeto generan en los alumnos, demostrándole el compromiso en la atención a sus necesidades educativas se obtuvo que un 67% respondió “siempre” y 33% “casi siempre” (Figura 8).

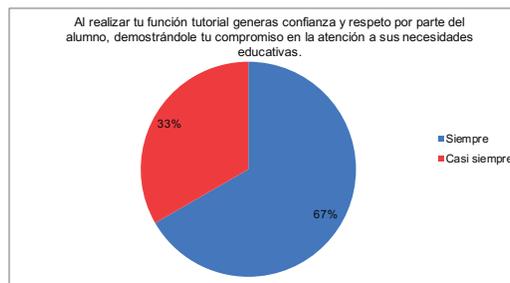


Figura 8. Distribución de la población de acuerdo con: “al realizar tu función tutorial generas confianza y respeto por parte del alumno, demostrándole tu compromiso en la atención a sus necesidades educativa”.

De un total de 6 tutores encuestados, 4 respondieron “siempre” y dos “casi siempre”, donde la mayoría muestra interés y capacidad para escuchar, tratar y proporcionar información para atender los problemas académicos y personales que se te presentan, observando una aptitud positiva en la mayoría de los casos (Figura 9).

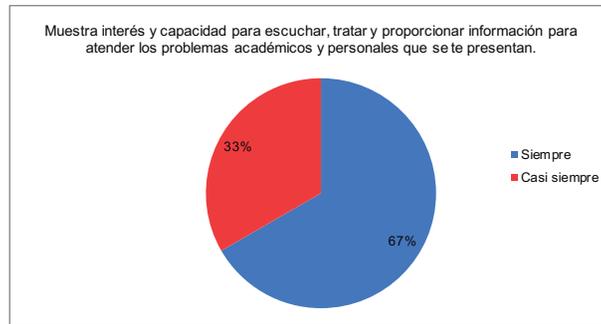


Figura 9. Distribución de la población de acuerdo con: “muestra interés y capacidad para escuchar, tratar y proporcionar información para atender los problemas académicos y personales que se te presentan”.

De acuerdo a la población de tutores, cuando se presenta una necesidad educativa en un alumno tutorado, canalizas a instancias correspondientes cuando alguna situación rebasa su área de acción, un 83% respondieron “siempre” y 17% “casi siempre”, mostrando una muy buena atención hacia el tutorado (Figura 10).

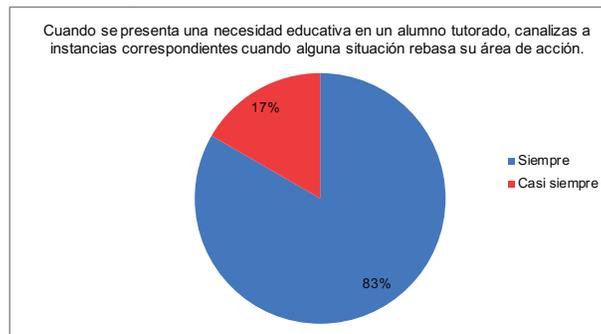


Figura 10. Distribución de la población de acuerdo con: “cuando se presenta una necesidad educativa en un alumno tutorado, canalizas a instancias correspondientes cuando alguna situación rebasa su área de acción”.

Dos terceras partes del total de la población de tutores contestaron “siempre”, mientras el resto dijo “casi siempre”, cuando se les cuestionó sobre si al realizar tu función tutorial se muestran abiertos y procuran empatía en la forma de cómo se comunican con el tutorado, observando una buena aptitud por parte de los encuestados (Figura 11).



Figura 11. Distribución de la población de acuerdo con: “al realizar tu función tutorial te muestras abierto y procuras empatía en la forma de cómo te comunicas con el tutorado”.

De acuerdo a la población, cuestionando si muestran interés como tutor en orientar de las distintas metodologías y técnicas de estudio en sus tutorados, un 83% responde con “siempre” y 17% “casi siempre”, indicando una muy buena aptitud (Figura 12).

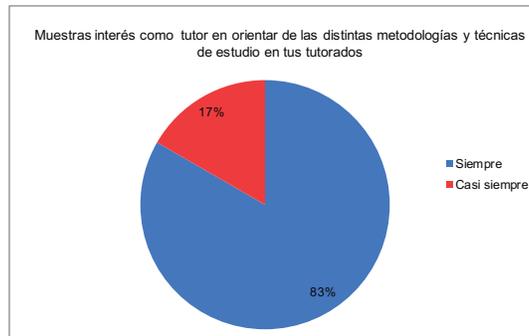


Figura 12. Distribución de la población de acuerdo con: “muestras interés como tutor en orientar de las distintas metodologías y técnicas de estudio en tus tutorados”.

Los resultados fueron interpretados mediante dos técnicas estadísticas inferenciales de tipo paramétricas: primeramente se comprobó si existía correlación entre las variables mediante la prueba de Pearson; y posteriormente, se utilizó la prueba de t student (valores promedio) para determinar si existía diferencia significativa entre la aptitud del tutor y la calidad académica en el área de tutorías.

a) Prueba de asociación de Pearson

Con base en los resultados obtenidos por medio la prueba de Pearson, se observa una correlación negativa de -0.488931021 , lo que significa que a mayor aptitud del tutor mayor calidad académica y a que menor aptitud del tutor menor calidad académica, estos resultados indican que en más de una tercera parte se presentan estas condiciones matemáticamente comprobado, lo cual ocurrirá de forma general en los estudiantes.

Para comprobar lo anterior, se toma de referencia uno de los ítems aplicado a los alumnos: “Canaliza adecuadamente a los tutorados siempre que tienen algún problema y que él no pueda resolver”, donde: “Siempre” corresponde a un 75%, “Casi siempre” a 20%, “A veces” a 4% y “Pocas veces” a 1%, con ello podemos observar que mientras exista un mayor compromiso del tutor, mejor será la calidad académica esperada por el alumnado en cuanto al servicio de Tutoría Académica.

b) Prueba t de Student

Al aplicar la prueba t de student sobre los resultados alcanzados, se obtuvo un valor promedio de 28 para la “aptitud” del tutor y de 25.3 para la “calidad académica”, con una probabilidad de 0.05, teniendo un valor crítico para medias (t) de 3.288 y un valor crítico de 1.729 respectivamente, por lo cual, se determinó que hay diferencia significativa entre la aptitud del tutor y la calidad académica.

Cuadro 3. Resultados de la prueba t de student para medias de dos muestras emparejadas.

	Aptitud del tutor	Calidad académica
Media	28	25.3
Varianza	0.947368421	9.589473684
Observaciones	20	20
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.488931021	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	3.288258866	
P(T<=t) una cola	0.001933121	
Valor crítico de t (una cola)	1.729132812	
P(T<=t) dos colas	0.003866243	
Valor crítico de t (dos colas)	2.093024054	

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos de las encuestas realizadas al alumnado, se puede observar que la aptitud del docente es de suma importancia para la calidad académica esperada por los alumnos en el proceso de acompañamiento tutorial. Ya que, parte fundamental de un buen resultado de este acompañamiento es la confianza, empatía, seguimiento y compromiso por parte del tutor hacia el alumno tutorado.

Es importante señalar que el compromiso de los alumnos en el proceso tutorial es determinante para el buen desempeño de las actividades desarrolladas por sus tutores y por ende que estos puedan recibir la calidad académica esperada como factor secundario fundamental seguido de la aptitud del tutor, el compromiso esperado del alumno.

Finalmente, podemos concluir con base en los análisis estadísticos realizados mediante una muestra de 108 alumnos encuestados, que la calidad académica recibida por parte de los tutores asignados a las diversas carreras ofertadas por parte de la Institución, dando como resultado una correlación positiva, ya que la aptitud del tutor afecta directamente a la calidad académica del alumno.

Referencias

Tamayo, M. T. (2007). *El proceso de la Investigación Científica* . México D.F: Limusa.

Tobón, S. T., García Frayle, J. A., & Pimienta Prieto, J. H. (2008). *Secuencias Didácticas: aprendizaje y evaluación por competencias*. México : PEARSON EDUCACIÓN.

PROTOTIPO: EQUIPO CON INTERFAZ RS-485 PARA COMUNICARSE VÍA MODBUS CON MEDIDORES DE ENERGÍA COMERCIALES

JOSÉ JUAN HUESCA LÓPEZ¹, IVÁN VALENCIA SALAZAR², JOSÉ LUIS FERANANDO PALOMEQUE LOYO³

Resumen

El presente trabajo describe el proceso de fabricación de un prototipo de equipo con interfaz RS-485 y conectividad Wi-Fi cuyo objetivo principal es leer información energética de medidores de energía comerciales, con conectividad vía RS-485 y protocolo Modbus, para enviarla a un sistema de monitoreo energético en la nube. Se presenta la descripción detallada de todas las funciones que el prototipo debe realizar, y a partir de esta, se construye de forma modular utilizando un Nodemcu E12 basado en el ESP8266 al cual se le agregan módulos comerciales para implementar la interfaz RS-485, respaldo de información en memoria microSD y contactos de relevador como alarma local. Todo se integra mediante un circuito impreso para obtener un solo módulo. El prototipo se acondiciona de manera que pueda instalarse en un área de tableros eléctricos en la industria. Se describe brevemente el periodo de pruebas en laboratorio previo a instalarlo en la industria. Finalmente, el trabajo concluye con los resultados de más de un año de pruebas de campo en las que se instalaron simultáneamente diez prototipos en una empresa del ramo agropecuario y de alimentación. Después de evaluar el desempeño del prototipo en campo, se concluye que cumple adecuadamente con su objetivo y que es apto para operar en el ambiente industrial.

Palabras clave: Eficiencia energética, Sistemas de gestión energética, Modbus

Introducción

Los cambios climáticos que se han venido manifestando en los últimos años, han obligado a la humanidad a buscar formas de mitigarlos. La comunidad científica ha demostrado que una opción viable es utilizar eficientemente la energía. En la actualidad, las organizaciones internacionales promueven el uso eficiente de la energía. De la misma forma, la mayoría de los gobiernos mundiales fomentan el uso eficiente de la energía mediante programas de apoyo.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Angel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897 Veracruz, Ver. m19020014@veracruz.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Angel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897 Veracruz, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Angel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897 Veracruz, Ver.

Derivado de esta necesidad de medir los parámetros energéticos, surgen diversas instituciones y empresas especializadas, con la función de proveer tecnología para medición de parámetros energéticos y dar asesoría y recomendaciones derivadas del análisis de la información medida.

Tal tecnología suele ser costosa, además, normalmente, no permite la reutilización de equipo de medición ya existente en sitio, sin embargo, se pueden contemplar alternativas menos sofisticadas y que permitan la reutilización de medidores con capacidad de comunicación ya existentes en sitio, como el equipo propuesto en este artículo, que permite la reutilización de medidores comerciales con comunicación Modbus vía interfaz RS-485 y que envía la información energética a una plataforma de información en la nube vía conexión Wi-Fi.

La principal justificación de este proyecto es ofrecer una opción tecnológica para la implementación de un sistema de gestión energética que puede significar una conveniencia económica tanto para el integrador como para el usuario.

El presente artículo describe el desarrollo de un equipo con interfaz de comunicación RS-485 que permite la integración de medidores comerciales, con protocolo de comunicación Modbus, a una plataforma de información energética en la nube. Comienza por el establecimiento de las características del equipo, posteriormente su fabricación y finaliza con las pruebas de campo.

Desarrollo de la metodología de diseño

La metodología empleada para el desarrollo del prototipo se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1.

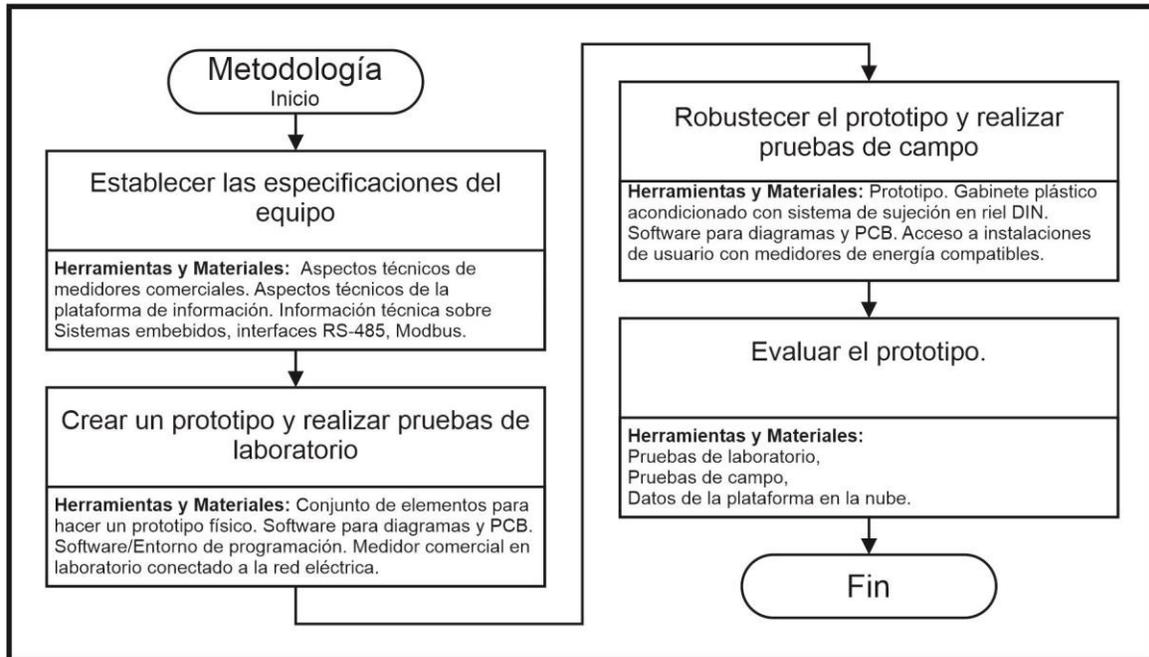


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología

De primera instancia, se estudian los aspectos técnicos de tres medidores comerciales con los que se cuenta en laboratorio y los aspectos técnicos de la plataforma de información en la nube, con base en esto, se establecen los aspectos técnicos del equipo por fabricar cuyos componentes se eligen mediante el estudio de información técnica sobre sistemas embebidos, interfaces RS-485 y protocolo Modbus.

Definidos los aspectos técnicos y componentes del equipo, se procede a fabricar el prototipo y se verifica su funcionamiento en laboratorio, posteriormente, se procede con la adecuación del prototipo para su instalación en campo, una vez adecuado, se procede a la instalación y prueba de funcionamiento en campo.

Finalmente, con base en las especificaciones técnicas y la información almacenada en la plataforma se evalúa el funcionamiento del prototipo

Resultados

En esta sección, se describe el trabajo realizado para elaborar el prototipo y la evaluación de este. Está organizada en función de la metodología planteada en la sección anterior. Se presentan los logros a lo largo de cada etapa y se culmina con el resultado de la evaluación del prototipo en función del grado de cumplimiento de sus funciones.

Especificaciones del prototipo.

Con base en el estudio de la plataforma de información energética y los medidores comerciales con comunicación vía RS-485 y protocolo Modbus, se determinó que, su principal función es, leer la información energética del medidor, ordenarla en una cadena de texto con un formato específico y enviarla al servidor vía internet mediante protocolo HTML en lapsos de tiempo específicos. Los aspectos contemplados en el prototipo desarrollado se dividen en funcionales y técnicos.

En cuanto a sus funciones:

- Lectura de información energética en el medidor mediante protocolo Modbus.
- Sincronización de lecturas en lapsos de tiempo específicos mediante reloj de tiempo real.
- Formateo de la información energética en una cadena de texto.
- Envío de la cadena de texto a la nube mediante protocolo HTML.
- Respaldo de la información energética en memoria microSD
- Señal de alarma local física

En cuanto al aspecto técnico:

- Basado en un sistema embebido con conexión Wi-Fi.
- Interfaz de comunicación RS-485 compatible con medidores comerciales.
- Lectura/Escritura de memorias microSD.

- RTC (Reloj de Tiempo Real)
- 2 juegos de contactos NA a relevador implementados con dos puertos digitales.
- Fuente de alimentación integrada con voltaje de línea entre 100V a 240V.
- Carcasa compatible con sistema de montaje industrial.
- Compacto.

De manera general se establecieron los siguientes aspectos:

- Amplio soporte técnico para el sistema embebido por utilizar.
- Todos los componentes deben contar con una alta disponibilidad comercial.
- Menor costo de implementación posible.

Diseño del prototipo

Con base en los aspectos antes descritos y después de revisar las opciones disponibles en el mercado, se procede al diseño del prototipo cuyo diagrama esquemático se muestra en la Figura 2.

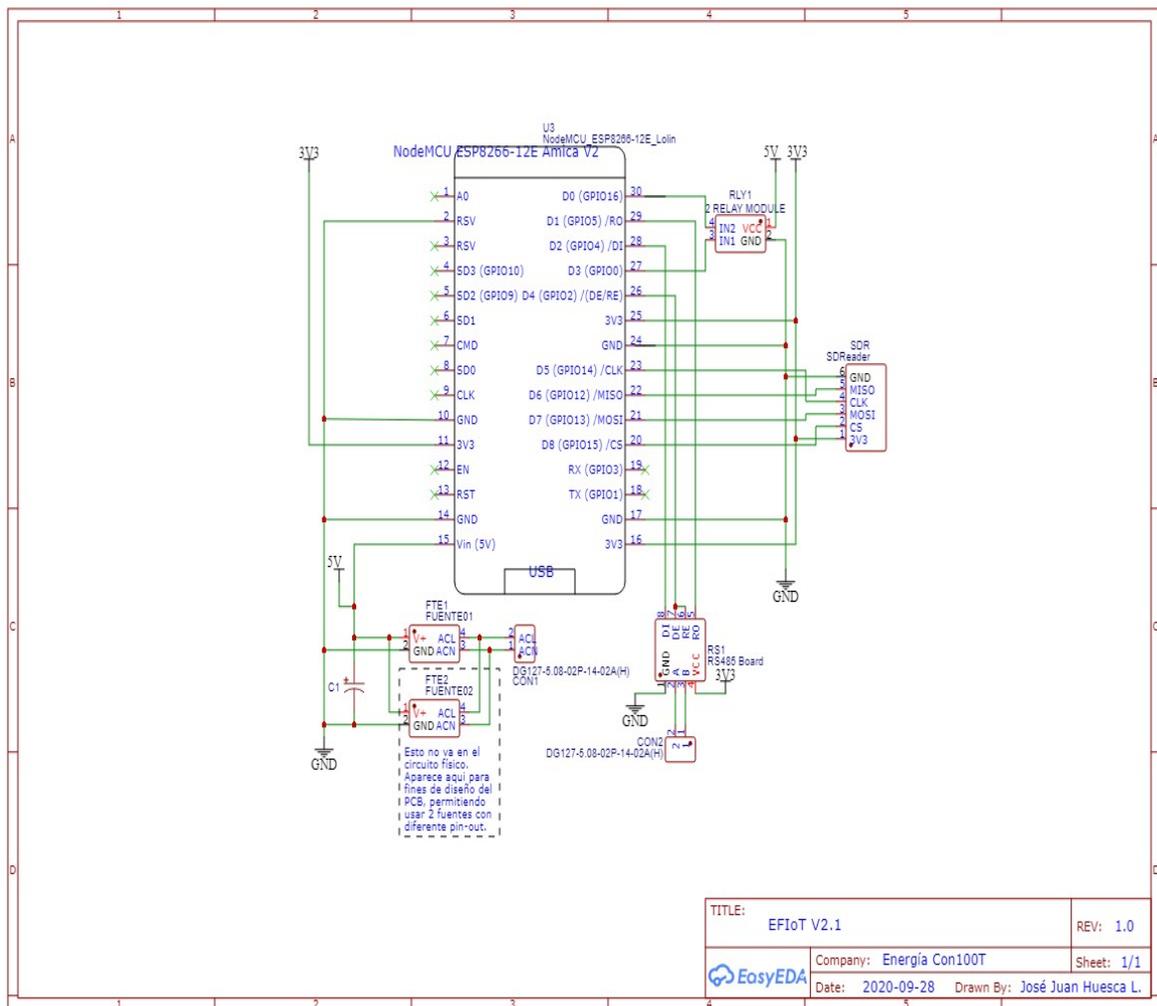


Figura 2. Diagrama esquemático del prototipo

El diseño se planteó de tipo modular de manera que se pudiese construir a partir de módulos individuales que cubran cada uno de los aspectos técnicos requeridos.

Se basa en un módulo Nodemcu12E, el cual es un sistema embebido basado en el procesador ESP8266 de la compañía Espressif (Espressif Systems, s.f.), el cual cuenta con conexión Wi-Fi integrada a un costo accesible.

Para la interfaz RS-485, se selecciona un módulo basado en el MAX485 (Maxim Integrated, s.f.) de la compañía Maxim, que permite comunicación half-duplex, la cual es adecuada para la comunicación Maestro-Esclavo que requiere el protocolo Modbus.

El módulo lector de memoria microSD seleccionado es un módulo genérico compuesto por un socket para la memoria, un regulador de voltaje y un chip buffer para adecuar el nivel de voltaje lógico.

Para implementar las alarmas locales, se selecciona un módulo genérico con 2 relevadores optoacoplados y alimentación a 5VCD, cuenta con terminales de tornillo que permiten utilizar los 3 contactos de cada relevador.

Como fuente de alimentación se utiliza la fuente conmutada de un cargador para celular tipo cubo de 2.1A.

Fabricación del prototipo

El prototipo para realizar pruebas en laboratorio se fabricó soldando los módulos individuales en una tablilla perforada, de manera que obtuvo un solo módulo con un tamaño relativamente pequeño. Las Figura 3 y Figura 4, muestran la foto del anverso y reverso del prototipo respectivamente.

Cabe mencionar que se de primera instancia se intentó realizar las pruebas de laboratorio armando el prototipo en tablillas de proyecto (protoboards), sin embargo, dada la alta frecuencia de las señales digitales presentes en el circuito y la naturaleza mecánica de los contactos en la tablilla, se presentaron un sin número de problemas provocados por falsos contactos, por tal motivo, se decidió fabricar el prototipo en la tablilla perforada, lo cual eliminó por completo los problemas de falsos contactos y permitió realizar las pruebas de laboratorio

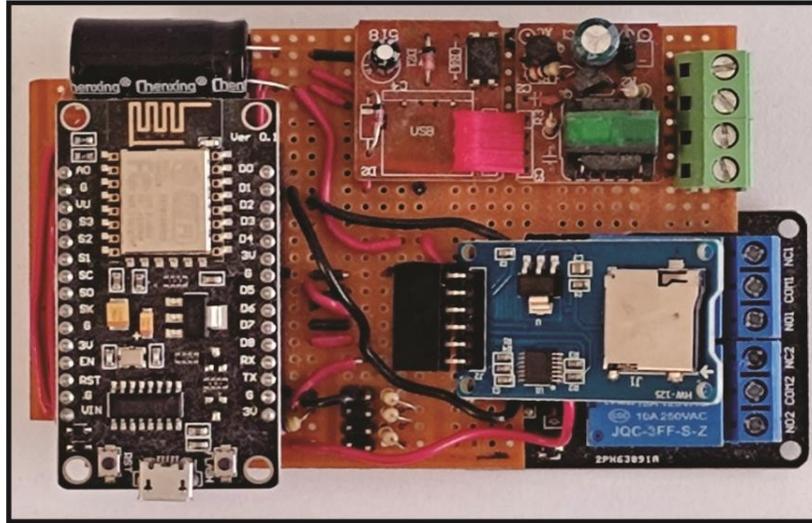


Figura 3. Anverso del prototipo.

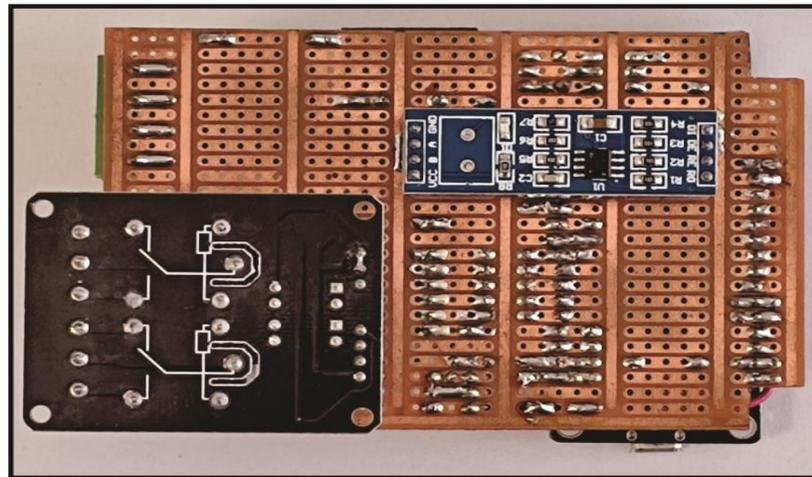


Figura 4. Reverso del prototipo.

Se logró un tamaño de 11x7x4 centímetros, sin embargo, la altura de 4 centímetros podría reducirse en al menos 1 centímetro si el módulo de relevadores y el RS-485 se logran acomodar en el lado de componentes en lugar del lado de soldadura.

Pruebas de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo durante tres meses en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México campus Veracruz en el Aula D302 del edificio anexo al laboratorio de Ingeniería Eléctrica. El desarrollo de las pruebas se realizó en cuatro etapas que se describen a continuación

Instalación física del tablero de medición.

Se instaló un tablero de medición (Figura 5) al cual se le conectó la carga del aula en la que se instaló, la carga consiste en un clima bifásico, iluminación y contactos.

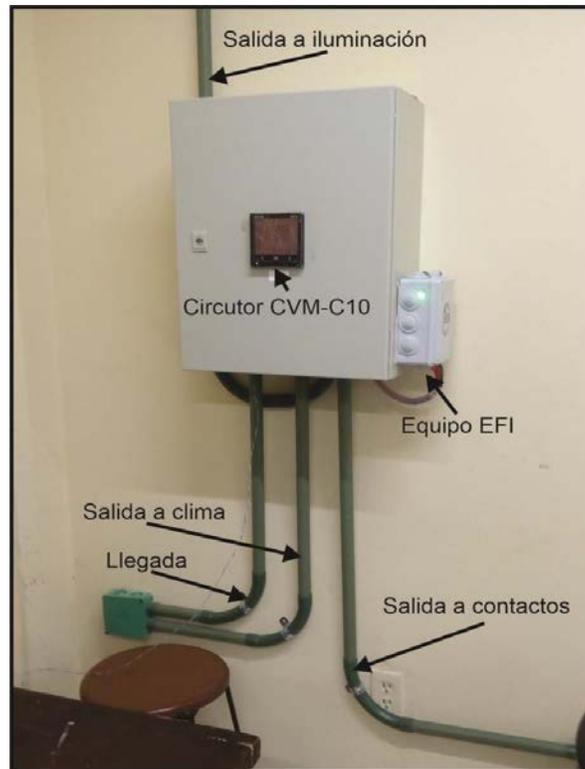


Figura 5. Tablero de medición instalado

El tablero permite simular una aplicación industrial en una pequeña escala, ya que contempla los mismos elementos, medidor, transformadores de corriente, alimentación trifásica y conexión vía RS-485 al prototipo, la única diferencia significativa, es la magnitud de los parámetros medidos, sin embargo, se podrán probar todas las funciones del prototipo ya que serán las mismas que en el tablero en la industria.

Establecer comunicación entre el prototipo y el medidor

La comunicación con el medidor se establece mediante protocolo Modbus (The Modbus Organization, s.f.) sobre la interfaz RS-485. El medidor almacena la información energética medida en su memoria interna la cual es accesible mediante una tabla de direcciones de memoria, que es única para cada modelo de medidor. La información técnica del medidor debe especificar los comandos Modbus implementados en el medidor, es decir, los comandos con los que se consultará la información medida.

Se contó con tres medidores comerciales de diferentes marcas para realizar las pruebas de laboratorio:

- Circutor CVM-C10 (Circutor SA, s.f.)
- Carlo Gavazzi WM30 (Carlo Gavazzi, s.f.)
- Zhangming ZM-194

De primera instancia se probó comunicación simple con cada uno de los medidores, básicamente leer exitosamente diferentes direcciones de memoria.

Se eligió el Circutor CVM-C10 para instalar en el tablero de medición, ya que, el usuario que nos permitirá realizar las pruebas de campo en sus instalaciones cuenta con este medidor.

El Cuadro 1, muestra un fragmento del mapa de direcciones del Circutor CVM-C10. Se puede observar que para cada una de las variables que ahí aparecen, existen tres opciones de valores, instantáneo, mínimo y máximo, estas opciones varían según la variable, el modelo y la marca del medidor

Cuadro 1 Fragmento del mapa de direcciones del Circutor CVM-C10

Parámetro	Símbolo	Instantáneo	Máximo	Mínimo	Unidades
Tensión fase L1	V 1	00-01	106-107	164-165	V x 10
Corriente L1	A 1	02-03	108-109	166-167	mA
Potencia Activa L1	kW 1	04-05	10A-10B	168-169	W
Potencia Inductiva L1	kvarL 1	06-07	10C-10D	16A-16B	var
Potencia Capacitiva L1	kvarC 1	08-09	10E-10F	16C-16D	var
Potencia Aparente L1	kVA 1	0A-0B	110-111	16E-16F	VA
Factor de potencia L1	PF 1	0C-0D	112-113	170-171	x 100
Cos φ L1	Cos φ 1	0E-0F	114-115	172-173	x 100
Tensión fase L2	V 2	10-11	116-117	174-175	V x 10
Corriente L2	A 2	12-13	118-119	176-177	mA
Potencia Activa L2	kW 2	14-15	11A-11B	178-179	W
Potencia Inductiva L2	kvarL 2	16-17	11C-11D	17A-17B	var
Potencia Capacitiva L2	kvarC 2	18-19	11E-11F	17C-17D	var
Potencia Aparente L2	kVA 2	1A-1B	120-121	17E-17F	VA
Factor de potencia L2	PF 2	1C-1D	122-123	180-181	x 100
Cos φ L2	Cos φ 2	1E-1F	124-125	182-183	x 100
Tensión fase L3	V 3	20-21	126-127	184-185	V x 10
Corriente L3	A 3	22-23	128-129	186-187	mA
Potencia Activa L3	kW 3	24-25	12A-12B	188-189	W
Potencia Inductiva L3	kvarL 3	26-27	12C-12D	18A-18B	var
Potencia Capacitiva L3	kvarC 3	28-29	12E-12F	18C-18D	var
Potencia Aparente L3	kVA 3	2A-2B	130-131	18E-18F	VA
Factor de potencia L3	PF 3	2C-2D	132-133	190-191	x 100
Cos φ L3	Cos φ 3	2E-2F	134-135	192-193	x 100

Transmitir información energética al sistema de monitoreo energético en la nube

Los datos energéticos leídos del medidor se codifican en una cadena de texto con un formato json preestablecido por la plataforma de monitoreo, esta cadena se envía mediante protocolo HTML, utilizando comandos POST o PUT, según se trate de información instantánea o quinceminutaria. El Cuadro 2, es un ejemplo de la estructura que debe tener una cadena json quinceminutaria.

Cuadro 2 Ejemplo de cadena json con información energética

```

{
  "NS": "IOTV1-0007",
  "FH": "2021/8/29 0:0:0",
  "V": [256.64, 256.33, 263.79],
  "C": [21.82, 21.05, 25.11],
  "P": [4329.81, 4651.03, 5559.84],
  "S": [5571.79, 5361.62, 6589.86],
  "Q": [3486.34, 2622.31, 3519.58],
  "PMP": [7260.00, 8940.00, 9720.00],
  "PMS": [9120.00, 9900.00, 11760.00],
  "PMQ": [5580.00, 4320.00, 7500.00],
  "ST": 0x000,
  "AF1V": [256.80, 0.10, 0.10, 0.20, 0.00, 0.30, 0.00, 0.50, 0.10, 0.30,
    0.10, 0.70, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.00, 0.10, 0.00, 0.10, 0.00, 0.10,
    0.10, 0.10, 0.10, 0.00, 0.10, 0.10, 0.10, 0.00, 0.10, 0.00,
    0.00, 0.10],
  "AF1C": [35.70, 1.00, 3.30, 1.00, 1.00, 1.50, 1.50, 1.00, 1.00, 1.50,
    1.00, 1.00, 0.00, 1.50, 1.00, 1.00, 0.00, 1.00, 1.00, 1.00,
    1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.00, 1.00, 1.00, 0.00,
    1.00],
  "AF2V": [255.30, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.90, 0.10, 0.60, 0.10, 0.30,
    0.10, 0.90, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.00,
    0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10,
    0.10, 0.10],
  "AF2C": [38.16, 1.30, 2.00, 0.90, 2.10, 1.30, 0.90, 1.30, 0.00, 1.30,
    0.90, 0.00, 0.90, 1.30, 1.30, 0.90, 0.00, 0.90, 0.90, 0.90,
    0.90, 0.00, 0.90, 1.30, 0.90, 0.00, 1.30, 0.90, 0.90, 0.90,
    1.30],
  "AF3V": [263.00, 0.00, 0.10, 0.00, 0.50, 0.10, 0.60, 0.10, 0.30,
    0.10, 0.30, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.10, 0.00,
    0.10, 0.00, 0.10, 0.00, 0.00, 0.10, 0.10, 0.10, 0.00, 0.00,
    0.10, 0.10],
  "AF3C": [44.76, 0.70, 1.10, 1.10, 1.10, 1.10, 0.00, 0.00, 0.70, 1.10,
    0.70, 0.70, 0.00, 1.10, 0.70, 1.10, 0.00, 0.70, 0.70, 0.70,
    1.10, 0.70, 0.70, 0.00, 0.70, 0.70, 0.70, 0.70, 0.70, 0.00,
    0.70],
  "ACML_P,QL,QC,S_3": [493182.00, 322366.00, 2353.00, 594359.00]
}

```

Supervisar el funcionamiento y aplicar correcciones pertinentes.

Se supervisó el funcionamiento del prototipo durante tres meses y se realizaron las correcciones necesarias para que la información se almacenase de manera correcta en la plataforma. Las Figura 6 y Figura 7 muestran, respectivamente, las gráficas de mediciones de voltaje y corriente durante el periodo de pruebas.

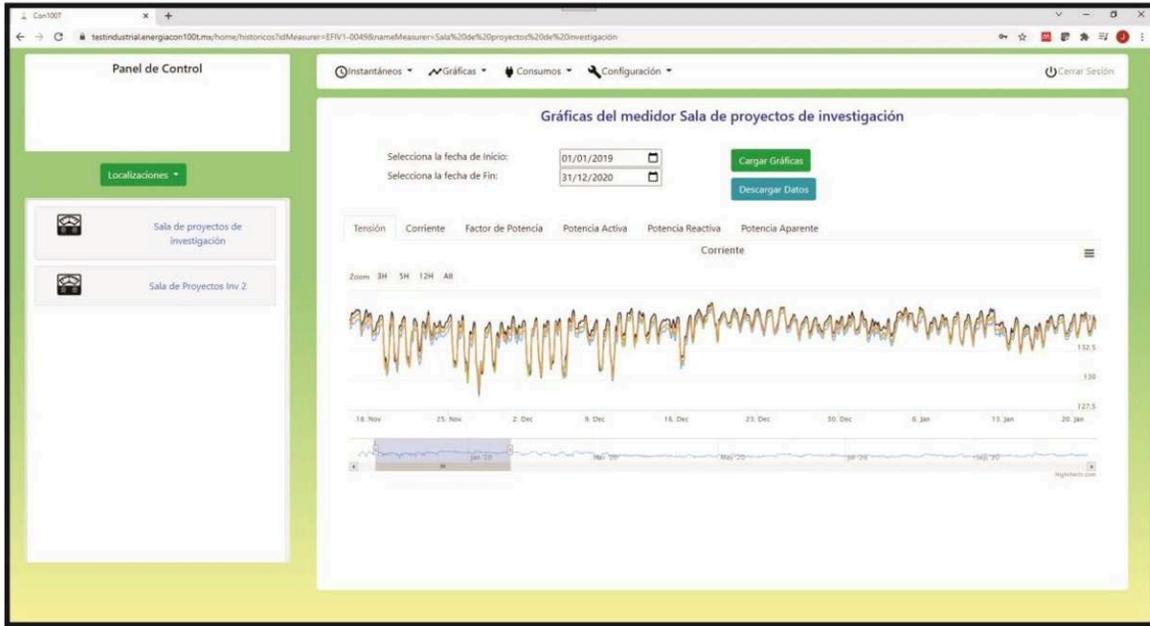


Figura 6. Gráfica de Voltajes (3 meses de pruebas)

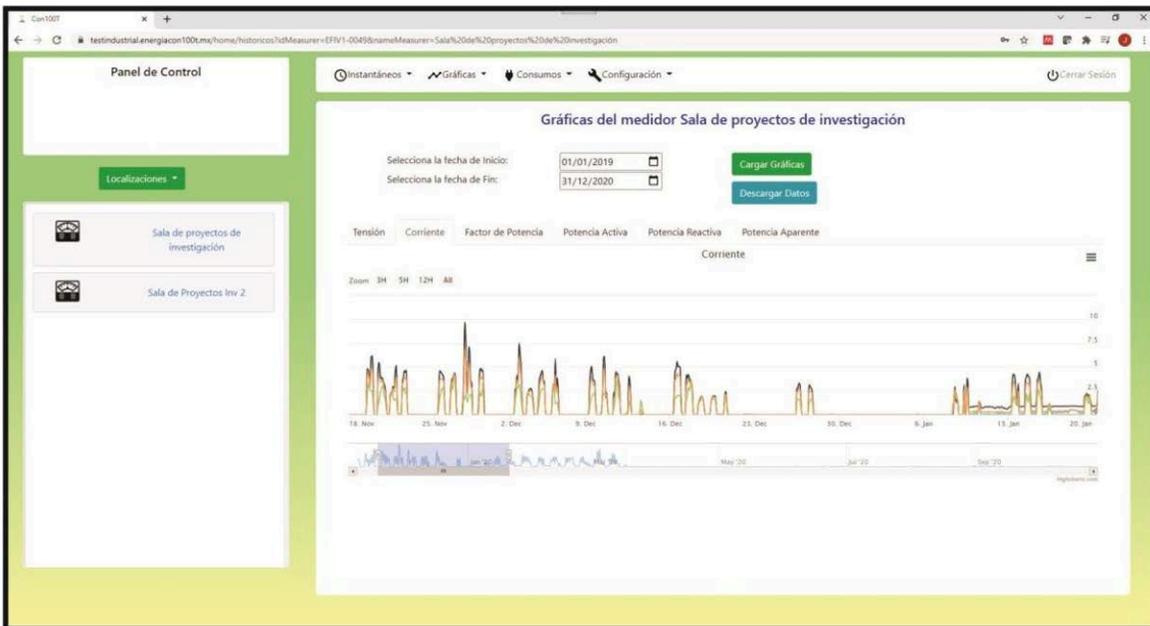


Figura 7. Gráfica de Corrientes (3 meses de pruebas)

Mejora del prototipo y pruebas de campo.

Para realizar las pruebas de campo fue necesario mejorar algunos aspectos del prototipo, principalmente físico-mecánicos, esta mejora se desarrolló en tres etapas:

Elaboración de circuito impreso

De primera instancia se cambió la tablilla perforada por un circuito impreso, esto, con la intención de mejorar la resistencia física del circuito, ya que la tablilla perforada es más delgada que la baquelita comercial usada para fabricar el circuito impreso, además, se ajustó la posición de algunos de los módulos para mejorar la distribución. La , muestra el circuito impreso fabricado.

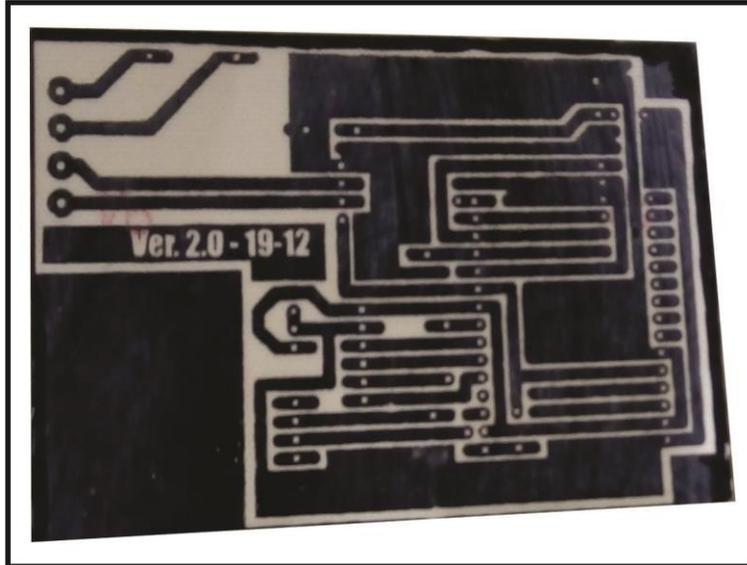


Figura 8 Circuito impreso grabado, antes de perforación

Protección dentro de una carcasa

Dado que la conexión a internet del prototipo es inalámbrica y que los gabinetes en los tableros eléctricos son mayormente metálicos se decidió que el prototipo se instale por fuera del gabinete, y que se proteja con una carcasa plástica para no interferir con la señal de la antena de Wi-Fi. Como carcasa se eligió un gabinete plástico de 13.5 x 4.9x

7.5 cm

Compatibilidad con sistemas de montaje en riel DIN

El sistema de montaje con riel DIN es utilizado comúnmente en los tableros eléctricos, ya que es un sistema de fácil instalación además de ser económico. Se optó por una base atornillable que se encuentra disponible en el mercado y que permite la fijación de la carcasa del prototipo en riel DIN.

Se instaló un conector roscado tipo Conduit PVC para permitir el paso hermético del cable entre las terminales del prototipo y el interior del gabinete metálico donde está instalado el medidor.

Una fotografía del prototipo final con las mejoras realizadas para la instalación en campo se muestra en la Figura 9.

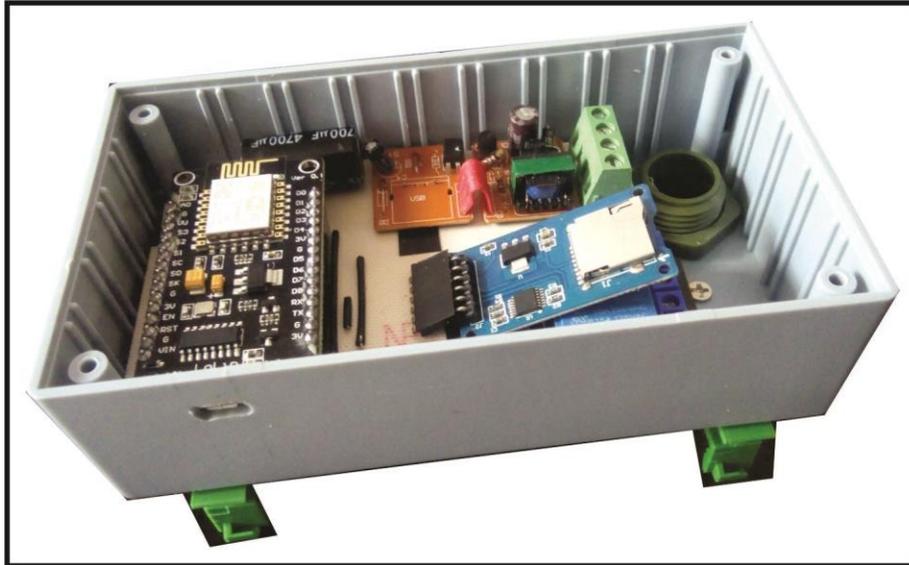


Figura 9 Prototipo para pruebas de campo

Evaluación del prototipo

El prototipo instalado en el Aula D302 del edificio anexo al laboratorio de Ingeniería Eléctrica operó de manera estable y segura durante tres meses. Superada esta prueba inicial, se procedió a fabricar e instalar 10 equipos de comunicación en una planta industrial, los cuales se conectaron a 10 equipos de medición Circuitor CVM-C10 existentes en la planta, para transmitir la información energética medida a la plataforma Web.

A la fecha, los equipos continúan instalados y han operado de manera correcta desde el momento de su instalación en enero de 2020.

En la Figura 10, se observan 4 equipos de comunicación instalados al costado del gabinete y la carátula de 3 medidores Circutor CVM-C10.



Figura 10 Equipos instalados en la industria

La plataforma Web de información energética ha registrado la información de 22 meses enviada por los 10 equipos instalados en la industria. La plataforma permite nombrar los circuitos medidos de manera que el usuario pueda identificar fácilmente de que área o proceso es la información consultada. Los 10 circuitos monitoreados por la plataforma tienen los siguientes nombres: Oficina220, CongFresco, EmpProc1, Freon T2, Rafaga, Biodige.T3, Fab Hielo T3, Rastro 220, Rastro Principal y Canalera T4, estos se encuentran agrupados en 4 localizaciones diferentes accesibles desde el botón “Localizaciones” de la plataforma.

La Figura 11, muestra 4 diferentes pantallas de la plataforma Web: Voltajes instantáneos del Medidor Oficina220, Gráfica de tensión de 1 día del medidor Rastro 220, Gráfica de corrientes del año 2020 completo del medidor Freon T2 y Gráfica de corrientes de lo que va del 2021 del medidor Canalera T4 (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo).

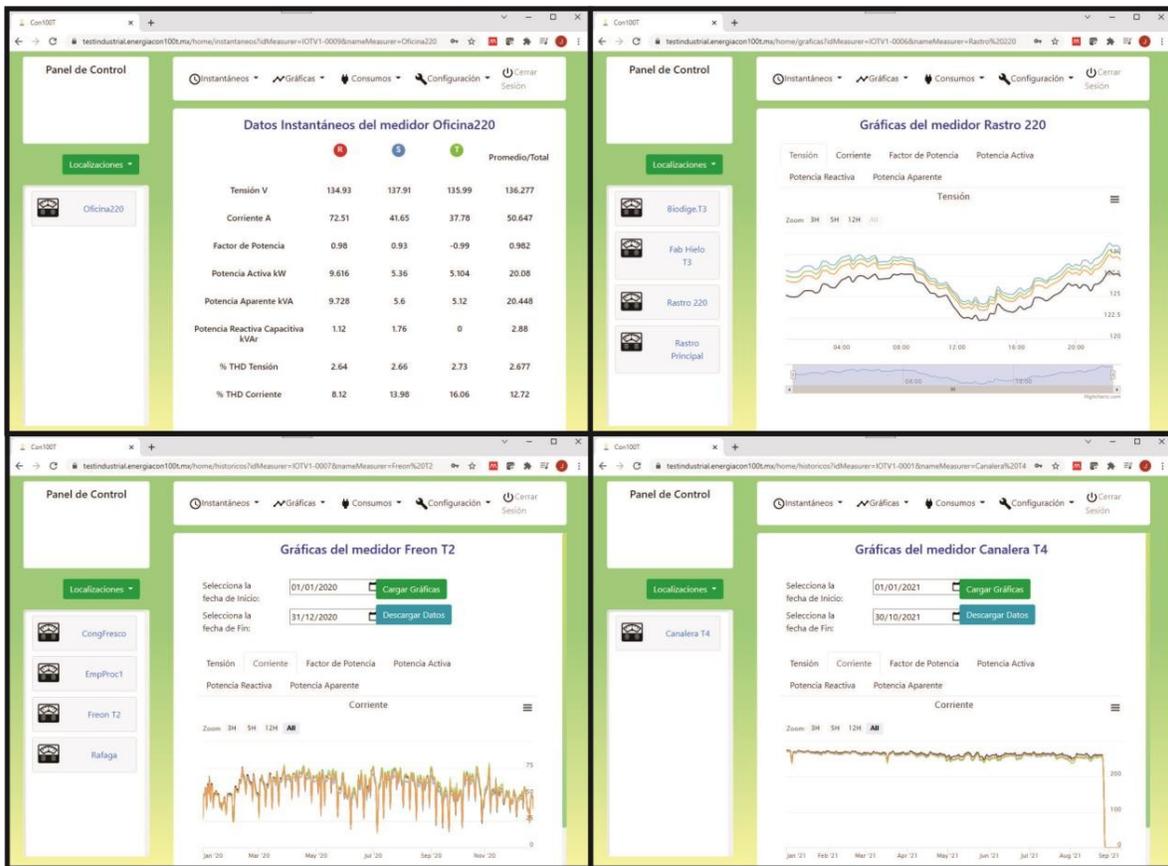


Figura 11 Capturas de pantalla de la plataforma Web

Se acordó con el usuario que los equipos sigan operando por tiempo indefinido, lo que permitirá seguir evaluando su funcionamiento.

Conclusiones

Con respecto al funcionamiento general, y dado que los 10 equipos instalados han funcionado correctamente durante 22 meses, se concluye que la metodología de diseño empleada en la fabricación de estos fue adecuada.

La selección del sistema embebido basado en el ESP8266 fue adecuada y el módulo se ha desempeñado adecuadamente tanto en el aspecto electrónico como de rendimiento. La carcasa, el entubado y el sistema de fijación utilizados en el equipo fueron adecuados y le dan la robustez necesaria para operar en el ambiente industrial.

Una posible línea de investigación futura es el desarrollo de un “servidor personal local” que permita al usuario tener su propia plataforma de información energética sin tener que depender de servicios Web de terceros.

Referencias

- Carlo Gavazzi. (s.f.). Carlo Gavazzi Energy meters kwh meters power quality meters power transducers. Obtenido de <https://www.gavazzionline.com/CGNA/energy>
- Circutor SA. (s.f.). Power analyzers : CVM-C10 Series. Obtenido de <http://circutor.com/en/products/measurement-and-control/fixed-power-analyzers/power-analyzers/cvm-c10-series-detail>
- Espressif Systems. (s.f.). Modules | Espressif Systems. Obtenido de <https://www.espressif.com/en/products/modules>
- Maxim Integrated. (s.f.). MAX485 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers | Maxim Integrated. Obtenido de <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/transceivers/MAX485.html>
- The Modbus Organization. (s.f.). The Modbus Organization. Obtenido de <https://modbus.org/>

DIAGNÓSTICO DE HABILIDADES DIGITALES PARA LA ENSEÑANZA EN EL PROGRAMA DE ING. EN SISTEMAS COMPUTACIONALES DEL TecNM CAMPUS COATZACOALCOS

KARLA ALEJANDRA JIMÉNEZ MARTÍNEZ¹, BLANCA ROSA ZAMUDIO RODRÍGUEZ², ERNESTO RAMÍREZ GARCÍA³

Resumen

El estudio realizado, tiene como objetivo describir la formación de los docentes en habilidades digitales para la enseñanza en el Programa Educativo (PE) de Ingeniería en Sistemas computacionales en el Tecnológico Nacional de México (TecNM), Campus Coatzacoalcos. Este PE cuenta con una plantilla de 15 docentes, de los cuales 8 son Profesores de Tiempo Completo y 7 de Asignatura. El estudio es de tipo cuantitativo con un enfoque descriptivo. Se aplicó un instrumento de recolección de datos a través de la herramienta digital de “Google Form” a la plantilla docente. La información recopilada consiste en la capacitación recibida en las “Jornadas de Formación Docente” promovida por el Tecnológico Nacional de México a través de su plataforma de Educación a Distancia, así como las certificaciones y diplomados que han acreditado los docentes desde la cancelación de las clases presenciales. La pertinencia de este estudio radica en la detección de necesidades de formación de los docentes en habilidades digitales, que permitan diseñar un plan de capacitación adecuado y por lo tanto brindar un servicio educativo de alta calidad en las clases en línea que se llevan a cabo desde marzo del año 2020, por la contingencia del COVID-19.

Palabras claves: Habilidades Digitales, Formación docente, TIC’s, Educación Superior, COVID-19.

Introducción

Las Instituciones de Educación Superior (IES) ante la contingencia generada por la COVID-19 desde Marzo de 2020, se vieron en la necesidad de trasladar sus actividades a la virtualidad, viéndose afectados más de 26 millones de estudiantes y 1.4 millones de docentes (UNESCO, 2020), por lo que se han realizado esfuerzos

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos (ITESCO). Carretera Antigua Minatitlán Coatzacoalcos Km 16.5 Col. Reserva Territorial. C.P. 96536. Coatzacoalcos, Veracruz, México. kjimenezm@itesco.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos (ITESCO). Carretera Antigua Minatitlán Coatzacoalcos Km 16.5 Col. Reserva Territorial. C.P. 96536. Coatzacoalcos, Veracruz, México

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos (ITESCO). Carretera Antigua Minatitlán Coatzacoalcos Km 16.5 Col. Reserva Territorial. C.P. 96536. Coatzacoalcos, Veracruz, México

para implementar soluciones de educación a distancia para no interrumpir la actividad académica, ante este hecho se han sorteado diversos obstáculos, desde la inexistente o deficiente conectividad, falta de equipo de cómputo, la falta de contenidos para abordar los temas de los planes curriculares, hasta docentes sin las habilidades digitales para esta nueva forma de enseñanza. El reto de las IES entre las que se encuentra el Tecnológico Nacional de México (TecNM) conformado por 254 instituciones a lo largo de la República Mexicana ha sido el despliegue de plataformas e infraestructura tecnológica para dar continuidad al proceso de enseñanza aprendizaje, además de dotar a los docentes de la capacitación pertinente para un correcto uso y aprovechamiento de la tecnología educativa. Ante esta situación y de acuerdo a la Estrategia de Continuidad Académica definida por el TecNM (2020) se han puesto a disposición a través de la plataforma de educación a distancia los cursos bajo la metodología de educación a distancia, además de un programa de capacitación en línea para los docentes como apoyo a los que no cuentan con experiencia en la impartición de clases a distancia, de tal forma que utilicen las herramientas que conocen o se les proporcionan para llevar a cabo lo que se ha llamado Educación a Distancia de Emergencia que se ha definido por Peña (2021) como el proceso de “Transformar las clases presenciales a modo virtual, sin cambiar el currículum ni la metodología”, en donde docentes y estudiantes se han visto inmersos en una nueva modalidad, siendo un cambio temporal de la entrega de instrucción a un modo de entrega alternativo debido a circunstancias de crisis. Es por ello, por lo que a un año y medio de estar trabajando con plataformas digitales se hace necesario evaluar los resultados obtenidos con estas estrategias y la participación de los docentes en programas de formación en habilidades digitales.

El presente estudio describe la formación en habilidades digitales que los docentes del PE de Ingeniería en Sistemas Computacionales en Tecnológico Nacional de México campus Coatzacoalcos han obtenido en el periodo de contingencia a través de la plataforma de educación a distancia del TecNM, diplomados ofertados por la misma entidad u organismos externos, así mismo aquellas colaboraciones como facilitadores o instructores para capacitar a docentes de otros Programas Educativos. La motivación de este estudio es identificar las áreas de oportunidad o mejora en la formación docentes y habilidades digitales para encaminar programas de capacitación a reforzar las carencias detectadas y con ello continuar brindando un servicio educativo de alta calidad, que no se vea mermado por la virtualidad.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó a través de encuesta implementada en Google Forms a 15 docentes del PE de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el mes de agosto de 2021, el cuestionario se contestó de manera voluntaria y en línea por lo que solo 13 docentes proporcionaron sus datos. La encuesta consta de 12 reactivos, correspondiendo 4 a información sociodemográfica, 5 referentes a cursos o diplomados acreditados, 2 reactivos a su participación como facilitadores o instructores en cursos de capacitación a docentes y 1 más sobre las certificaciones vigentes relativas a sus competencias docentes y digitales. Las respuestas son cerradas, de opción múltiple, en 5 de ellas se pudo seleccionar más de una alternativa. El estudio es transversal y con enfoque cuantitativo. Una vez delimitado la estructura del estudio y el instrumento de recolección de datos, se procedió al procesamiento de datos obtenidos cuyos resultados se muestran en el siguiente apartado.

Resultados

A continuación, se obtienen los siguientes datos para su análisis y revisión. En la tabla 1 se analizan los datos sociodemográficos de los 13 docentes que proporcionaron información:

Tabla 1. Datos Sociodemográficos de docentes de PE de Ingeniería en Sistemas Computacionales

Edad	Género	Tipo de Contratación	Grado Máximo de estudios
30-39 años 23.08%	Femenino 61.54%	Tiempo Completo 53.55%	Licenciatura 30.77%
40-49 años 61.54%	Masculino 38.46%	Asignatura 46.15%	Maestría 69.23%
50-59 años 15.38%			
Total 100%	Total 100%	Total 100%	Total 100%

Fuente: Elaboración Propia (2021)

El 61.54% de los docentes tiene un rango de edad entre 40 y 49 años, el 61% es del género femenino, el 53.55% son Profesores de Tiempo Completo y el 69.23% cuenta con Maestría.

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa en la figura 1 que el 39% de los docentes ha acreditado el Diplomado de Formación de Tutores, el 31% ya acreditó el Diplomado de Formación y Desarrollo de Competencias Docentes, además solo el 21% el Diplomado de Recursos Educativos Virtuales de Aprendizaje (DREAVA) y el 4% correspondiente a 1 docente no ha acreditado ninguno de los diplomados ofertados por el TecNM. Actualmente hay 6 docentes cursando los Diplomados, correspondiendo 3 al DREAVA, 2 el de Formación de Tutores y 1 el de Formación y Desarrollo de Competencias Docentes.

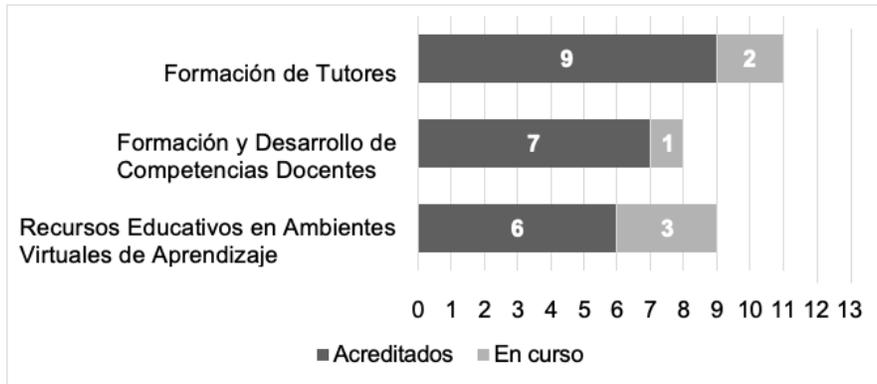


Figura 1 Docentes capacitados en Diplomados del TecNM (2021)

Con respecto a Diplomados externos al TecNM acreditados por docentes, se observa en la tabla 2 que solo 5 de los 13 docentes encuestados cuentan con al menos un diplomado de formación docente o profesional emitido por entidades como Microsoft, Universidad Internacional de La Rioja en México, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, así como la plataforma México X.

Tabla 2 Diplomados externos acreditados por Docentes encuestados

Diplomados	Emite	Docentes
Diplomado Microsoft Teams: Alternancia de dinámicas de enseñanza y aprendizaje para la educación híbrida y remota.	Microsoft	2
Gestión de la Seguridad y Marco Legal, Seguridad en los Nuevos Entornos y Auditoria, Seguridad en Redes, Sistemas y Aplicaciones	Universidad Internacional de La Rioja en México	1
Aritmética, Álgebra, Evaluación Educativa, Trigonometría, Geometría Plana	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.	1
Uso educativo de tecnologías digitales	Instituto de Cómputo e inglés a través de plataforma México X	1

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Los datos obtenidos sobre los cursos acreditados en las Jornadas de Formación Docente en Habilidades Digitales se muestran a continuación:

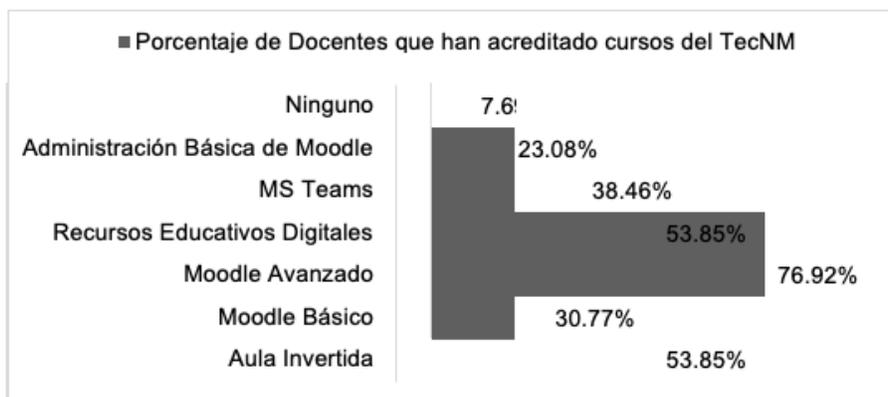


Figura 2 Capacitación en Jornadas de Formación Docente del TecNM (2021)

De acuerdo con la figura anterior se observa que el 76.92% de los docentes encuestados han acreditado el curso Moodle Avanzado, el 53.85% los cursos de Aula Invertida y Recursos Educativos Digitales, se observa también que el 7.69% de los docentes encuestados no ha acreditado ningún curso en las Jornadas de Formación del TecNM.

En lo que respecta a la participación de los docentes como facilitadores en las Jornadas de Formación, la mayor participación ha sido en los cursos de Aula Invertida y Recursos Educativos Digitales con 38.46% de los docentes encuestados, de igual forma en la capacitación en Moodle Básico y Avanzado se tuvo una participación del 30.77% y 23.08% respectivamente. No se ha tenido participación como instructores del curso de MS Teams.

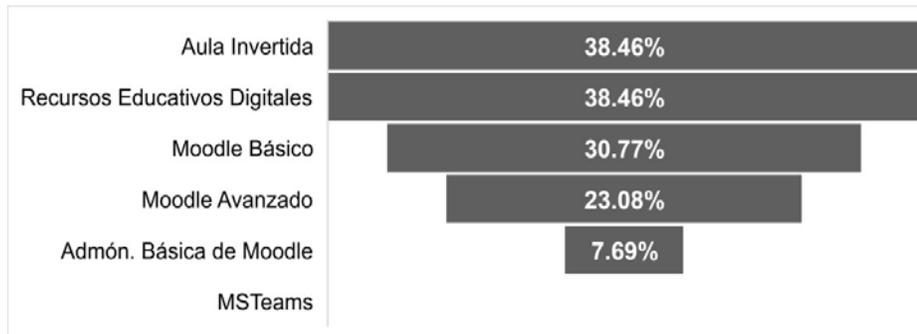


Figura 3 Porcentaje de docentes facilitadores en las Jornadas de Formación del TecNM
 Otro de los aspectos considerados en el instrumento de recolección de datos fue que se indicara los certificados de CONOCER, los resultados obtenidos se muestran en la figura 4 que se muestra a continuación:

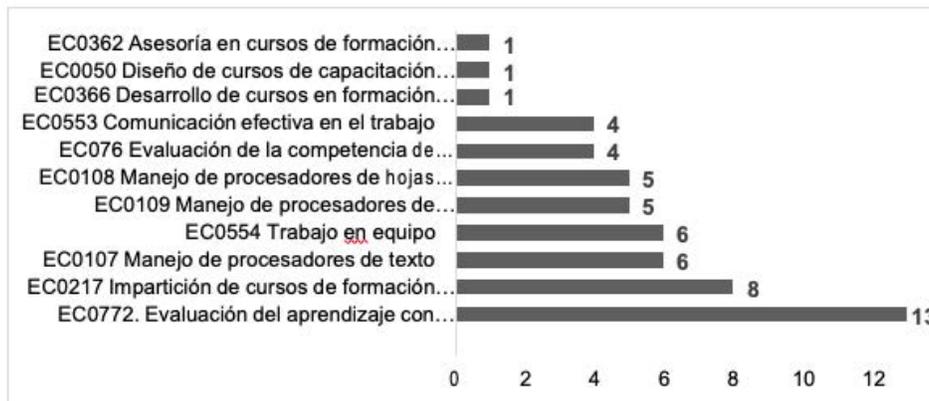


Figura 4 Docentes con certificados vigentes de CONOCER

De acuerdo con los datos presentados en la figura 4, se aprecia que la totalidad de los docentes encuestados cuenta con el certificado EC0772 Evaluación del aprendizaje con enfoque en competencias profesionales, de igual forma 8 docentes cuentan con el certificado del estándar EC0217 Impartición de cursos de formación de capital humano de forma presencial grupal, los certificados correspondientes a los estándares EC0107 Manejo de procesadores de Texto y EC0554 Trabajo en equipo lo tienen 6 profesores encuestados, solo 1 docente cuenta con los

certificados EC0366, EC0050, EC0362 relacionados con el diseño y desarrollo de cursos de formación y capacitación en línea.

Discusión

De acuerdo al TecNM “la formación docente es un elemento indispensable que permite vincular dos características fundamentales, el saber científico con los elementos psicopedagógicos para el acompañamiento y el logro del aprendizaje en la comunidad estudiantil con un enfoque incluyente” por lo que resulta vital se cuenten con los conocimientos y habilidades que brindan los Diplomados ofertados por el TecNM, y ante la tendencia a corto plazo de un sistema que combine clases presenciales y en línea, resulta aún más relevante contar con el Diplomado en Recursos Educativos Virtuales de Aprendizaje cuyo objetivo de acuerdo a Villanueva (2018) es “Fortalecer al personal docente en el uso de herramientas tecnológicas para el desarrollo y manejo de recursos educativos digitales, así como la configuración y diseño de cursos en ambientes virtuales de aprendizaje (Moodle), con la finalidad de realizar la estructura y contenido de un curso en línea y fortalecer la innovación en el aula”, por lo que se deberá programar a los docentes que aún no lo han acreditado o lo cursan actualmente. Otro hallazgo importante es que 1 docente no ha cursado ni acreditado ningún diplomado, además de que no participa en las Jornadas de Formación Docente del TecNM, es importante resaltar que casi el 80% de los docentes encuestados ha acreditado cursos de Moodle a un nivel avanzado, y además han participado como facilitadores cerca del 30% en el mismo nivel y 23% en nivel básico. En lo que respecta a las certificaciones se observa que aun cuando hay mucha participación en este proceso por parte de los docentes, en el caso de los estándares EC0366, EC0050, EC0362 relacionados con el diseño y desarrollo de cursos de formación y capacitación en línea solo 1 docente cuenta con ellos.

Conclusión

La COVID-19 desde marzo del 2020 no ha sido solo un tema de salud pública sino una situación que ha afecta la vida social, la economía, la política, la movilidad y, sin duda, la conectividad entre los profesores y estudiantes para la interacción en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Reimers y Schleicher, 2020), por ello la evaluación de las estrategias implementadas para dotar a los docentes con habilidades digitales que les permitan en primera instancia dar continuidad y posteriormente innovar en la práctica educativa es indispensable. En el estudio realizado se observa que en el PE de Ingeniería en Sistemas Computacionales del ITESCO cerca del 70% de los docentes cuenta con la formación brindada por el TecNM a través del Diplomado en Recursos Educativos Virtuales de Aprendizaje, por lo que se cuentan con habilidades de herramientas digitales y la configuración de cursos a través de la plataforma Moodle. La participación de la plantilla docente

de este PE en las Jornadas de Formación del TecNM a través de las plataformas virtuales ha contribuido a que gran cantidad de docentes a nivel nacional se beneficien de los conocimientos y experiencias impartidas, enriqueciendo a su vez la experiencia de los facilitadores. Es importante continuar con la estrategia de formación, reforzándola con la certificación en estándares del CONOCER como EC0366, EC0050, EC0362 relacionados con el diseño y desarrollo de cursos de formación y capacitación en línea, ya que actualmente solo el 7.6% cuenta con esta certificación. De igual forma se hace necesario identificar las razones por las cuales hay docentes que no han participado en las Jornadas de Capacitación para ofrecer una estrategia acorde a sus habilidades previas y desarrollar nuevas que impacten en un mejor desempeño en su práctica docente. Las formas de enseñanza implementadas por la emergencia para garantizar la continuidad académica han evolucionado y se consolidarán, ya que a pesar de la reapertura de las instituciones se debe estar preparados con un modelo híbrido ante cualquier eventualidad.

Referencias

- Blair, K. y F. Robinson. 2012. How Technology Can Change Assessment. UNESCO Institute for Information Technologies in Education, 12.
- Correa Cruz, L., López de Parra, L., Rojas Bahamón, M. J., & Arbeláez Campillo, D. (2017). Normatividad y estrategias de formación de profesores en tecnologías de la información y comunicación. *Academia y Virtualidad*, 10(1). <https://doi.org/10.18359/ravi.2199>
- Marco de competencias de los docentes en materia de TIC UNESCO - UNESCO Biblioteca Digital. (s/f). Recuperado el 2 de septiembre de 2021, de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371024>
- Peña Torbay, Gustavo. (2021). Educación Virtual vs Enseñanza Remota de Emergencia semejanzas y diferencias. Universidad Católica Andrés Bello. <https://postgrado.ucab.edu.ve/wp-content/uploads/sites/6/2021/03/EV-vs-ERE- Gustavo-Pena.pdf>
- Reimer, Fernando M & Schleicher, Andreas. (2020). Un marco para guiar una respuesta educativa a la pandemia del 2020 del COVID-19. Enseña Perú. https://globaled.gse.harvard.edu/files/geii/files/un_marco_para_guiar_una_respuesta_educativa_a_la_pandemia_del_2020_del_covid-19_.pdf
- Tecnológico Nacional de México. (2020). Estrategia de Continuidad Académica. https://www.tecnm.mx/?vista=TecNM_Virtual&tecnm_virtual=Acciones_Profesorado
- Villanueva Guzmán, Jorge Cein, Gómez Domínguez, Ezequiel, & Arias Peregrino, Víctor Manuel. (2018). Guía de Usuario Sistema de Registro y Seguimiento de Diplomados. Tecnológico Nacional de México. <https://diplomados.tecnm.mx/archivos/GuiaRegistro.pdf>

ESTRATEGIAS EMPRESARIALES, RETOS Y ACCIONES ANTE LA PANDEMIA COVID- 19: MUNICIPIO DE CAMPECHE

LETICIA DEL CARMEN SÁNCHEZ REBOLLEDO¹, RAMÓN ESPEJO REYES², SANDRA DOMÍNGUEZ PÉREZ³, EDITH BEATRIZ OLIVARES PÉREZ⁴

Resumen

Datos históricos aportados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través de los Censos Económicos, han demostrado la participación detonadora que tienen las micros, pequeñas y medianas empresas, a nivel local, regional y nacional. En el municipio de Campeche, los datos estadísticos declaran que el número de ellas se sitúan en el 36.6% respecto al número de establecimientos y el número de empleos generados en el mercado en un 31.3%, según INEGI 2013. El enfoque de la investigación es cuantitativo, tipo descriptivo y transversal; analiza las características del sector empresarial por actividad económica, perfiles empresariales, las estrategias y acciones empresariales adoptadas, ante situaciones que prevalecieron en el entorno interno y externo (Hernández-Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014). Así, como los factores y/o las condiciones que incidieron en la interacción empresarial y que a la vez favorecieron su permanencia en el mercado, ante la Pandemia del COVID-19, durante el periodo de marzo – diciembre 2020. El instrumento de investigación que se aplica es el diseñado por Posada, Aguilar y Peña (2016). La investigación aborda la teoría de sistema organizacional en el contexto del proceso del Sistema. Las variables analizadas son: Dirección, Finanzas, Producción/Operación, Innovación y Mercadotecnia. Las estrategias que los empresarios declaran como determinantes para lograr la permanencia durante la pandemia de COVID – 19, muestran una confiabilidad de Alfa de Cronbach de 0.97.

Palabras clave: Acciones, Estrategias Empresariales, Pandemia COVID- 19 y Retos

Introducción

A través de la historia se tienen datos que el ser humano desde su origen ha padecido enfermedades epidémicas que destruyeron pueblos, culturas y naciones; hechos históricos que al ser conocidos se percibían muy remotos ante los grandes

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Lerma (ITLERMA). Km 10 Carretera Campeche-Champotón, Lerma, Campeche. leticia.sr@lerma.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Lerma (ITLERMA). Km 10 Carretera Campeche-Champotón, Lerma, Campeche. ramon.er@lerma.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Lerma (ITLERMA). Km 10 Carretera Campeche-Champotón, Lerma, Campeche. sandra.dp@lerma.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Lerma (ITLERMA). Km 10 Carretera Campeche-Champotón, Lerma, Campeche. Edith.op@lerma.tecnm.mx

avances de la ciencia de la salud y la contribución de la innovación tecnológica que cada día se perfecciona, esfuerzos que han atenuado, en muchos de los casos, la propagación y prolongado el tiempo de vida bajo otros contextos; sin embargo, estos avances, los buenos deseos del hombre y entre otro de los casos, el poder de manipular la propia ciencia a través de la tecnología, no han erradicado la enfermedad como se pensó en un momento bajo la proclamación de la “Salud para Todos”, según la Organización Mundial de la Salud(2000). Muestra de ello, en pleno siglo XXI emerge el pánico de un enemigo mortal, “COVID -19”, que cimbró a todo el mundo por la rapidez de su propagación y al desconocimiento para tratar o atenuar el avance del virus letal. El 30 de marzo, México entró en emergencia sanitaria, lo que conllevó a la suspensión de actividades no esenciales y el cierre de fronteras, muchas empresas se vieron obligadas a suspender operaciones, quedándose sin ingresos por varias semanas; esto desencadenó una gran cantidad de despidos, disminución de la remuneración a los empleados y cierre definitivo de empresas. En el municipio de Campeche hasta el mes julio del 2021, la Secretaria de Salud reconoció que la curva epidémica se ha comportado de forma diferente a lo que acontece a nivel nacional, sin embargo, si se tiene un repunte importante de casos, no a la magnitud del año anterior, pero sí de manera más acelerada. Ante esta situación las autoridades implementaron las restricciones siguientes: Reducción al 50% de aforo en el transporte urbano y taxis, 40% en supermercados, hoteles y servicios de hospedaje, 35% en oficinas administrativas, 25% en centros comerciales, restaurantes, cocinas económicas y similares, el horario de apertura se ajustó de 13 a 23 horas; se limita los días y horarios para la venta de bebidas alcohólicas. El escenario de la crisis económica y sanitaria generado por la pandemia, ha situado a las micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, sean estas lucrativas o no, en un ambiente de perturbaciones tanto económicas, productivas, en la cadena de suministro y en el mercado. Este entorno despierta el interés por investigar los retos, acciones y estrategias que están predeterminando la permanencia de las micro y pequeñas empresas en el municipio de Campeche. Esto, derivado de los datos estadísticos que declaran que el número de ellas las sitúan en el 36.6% respecto al número de establecimientos y el número de empleos generados en el mercado en un porcentaje del 31.3%, según INEGI 2013, (municipio de Campeche).

Marco teórico

El surgimiento de la pandemia COVID 19, fue una explosión que impactó no solo a los seres humanos sino también a las organizaciones empresariales como entes sociales, de acuerdo con los autores Huang (2020) y Li (2020) (citados por Zu 2020) el llamado Covid-19 fue “Un brote en curso de la neumonía asociada a un nuevo

coronavirus, el síndrome respiratorio agudo severo (SARS) coronavirus 2, se originó en Wuhan, provincia de Hubei, China, en diciembre de 2019” (p.1).

Por lo que las empresas tuvieron que enfrentar retos de impactos inmediatos de la pandemia como son las siguientes según Bain.com (2020).

- Salud: ¿Cómo proteger la salud de trabajadores y clientes?
- Operatividad: ¿Cómo gestionar la ruptura de la cadena de suministro?, ¿cómo reaccionar ante la necesidad de cerrar puntos de venta u otros críticos dentro de las operaciones?
- Liquidez: ¿Cómo administrar las finanzas corporativas ante el impacto generado por la pandemia?, y de acuerdo con la Real Academia Española, reto m. “Objetivo o empeño difícil de llevar a cabo, y que constituye por ello un estímulo y un desafío para quien lo afronta”, por lo que para afrontar dichos retos se debiera de implementar estrategias las cuales debemos entender según Bayón (2019) como la búsqueda constante de un plan de negocios tendente a desarrollar y explotar aquellas ventajas competitivas de la organización que le permita diferenciarse de sus competidores existentes en un mercado global e inmediato, aprovechando las fortalezas estructurales y funcionales de la empresa, con un único y claro objetivo final: crear mayor valor para sus clientes.

Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo, está sustentado en la recolección y análisis estadísticos de datos obtenidos en el municipio de Campeche. Es de tipo descriptivo y transversal, porque analiza la características del sector empresarial por actividad económica, perfiles empresariales, las estrategias y acciones empresariales adoptadas, ante situaciones que prevalecieron en el entorno interno y externo, así como los factores y/o las condiciones que incidieron en la interacción empresarial y que a la vez favorecieron la permanencia en el mercado, ante la Pandemia del COVID-19, durante el periodo de marzo – diciembre 2020 (Sampieri, R. H. 2018).

El instrumento de investigación fue tomado de investigaciones previas de la red RELAYN, publicados en Posada, Aguilar y Peña (2016); el cual está integrado por 14 variables y 100 ítems, estructurados en tres contextos, referidos a la teoría de sistemas Organizacionales: Insumos, Procesos y Resultados del Sistema. La presente investigación abordará el contexto del proceso del Sistema. Las variables estudiadas son: Dirección, Finanzas, Producción/Operación, Innovación y Mercadotecnia; el instrumento consta de 31 ítems, tipo Likert, con cinco categorías de respuestas, en la que se califica la percepción favorable o desfavorable de las variables investigadas. Se agregó una encuesta de siete preguntas estructuradas

dirigidas a las acciones y/o medidas sanitarias y factores que incidieron con mayor frecuencia, durante el periodo de la pandemia COVID- 19 de marzo a diciembre 2020. El instrumento contiene datos generales de la empresa respecto a: Tipo de actividad, Antigüedad, Número de empleados, Razón social y Perfil del (la) empresario (a). La aplicación del instrumento fue en dos modalidades: a través de la herramienta de Google drive y en la modalidad presencial, en la aplicación participaron 50 estudiantes y tres integrantes del cuerpo académico de Gestión Empresarial del Tecnológico de Lerma. La captura y análisis de los datos se realizó a través del programa estadístico SPSS versión 28. La presentación de los resultados se realiza a través de tablas y gráficas estadísticas. En la tabla 1 se presenta la definición operacional de las variables.

Tabla 1. Definición operacional de las variables

Variable e Indicadores	Definición operacional
<p>Dirección</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Detección de nuevas tendencias y la competencia</i> 2. <i>Busqueda de fuentes de financiamiento</i> 3. <i>Prevención y disponibilidad de efectivo y las finanzas bancarias.</i> 4. <i>Reinversión económica.</i> 5. <i>Visión y misión empresarial compartida.</i> 6. <i>Planeación financiera oportuna.</i> 7. <i>Consultoría externa de expertos.</i> 	<p>Consiste en coordinar el trabajo de toda la empresa y sus áreas funcionales, así, como analizar el ambiente económico – comercial, político – social y tecnológico para desarrollar la estrategia rectora administrativa y gerencial en el tiempo y espacio, conforme a los recursos de la empresa, en términos de la visión basada en objetivos y metas a lograr, mediante el diagnóstico de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades del entorno interno y externo, Hernández y Palafox (2012, p. 287)</p>
<p>Finanzas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Disponibilidad financiera</i> 2. <i>Cartera de clientes</i> 3. <i>Registro y control de Inventario</i> 4. <i>Bienes Patrimoniales</i> 5. <i>Control en gastos y ventas</i> 6. <i>Registro y control con acreedores</i> 	<p>Es la parte de la economía que se encarga de la gestión y optimización de los flujos de dinero relacionados con las inversiones, la financiación y los demás cobros y pagos, (Amant, 2012, p.10)</p>
<p>Producción- operación</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Calidad en productos y/o servicios</i> 2. <i>Reducción de tiempos entre la solicitud del cliente y el de entrega del producto o servicio</i> 3. <i>Entrega del producto o servicio en tiempo y forma</i> 4. <i>Mejora en el producto y/o servicio para la satisfacción de cada cliente</i> 5. <i>Reducción de costos en las diversas áreas de la empresa</i> 	<p>La producción-operación son las acciones de transformación que hace la empresa a partir de recursos humanos, físicos y técnicos en productos que requieren los consumidores, Alcaraz (2015, p.132)</p>

<p>Innovación</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Participación de los empleados en la propuesta de mejora del producto y/o servicio 2. Ofrece productos y/o servicio a través de las redes sociales 3. Innovación en los productos y/o servicios que distinguen a la empresa 4. Inversión en aplicaciones tecnológicas para incrementar sus ventas 5. Inversión para innovar los productos y/o servicios que ofrece 	<p>Es el proceso que se realiza con un enfoque sistémico que requiere de asociaciones y vínculos entre las distintas áreas del conocimiento, para la implementación y el funcionamiento de mejoras en las formas de hacer las cosas sobre la base de ideas creativas y transformadoras y que busca siempre extrapolar dichas mejoras con éxito, al mercado, los productos, los procesos y los servicios para obtener un impacto económico, social o ambiental. Ochoa (2007, P.2)</p>
<p>Mercadotecnia</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ofrece buen servicio y/o producto a sus clientes 2. Fija precios de productos y/o servicios en función a sus clientes y la competencia 3. La distribución de sus productos es en forma directa (consumidor final) 4. Realiza actividades de publicidad y promoción de sus productos y/o servicios 5. Practica acciones concretas para propiciar la fidelidad del cliente 	<p>Conjunto de actividades que se realizan en una empresa económica, las cuales van encaminadas, hacia el logro de las metas de venta de sus productos y servicios, para obtener beneficios financieros a partir de la satisfacción plena de sus clientes, a fin de lograr su fidelidad. Hernández y Palafox (2012 P.300)</p>

La Muestra fue dirigida a 100, Micro y Pequeñas Empresas; se determinó por un muestreo de conveniencia debido a la situación de la pandemia; el único requisito para ser encuestado fue la permanencia en sus funciones empresariales, durante el periodo de marzo a diciembre del 2020.

Objetivo general

Determinar qué estrategias incidieron favorablemente en las acciones aplicadas por las MYPES en el municipio de Campeche, para lograr la permanencia y productividad en el mercado, ante la contingencia del COVID-19, durante el periodo de marzo a diciembre del 2020.

Objetivos específicos

1. Identificar las características del sector empresarial, por actividad económica de las 100, Micro y Pequeñas empresas encuestadas en el municipio de Campeche, durante el mes de enero del 2021.
2. Analizar las estrategias más valoradas por los empresarios para la toma de decisiones, ante las condiciones económicas, laborales y sanitarias que incurrieron durante la pandemia COVID- 19, en el periodo comprendido del mes de marzo a diciembre del 2020.

3. Determinar si las estrategias declaradas por los empresarios como favorables, para hacer frente a los retos y restricciones generados por la medida sanitaria de la pandemia COVID 19, contribuyen en lograr la permanencia y posicionamiento en el mercado competitivo, desde la perspectiva del enfoque de la teoría de sistemas organizacionales en lo relativo a los procesos del sistema.

Resultados

1. Las características identificadas en el sector empresarial por actividad económica de las 100, micro y pequeñas empresas, encuestadas en el municipio de Campeche, se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Características empresariales por actividad

Tipo de Actividad	Características Generales				% de empresas
	Antigüedad	Empleados	Razón social	Perfil del Empresario	
1. Industria alimentaria (bebidas y jarabes tortillerías, panaderías, purificadoras de agua)	De 10 a 20 años	De 10 a 15	Sociedad anónima	El 30% es Profesional. El 55% tiene nivel académico Medio Superior. El 15% tiene nivel académico Básico.	25%
2. Industria química (elaboración de productos de limpieza y sanitización, industrial y doméstica)	Más de 20 años	De 10 a 20	Persona Física	100% Profesional	5%
3. Servicios de preparación de alimentos y bebidas (restaurant, cocinas económicas, jugos, pizzerías, pastelería, etc.)	De 10 a 20 años	De 5 a 10	Persona Física	El 50% es Profesional. 35% tiene estudios de nivel medio superior. 15% sólo tiene estudios de nivel Básico	20%

4. Comercio (Misceláneas, abarrotes, zapaterías, farmacias, expendios de pollos y carnes frutas y verduras, papelería, impresiones y copias, ferreterías)	De 5 a 10 años	De 1 a 5	Persona Física	El 3% tiene nivel Profesional. El 62% cuenta con nivel académico Medio Superior. El 35% tiene estudios Básicos.	35%
5. Construcción	De 10 a 20 años	De 10 a 20	Sociedad Anónima	EL 45% cuenta con estudios Profesionales. El 55% carrera trunca.	5%
6. Otros Servicios: Personales (Consultoras, arrendadoras, clínicas de belleza, estéticas, lavanderías, veterinarias). Servicios de mantenimiento y/o reparación automovilística	De 5 a 10 años	De 1 a 5	Persona Física	El 15% cuenta con estudios Profesionales. El 35% tiene carrera profesional incompleta. El 50% cuenta con estudios técnicos especializados	10%

2. Las estrategias más valoradas por los empresarios en la toma de decisiones, ante las condiciones económicas, laborales y sanitarias que incurrieron durante la pandemia COVID- 19 en el periodo comprendido del mes de marzo a diciembre del 2020, se muestran en las gráficas 1, 2, 3, 4, y 5.

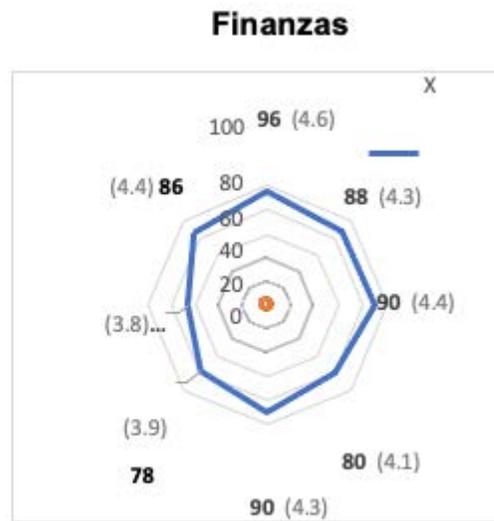
Los indicadores que se identifican con mayor valoración por estrategia, son los siguientes: En Dirección: Planeación anticipada de objetivos, gastos y costos, reinversión de las utilidades, disponibilidad financiera, tendencias de la competencia, cultura organizacional compartida y cumplimiento con las normas sanitarias; Finanzas: Autofinanciamiento, dependencia bancaria, movilidad de inventarios, Liquidez y rendimiento de capital contable; Producción- Operación: Calidad en los productos y/o servicios, adaptación en el producto o servicio para satisfacer a clientes, reducción de tiempo entrega entre el solicitado por el cliente y recibe el producto y/o servicio, entrega efectiva en tiempo y forma; Innovación: Inversión en innovación de aplicaciones tecnológicas, ofrece productos o servicios innovadores que distingan a la empresa, Promueve la creatividad entre sus empleados, ofrece sus productos o servicios a través de las redes sociales; Mercadotecnia: Ofrece

bienes o servicios de calidad, brinda un buen servicio a sus clientes, los precios de productos o servicios los fija en función a la competencia, realiza actividades de publicidad y promoción, realiza acciones concretas para promover la fidelidad de sus clientes con la empresa, existe competencia fuerte en la rama de su negocio.

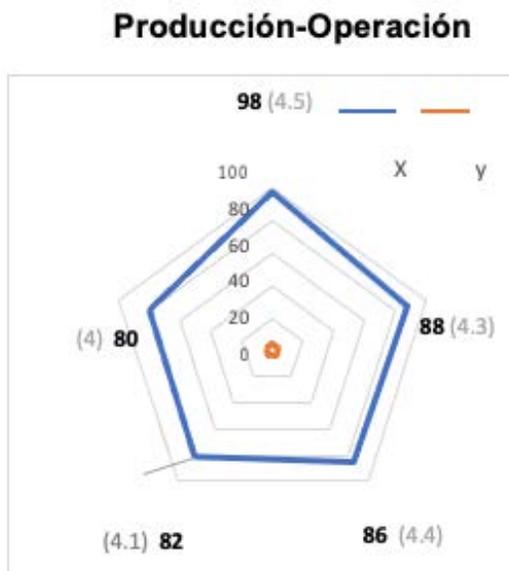
En la gráfica 6 se representan los datos concentrados (%) de las cinco estrategias analizadas



Gráfica 1. Estrategia Dirección.



Gráfica 2. Estrategia Finanzas



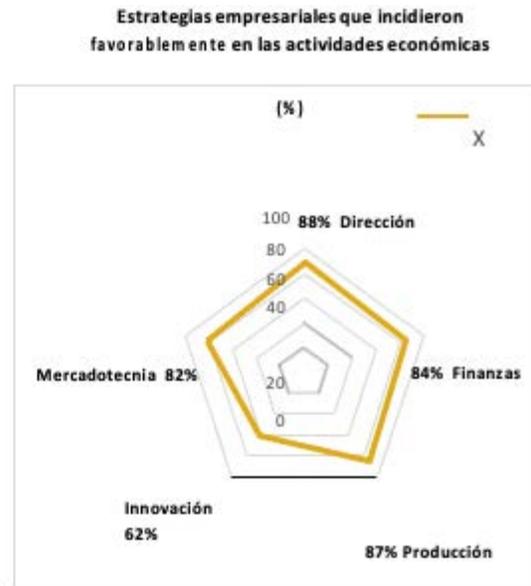
Gráfica 3. Estrategia Producción-Operación



Gráfica 4. Estrategia innovación



Gráfica 5. Estrategia Mercadotecnia



Gráfica 6. Resultados concentrados (%) de las Estrategias Empresariales analizadas

3. Para determinar si las estrategias declaradas por los empresarios, como favorables para hacer frente a los retos y restricciones generados por la medida sanitaria de la pandemia COVID 19, contribuyen en lograr la permanencia y posicionamiento en el mercado competitivo desde la perspectiva del enfoque de la teoría de sistemas organizacionales en lo relativo a los procesos del sistema; de acuerdo al cálculo de la media, la desviación estándar y la confiabilidad de Alfa de Cronbach de cada una de las estrategias e indicadores sustentados por los respectivos ítems, se determinó que existe un grado de confiabilidad en cada variable, y una tendencia de relación entre ellas como es la dirección 4.3, producción 4.2, finanzas 4.3, Mercadotecnia 4.2; solo la variable innovación con un valor de la media de 3.6. En la tabla 3 se muestran los resultados.

Otra de las condiciones que incidieron favorablemente en la toma de acciones y que permitieron a los empresarios permanecer ante la incertidumbre económica, social, política y cultural son: el perfil empresarial, los años de estar operando en el mercado competitivo, el grado académico, la visión empresarial y la experiencia, para hacer frente a los factores internos y externos del entorno ambiental, así como a enfrentar los diversos problemas entre los sujetos que interactúan en los **procesos productivos – operacionales** (la reinversión financiera, clientes internos, clientes externos, proveedores, acreedores, socios, (entre los más importantes). Ver tabla 4.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la media, la desviación estándar y la confiabilidad del Alfa de Cronbach de cada estrategia, (variable analizada).

Estrategia	Media	Desviación estándar	Alfa de Cronbach
Dirección	4.3	4.3	0.9767
Finanzas	4.2	4.2	0.9722
Producción – operación	4.3	4.3	0.9547
Innovación	3.6	3.6	0.9848
Mercadotecnia	4.2	4.2	0.9623

Tabla 4. Resultados de la encuesta complementaria, sobre las acciones y factores que incidieron con mayor frecuencia en la pandemia COVID – 19, durante el periodo de marzo a diciembre 2020

Pregunta	Respuestas
1. Días laborales en la empresa	El 65% trabajó entre 6 y 7 días. El 35% trabajó entre 5 y 6 días
2. Jornadas de trabajo	El 55% laboró entre 7 y 8 horas. El 45% trabajo entre 6 y 7 horas
3. Medidas sanitarias que proporcionó a sus empleados	EL 100% proporcionó gel antibacterial. El 35% suministró a su personal, cubrebocas y cofia. El 10 % brindó caretas.
4. Permanencia en la fuerza laboral	El 45% conservó a sus empleados. El 35% aplicó rotación de personal. El 20% redujo el número de empleados.
5. Medidas sanitarias adoptadas en la empresa	Restricción de número de clientes, toma de temperatura, definición de áreas de acceso y salidas, dispositivo de gel antibacterial, tapete sanitario, sana distancia, uso obligatorio de cubre boca; áreas delimitadas entre el cliente y empleados.
Factores externos	Factores internos
1. Incremento en el precio: en Materia prima e insumos.	1. Inversión en gastos de seguridad sanitaria
2. Reducción en las ventas	2. Ausentismo (personal con signos de contagio del virus); y retardos del personal (como consecuencia del servicio de transporte restringido)
3. Las condiciones económicas del país	3. Inversión en equipo de reparto.
4. La falta de apoyos financieros	4. Desconocimiento en el manejo de tecnologías.
5. Retardo en la entrega de materia prima y/o insumos, por parte de proveedores	5. Inversión en aplicaciones tecnológicas para promover e incrementar las ventas.

Discusión

Los resultados analizados en el tema de permanencia de las micro, pequeñas y medianas empresas, ante los retos de restricción de la oferta y/o acceso (medidas sanitarias) y la repercusión económica, se mencionan en las investigaciones: “Reacciones de empresarios y emprendedores, (Carmona, Solís, Marín y Martínez, 2020) Desafíos de una empresa familiar, (Ceballos, 2020) y Algunos Estragos económicos., (Robles, Aguilar, Jiménez, 2020). Todos, con referencia a la afectación de la pandemia COVID 19; demuestran que el perfil empresarial, la experiencia en el entorno del mercado, la visión y el nivel académico del empresario, convergen con la habilidad en la aplicación de estrategias de dirección, finanzas, mercado y producción; así como el cumplimiento de las condiciones o situaciones que implican las medidas sanitarias para asegurar la continuidad operativa, la protección de empleados, clientes, proveedores; todo ello se conjuga para favorecer la permanencia de las micro y pequeñas empresas. Cabe hacer mención que las estrategias y acciones pueden mejorarse como es de mencionar, la innovación tecnológica para que la reactivación económica sea paulatina, pero a la vez más consistente.

Conclusiones

Los resultados y la valorización de los hallazgos encontrados en contextos similares e incertidumbres circunstanciales, pueden ser aportes para reconstruir estrategias y repuntar nuevos indicadores. Así, como asumir un criterio proactivo de responsabilidad, competitividad e innovación; estar alerta al cambio constante y trabajar de la mano las expectativas de posicionamiento del hoy, que favorezca retomar el camino al éxito bajo el esquema de la nueva normalidad.

Referencias

- Alcaraz, R. (2015). El emprendedor de éxito. Editorial Mc Graw Hill
- Amat, O (2012). Contabilidad y finanzas para Dummies. Barcelona: Grupo Planeta Bain.com. 2021. COVID-19: Retos y Oportunidades para el Sector Empresarial Mexicano. [en línea] Disponible en: https://www.bain.com/contentassets/a751c0c21a1f497388e892b57fd5a8aa/covid-19-retos-y-oportunidades-para-el-sector-empresarial-mexicano_.pdf [Consultado el 31 de julio de 2021].
- Bayón, P.J. (2019). Fundamentos de estrategias, primera edición., editorial elearning S.L.
- Carmona-Serrano M., Solís-Martínez A., Carmona Martínez D., Marín-Ibarra R.(2020). Reacción de los empresarios y emprendedores ante el COVID-19. Tomo 13 p. 294. Elibro online con ISSN 1946-5351, VOL. 12.No. 7, 2020
- Ceballos-Vidal A., Ojeda-López R. N. (2020). Desafíos de una empresa familiar Yucateca al enfrentar una pandemia. Tomo 3, p. 355. Elibro online con ISSN 1946-5351, VOL. 12.No. 7, 2020.
- Ochoa Ávila, M. B., Valdés Soa, M., & Quevedo Aballe, Y. (2007). Innovación, tecnología y gestión tecnológica. *Acimed*, 16(4), pp. 77-88. Recuperado en 03 de agosto de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352007001000008&lng=es&tlng=es
- Palafox de Anda, G., & Hernández y Rodríguez, S. (2012). *Administración: Teoría, proceso, áreas funcionales y estrategias para la competitividad*. Editorial Mc Graw Hill.
- Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. <<https://dle.rae.es>> Consultado el 31 de julio de 2021].
- Robles-Soto S., Aguilar-Torres E., Jiménez-Díaz R., Ortiz-Romero L. H. (2020). Algunos estragos económicos del COVID 19 en México 2020. Tomo 13 p. 1776. Elibro online con ISSN 1946-5351, VOL. 12.No. 7, 2020
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México.Editorial McGraw Hill.
- Velázquez, R. P., Rascón, O. C. A., & Ahumada, N. B. P. (2016). *Análisis sistémico de la micro y pequeña empresa en México*. Pearson Educación.
- Zu, Z. Y., Jiang, M. D., Xu, P. P., Chen, W., Ni, Q. Q., Lu, G. M., & Zhang, L. J. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19): a perspective from China. *Radiology*, 296(2), E15-E25.

MODELO DE NEGOCIO DISRUPTIVO COMO MEDIDA DE FORTALECIMIENTO ECONÓMICO EN LAS MICRO, PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS

MARIO ENRIQUE MARTÍNEZ SANTIAGO¹; MARTIN MANCILLA GÓMEZ², YARA ANAHÍ JIMÉNEZ NIETO³, AGUSTÍN LAGUNES DOMÍNGUEZ⁴

Resumen

La presente propuesta de investigación se basa en exponer los fundamentos del modelo de negocio disruptivo enfocado en las micro, pequeñas y medianas empresas, lo anterior es con la finalidad de conocer los procedimientos que ayuden a fortalecer dicho sector, las micro, pequeñas y medianas empresas son el motor que mueve a la economía nacional. Según el INEGI (2020) representan nueve de cada 10 unidades económicas (hay más de cuatro millones), generan 72% del empleo formal y aportan 52% del crecimiento económico nacional.

El tratamiento de esta propuesta de investigación es de primer nivel de profundidad, tipo exploratoria, el sustento del tema se basa en fuentes confiables. Aplicar esta investigación permitirá tener un panorama más amplio sobre los modelos de negocio e impulsar el sector de las micro, pequeñas y medianas empresas mediante el uso de estrategias para su óptimo desarrollo, de tal modo que los empresarios sean capaces de tomar el control y desarrollar de manera correcta una toma de decisiones y dar solución a problemas económicos.

Palabras clave: disrupción, economía, company, business, strategy

Introducción

La razón de esta propuesta de investigación es la de conocer a los modelos de negocio disruptivos como medida y estrategia de fortalecimiento económico en las micro pequeñas y medianas empresas dirigiéndose hacia un nuevo enfoque de cultura digital.

Actualmente la mayoría de los negocios se apoyan de manera total o parcial en los canales digitales. Es algo inevitable. La penetración masiva de las tecnologías de la información en nuestro día a día no es ajena a las grandes compañías, a las micro pequeñas y medianas empresas ni a cualquier negocio

¹ Universidad Veracruzana (UV), km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz México. zS20000064@estudiantes.uv.mx

² Universidad Veracruzana (UV), km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz México.

³ Universidad Veracruzana (UV), km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz México.

⁴ Universidad Veracruzana (UV), km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio Ixtaczoquitlán, Veracruz México.

de nueva creación. Los hábitos de consumo y de acceso a la información y a los productos y servicios han cambiado enormemente en los últimos 20 años, así como los hábitos de compra, y ello ha generado nuevos modelos de negocio basados de manera total o parcial en los canales digitales. Hoy es prácticamente impensable que un negocio no los tenga en cuenta como un recurso clave dentro de su operativa diaria. De hecho, para muchos negocios actuales, el canal digital es su principal recurso clave (Tayar, 2018).

Materiales y Métodos

Tipo de estudio

El tratamiento de esta propuesta de investigación es de carácter explicativo, derivado de que se requiere conocer la comprobación de la hipótesis antes mencionada por medio de una alternativa de estudio como solución al problema existente identificado, mediante un enfoque cualitativo dado que solamente se aplicara la viabilidad de los modelos de negocio explicados en la variable establecida.

Método de investigación

- 1) Exploratoria de primer nivel de profundidad
- 2) Inductivo-deductivo
- 3) De análisis

Fuentes y técnicas para recopilación de información

Fuentes secundaria

- Revistas electrónicas
- Portales institucionales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Secretaria de Economía)
- Bases de datos
- Informes
- Revistas
- Libros

Tratamiento de la información

En el entorno actual la forma de realizar negocios demanda nuevos modelos de compra y consumo que requieren digitalización de procesos e innovación en sus productos y/o servicios, logrando con ello competitividad y mejora continua.

El objeto de estudio del presente estado de arte se enfoca en las micro, pequeñas y medianas empresas, debido a que una de sus características principales es la de generar indicadores económicos específicos sobre la población económicamente activa, aunado a su contribución en el desarrollo económico (Ballina,2015)

El sector de las micro, pequeñas y medianas empresas, fortalecen al sector privado, diversificando su actividad económica, innovación y flexibilidad, lo anterior es con el fin de adaptarse a los cambios de la oferta y la demanda, así como su participación en la cadena de valor de negocios internacionales como una característica homologada en las economías del mundo (Pinto y Monsalve, 2020).

En la actualidad las micro, pequeñas y medianas empresas interactúan en un mercado abierto, lo que conlleva a cambios en los subsistemas productivos, tecnológicos y financieros. Aquellas empresas que no respondan en tiempo y forma a estos cambios no subsistirán en su entorno (López, Padilla & Quintero, 2015)

Es indispensable considerar cómo influye el tamaño de la empresa y su productividad, analizando las actividades de la pequeña empresa es más productiva que la microempresa y la mediana empresa es más productiva que ambas, la gran empresa es por tanto la más productiva; más allá de lo que implica la productividad, es la gran aportación al empleo lo que hace al sector de las micro, pequeñas y medianas empresas fundamentales en las economías (López, Padilla & Quintero, 2015).

Aquella empresa que en su interior representa un menor tamaño con respecto al número de personal ocupado, posee características diferenciadas que ameritan tratamientos y estudios particulares. Es pertinente considerar las generalidades y sus especificaciones al interior de las micros, pequeñas y medianas empresas, y también que la expansión de una empresa no es independiente del tipo de sector al que pertenece ni a su cultura ni al territorio, por lo que la influencia del contexto es determinante (Chauca, 2015)

Actualmente el aprovechamiento de las tecnologías de información en las micro, pequeñas y medianas empresas son una herramienta básica y esencial para un mejor desarrollo operacional, administrativo en las empresas y para la toma de decisiones financieras (López, Padilla & Quintero, 2015).

Independientemente de sus giros las empresas son indispensables en el desarrollo económico de cualquier país dado que, si no existieran, los satisfactores de calidad para la sociedad, fuentes de empleo, el gobierno no contaría con los impuestos, entre otros, estas aplican procesos de producción que tienen como efecto un producto que consume la sociedad, proporcionan un servicio que también necesita la sociedad, para que este sector desarrolle actividades innovadoras deberán adaptarse a los constantes cambios que se presentan y que van de la mano con el enfoque digital, dejando atrás procesos obsoletos y generando cadena de valor

Un número limitado de empresas aprovechan las innovaciones de comercialización para incursionar en un mercado globalizado; sus necesidades de operación se enfocan en realizar mejoras en sus productos, procesos o

servicios que les permitan posicionarse en el mercado local (Olea, Valenzuela & Navarrete, 2017).

Un factor indispensable a considerar en el desarrollo económico es el tema del emprendimiento el cual en los últimos años ha tenido un fuerte impulso derivado de la implementación de políticas públicas y empresariales, se justifica que es una vía apropiada de fortalecimiento empresarial del país y contribuye en el dinamismo de mercados laborales, las distintas iniciativas de emprendimiento se enfocan a fortalecer el segmento de las micro, pequeña y medianas empresas (Varela y Ramirez, 2019).

Modelos de negocio

El modelo de negocio es un instrumento que expresa la lógica de un negocio de manera concreta y concisa, analiza la relación negocio-cliente y los factores que forman parte de su estructura y su funcionamiento siendo así un enfoque sistemático (Menchaca, 2019)

Además, especifica las bases sobre las que una empresa crea, proporciona y capta valor.

Teniendo en cuenta a Rappa (2000) y Basch (2002), indica que los modelos de negocios en internet se agrupan en las siguientes categorías:

- Prestación de servicios se consideran los primeros en iniciarse debido a que se relacionan con el desarrollo de la infraestructura de internet.
- Infomediario basado en ofrecer información tanto de vendedores como de compradores.
- Bróker integran la cadena de valor que gestionan plataformas de colaboración empresarial en línea
- Marketing interactivo las empresas crean una comunidad virtual de consumidores y socios fomentando el comercio electrónico (Marquina,2016)

El artículo e-Business Innovation Conceptual Model: Towards a Reference Framework for SME's puntualiza que el modelo de negocio describe cómo una organización por medio de la ejecución de planes crea, entrega, y captura valor. Este proceso es parte de la estrategia empresarial (Mejía, 2017)

Invertir en proyectos de emprendimiento tiene como ventaja satisfacer las necesidades de potenciales clientes en ámbitos como educación, vestuario, alimentación, salud, habitación, cultura y entretenimiento, como resultado se originan nuevos productos y servicios o puede modificar los existentes. El emprendimiento se puede potencializar en el aprovechamiento de nueva tecnología, sistemas de producción, puntos de venta o nuevas fuentes de materia prima o innovarlos. Las ideas de los emprendedores solucionan los problemas y satisfacen necesidades que surgen empresas privadas, instituciones públicas, así como en otros sectores de la sociedad (Moreno , 2016)

Un concepto prioritario que debe analizarse en el tema de investigación es de la economía digital la cual se basa en el uso intensivo de información para agilizar los procesos comerciales, un nuevo enfoque de organización está basado en el intercambio de información comercial, requiriendo con ello la creación de redes empresariales de comercio, la economía digital otorga a diversas tecnologías radicales un peso decisivo en los ecosistemas de emprendimiento e innovación lo que, origina un efecto disruptivo sobre las industrias existentes y los modelos de negocio prevalecientes (Marquina, 2016).

Independientemente del giro o tipo de empresa se necesita un modelo de negocio apropiado, sobre todo en los casos de aquellas de nueva creación. La innovación no solamente debe basarse en el producto o servicio, sino en el propio modelo de negocio, que convierte la novedad en valor económico.

Un modelo de negocio enriquece en aspectos de estudio, que incluyen economía, emprendimiento, finanzas, marketing, operaciones y estrategia (Confederación Española de la Pequeña y Mediana Empresa, CEPYME, 2020).

La estructura de un modelo de negocio se basa en un plan lógico para llevar un producto o servicio al mercado y obtener un beneficio. La innovación tiene que está presente en todas las empresas y en sus respectivos modelos de negocio con nuevas formas de crear y capturar valor para sus potenciales clientes (Magadán & Rivas, 2018).

Disrupción de negocios

El ecosistema emprendedor mexicano es un sector potencial para el aprovechamiento de innovación disruptiva debido a cuenta con un buen nivel de inversión y un mercado ávido de soluciones para problemáticas y necesidades no resueltas por las grandes marcas o por el sector público.

En la opinión de Austria (Austria, 2017) la innovación disruptiva consiste en cubrir con tecnología algunas necesidades no satisfechas ofreciendo nuevos modelos de negocio, ejemplos como Uber, WhatsApp, Amazon y Apple estas compañías tienen algo en común, han desarrollado tecnologías que reducen los costos de bienes o servicios.

La disrupción siempre ha estado presente desde la creación de telares industriales para tejer, la imprenta de Gutenberg, la desmontadora de algodón de Whitney, el internet, etcétera.

Los modelos de negocio descritos por Cook (2017) en referencia a disrupción tecnológica: Uber aumentó el número de proveedores de transporte privado disponibles para los usuarios, la plataforma de mensajería instantánea WhatsApp mejoró el acceso a la comunicación móvil al reducir los precios de los mensajes, por su parte Amazon innovo al comercio de bienes a precios más bajos, por su parte Apple, desde sus orígenes, permitió que las personas comunes tuvieran una computadora propia.

Es de importancia definir lo que es una Startup, es un modelo de negocio escalable, hace uso de tecnologías digitales, la escalabilidad, que tiene que ver con el crecimiento potencial de la empresa, tiene la capacidad de adquirir usuarios de manera exponencial, con medios de distribución que le permitan llegar a un número mayor de usuarios y de clientes en un nicho de mercado, así como una venta que no sea lineal (Dorantes, 2018).

En el desarrollo tecnológico y la innovación las empresas deben realizar acciones complementarias de aprendizaje sobre la tecnología a través de procedimientos de búsqueda para mejorar la eficiencia productiva, generar nuevos productos, procesos, métodos de organización o servicios mejorando los ya existentes (Mendoza & Valenzuela , 2015).

El manejo de grandes volúmenes de datos y aprendizaje automático harán que a mediano plazo sea posible automatizar muchas tareas que eran difíciles de automatizar en el pasado, la robótica puede afectar a los sectores industriales de la economía de manera diferente, aunado a otros sectores de forma diferente (Mercader, 2017).

Consultando el artículo Influence of information systems on organizational results (Abrego, Sanchez & Medina , 2017) consideran que los sistemas de información (SI) constituyen el principal ámbito de estudio en el área de organización de empresas, ocasionado por la necesidad de identificar su valor empresarial.

Considero al comercio electrónico como un pilar fundamental del factor de la competitividad en el nuevo enfoque técnico-económico basado en la información, con esto requerimos transformaciones con enfoques socio-institucionales al interior de las empresas, pero también de los entornos externos en que estas operan.

El comercio electrónico conlleva el diseño de políticas públicas que fomentan su uso y asimilación, en materia económica los gobiernos adecuaran sus políticas e instituciones para crear un marco favorable de aprovechamiento, lo anterior para afrontar los nuevos retos económicos-comerciales que se presenten (Marquina, 2016).

Resultados y Discusión

Desde el punto de vista de Marquina (2016) describe que el crear nuevos modelos de negocio, impulsan y potencializan el uso de internet las empresas de telecomunicaciones, equipos y programas informáticos, los gobiernos y organismos internacionales relacionados con el desarrollo económico, lo anterior es con el único fin de incrementar el consumo de bienes y servicios así como incrementar el mercado de aquellas empresas que han encontrado en internet una oportunidad para generar ingresos al ofrecer servicios y/o productos innovadores que se sustentan con esta tecnología, así como la creación de nuevos empleos.

En la actualidad toda organización debe priorizar sus actividades a través de la innovación, dejando atrás a los factores que no forman parte de su sistema o los obstaculizan, porque los desconocen y suponen que su implementación es muy difícil (Sarmiento, Nava & Carro , 2018).

El constante cambio tecnológico que estamos presenciando fomenta la transformación disruptiva en los modos y formas de entender en un futuro próximo la idea de trabajo, la incorporación de la máquina como elemento esencial del sistema productivo y cuya evolución se ha caracterizado por un desarrollo tecnológico progresivo en el que cada proceso es más potente y veloz que el anterior.

Conclusión

Los avances tecnológicos en la actualidad representan una ventaja competitiva para el sector de las micro, pequeñas y medianas empresas. Al enfocarse en modelos de negocio disruptivos apoyados en el uso de tecnologías les permitirá a mediano plazo afrontar los retos que se les vayan presentando, por lo que la presente propuesta aborda temas en ámbitos de modelos de negocio, disrupción, generalidades básicas del sector, lo que permite tener un conocimiento previo del tema.

Referencias

- Abrego, Sanchez & Medina . (31 de Marzo de 2017). Contaduría y Administración. Obtenido de Influence of information systems on organizational results: <http://www.cya.unam.mx/index.php/cya/article/view/1461/1028>
- Aguila, M. y. (6 de Febrero de 2020). Entrepreneur. Obtenido de <https://www.entrepreneur.com/article/345975>
- Aiteco Consultores Desarrollo y Gestión. (03 de Diciembre de 2019). Obtenido de Aiteco Consultores Desarrollo y Gestión: <https://www.aiteco.com/teoria-de-la-ruta-meta/>
- Austria, X. (14 de Agosto de 2017). Entrepreneur. Obtenido de 5 pasos para hacer innovación disruptiva y crecer: <https://www.entrepreneur.com/article/297875>
- Ballina, F. (20 de Junio de 2015). Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía. Obtenido de <https://www.probdes.iiec.unam.mx/index.php/pde/article/view/52629/46831>
- Bancomext. (01 de Febrero de 2021). Bancomext. Obtenido de <https://www.bancomext.com/>
- Bind erp. (1 de Febrero de 2021). Obtenido de <https://blog.bind.com.mx/tipos-de-indicadores>
- Calderón & Hernandez. (3 de Diciembre de 2016). Contaduría y Administración. Obtenido de Economic integration, economic crises and economic: <http://www.cya.unam.mx/index.php/cya/article/view/1347/1014>
- Chauca, P. (7 de Enero de 2015). Repositorio Institucional de la Universidad de Guanajuato. Micro y pequeña empresa, actores sociales y contextos desde la perspectiva del desarrollo local. Obtenido de <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/888>
- Confederación Española de la Pequeña y Mediana Empresa, CEPYME. (19 de 1 de 2020). CEPYME. Obtenido de https://cepymenews.es/heurafoods-idoven-nantek-bdeo_app-saalggeomechanics-berdac-ganan-premios-emprededor-xxi
- Cook, S. (30 de Mayo de 2017). Entrepreneur. Obtenido de Lecciones de disrupción de Amazon y Apple: <https://www.entrepreneur.com/article/268304>
- Dan, Qu, Liu, & Zhang. (14 de Abril de 2014). Journal of Applied Research and Techonology. Obtenido de Price and Service Competition in the Supply Chain with both Pure Play Internet and Strong Bricks-and-Mortar Retailers: [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)72337-5](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)72337-5)
- Dorantes, R. (22 de Agosto de 2018). Entrepreneur. Obtenido de ¿Qué es una startup?: <https://www.entrepreneur.com/article/304376>

- Gavilán, I. . (2019). La carrera digital. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/113119?page=256>
- Guerra, J. F. (2009). Modelo de negocios, visión integradora entre compromiso social, rentabilidad y asociación empresarial. *Administracion y Organizaciones*, 92-111.
- INEGI. (25 de Junio de 2020). Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/MYPI MES20.pdf>
- Jardiel, H. A. (2013). *Tecnologías de información para los negocios en la era del conocimiento*. Obtenido de Editorial Digital Tecnológico de Monterrey: www.ebookstec.com
- López, Padilla & Quintero. (01 de Abril de 2015). *Las micro, pequeñas y medianas empresas en el desarrollo económico, cultural y tecnológico de México*. Ciudad de México: Miguel Angel Porrua. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/38768?page=105>.
- Magadán & Rivas. (18 de Diciembre de 2018). *Digitalización y Modelos de Negocio en la Industria Editorial Española*. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242019000100063>
- Marquina, S. M. (2016). *Biblioteca Juridica Virtual Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Jurídicas: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/7/3380/7.pdf>
- Mejía, J. (23 de Octubre de 2017). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento,: [doi:http://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2017.15.62590](http://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2017.15.62590)
- Menchaca, R. (2019). Plan y Modelo de Negocios. *Jovenes en la ciencia Revista de divulgación de la ciencia*, 1-10.
- Mendoza & Valenzuela . (2015). Aprendizaje, innovación y gestión tecnológica en la pequeña empresa. Un estudio de las industrias metalmeccánica y de tecnologías de información en Sonora. *Contaduría y Administración* (59) 4., 253-284.
- Mercader, J. (2017). *Revista De La Facultad De Derecho De México*. Obtenido de El impacto de la robótica y el futuro del trabajo: [doi:http://dx.doi.org/10.22201/fder.24488933e.2017.269.62438](http://dx.doi.org/10.22201/fder.24488933e.2017.269.62438)
- Monroy y Aguila. (6 de Febrero de 2020). *Entrepreneur*. Obtenido de <https://www.entrepreneur.com/article/345975>
- Moreno , T. (2016). *Emprendimiento y plan de negocio*. Santiago de Chile: RIL editores. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/bibliotecauv/titulos/67489>.
- OCDE. (1 de Febrero de 2021). Obtenido de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/laspymesestanimpulsando elcrecim ientodelemplo.htm>

- Olea, Valenzuela & Navarrete. (11 de Diciembre de 2017). Contaduría Y Administración, 63(1). Obtenido de DOI <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1069>
- Pérez Hernández, C. L. (21 de Febrero de 2017). Contaduría Y Administración. Obtenido de doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2017.01.002>
- Pinto & Monsalve. (22 de Mayo de 2020). Revista Gestión y Desarrollo Libre. Obtenido de Modelo de toma de decisiones en las micro, pequeñas y medianas empresas: <http://www.unilibrecucuta.edu.co/ojs/index.php/gestionyd/article/view/490/460#>
- Piqueras, C. (14 de Marzo de 2018). People acciona. Obtenido de El desarrollo del liderazgo en la empresa: <https://people.acciona.com/es/cultura-organizacional/el-desarrollo-del-liderazgo-en-la-empresa/#:~:text=Conocimientos%2C%20habilidades%20y%20actitudes,predisp%20osici%C3%B3n%20frente%20a%20una%20situaci%C3%B3n>
- Sarmiento Paredes, S. N. (27 de Junio de 2018). Contaduría y Administración . Obtenido de <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1268>
- Sarmiento, Nava & Carro. (27 de Junio de 2018). Contaduría y Administración. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1268>
- Tayar, L. (2018). Obtenido de CRO: diseño y desarrollo de negocios digitales.: <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/122926?page=49>
- Uribe , E. (14 de Noviembre de 2019). Entrepreneur. Obtenido de <https://www.entrepreneur.com/article/342205>
- Varela y Ramirez. (2019). Emprendimiento empresarial, inversión en I+D y marco institucional en México. 135-153.
- Zott, C. &. (2016). ¿Cómo innovar en modelos de negocio? IEEM Revista de Negocios, 58-62.
- Zuccherino, S. (2016). Social Media Marketing: la revolución de los negocios y la comunicación digital. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/116713?page=43>

ANÁLISIS DEL PROTOCOLO DE CONTROL SANITARIO COVID-19, EN MÉDICA ESPECIALIZADA JUNO DOCTORS. UN ESTUDIO DE CASO

MARTIN MARQUEZ ESPINOZA¹, ANGÉLICA DEL CARMEN LÓPEZ TOTO², ALESSANDRA ALFONSO UTRERA³

Resumen

El SARS–COV- 2 es un virus que inició su propagación en el año 2019 Wuhan ciudad en China, este se ha extendido por todo el mundo, siendo altamente contagioso y creando la primera pandemia del siglo XXI, cambiando de esta forma la convivencia entre las personas, así como, los medios y sistemas que se han tenido que adaptar en cuidados de higiene y seguridad sanitaria. Hoy en día las empresas tienen que implementar protocolos de seguridad en sus operaciones cotidianas. El presente análisis refleja un estudio de caso de la empresa médica “Juno Doctors” el cual se encuentra ubicado Av.

20 de noviembre 787, Salvador Díaz Mirón, 91700 Veracruz, Ver. A pesar de ser un consultorio este no contaba con las correctas medidas de higiene y seguridad ni tenía el material adecuado para reducir el riesgo de propagación del virus entre el personal y de los pacientes que acuden a consulta. Por este motivo y como medida emergente se implementan estrategias inmediatas de sensibilidad y conciencia en tres ejes: el primero dirigido al personal interno para que hiciera conciencia sobre la importancia de cuidarse ante el virus, segundo se implementaron medidas de control sanitario en los consultorios, y por ultimo garantizar la seguridad de los pacientes al acudir con confianza y siguiendo normas adecuadas de uso de tapetes sanitizantes, sanitizantes corporales, mantener un máximo de personas en el área de recepción como en los consultorios y la disposición de sana distancia dictada por las instituciones federales de salud.

Palabras clave: Protocolo sanitario, COVID-19, SARS–COV- 2, virus, higiene, sana distancia, Wuhan China.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, (ITSAV), Escolleras norte S/N Col. La Trocha, C.P. 95250 Alvarado, Veracruz. mark-es.96@itsav.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, (ITSAV), Escolleras norte S/N Col. La Trocha, C.P. 95250 Alvarado, Veracruz. lopeztoto@itsav.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, (ITSAV), Escolleras norte S/N Col. La Trocha, C.P. 95250 Alvarado, Veracruz. alessandra.alfonso.5@gmail.com

Introducción

En la empresa de médica especializada Juno Doctor con ubicación en Av. 20 de noviembre 787, Salvador Díaz Mirón, 91700 Veracruz, Ver. Tiene por objetivo mejorar las medidas de higiene y seguridad que se habían aplicado con anterioridad.

Actualmente vivimos con una pandemia por la enfermedad de coronavirus (COVID-19) es una enfermedad infecciosa provocada por el virus SARS-CoV-2, al ser altamente contagiosa se tuvo que cambiar la manera en que las personas tenían contacto físico, además de tener que implementar las medidas de higiene y seguridad en su rutina diaria en las empresas, esto con el fin de disminuir contagios en la población. Actualmente ya se cuenta con una vacuna para el COVID-19 que ayuda a disminuir el número de mortalidad, a pesar de esto, aún es posible que existan casos de contagio y por eso es de suma importancia que se aplique el control sanitario para salvaguardar el bienestar del personal interno de la empresa, así como sus clientes.

Este reporte tiene como objetivo realizar un diseño del plan de capacitación en el protocolo de control sanitario del COVID-19, como medida de seguridad al interior de los sistemas de comercialización en los consultorios de médica especializada Juno Doctors.

Al implementar correctamente las medidas de higiene y seguridad ayuda a que la empresa sea un lugar más seguro para los trabajadores, así como los pacientes al acudir a sus consultas, además que le da mejor imagen a la empresa por cumplir con las normas de higiene y seguridad, a su vez ayuda a atraer clientes potenciales para que acudan a su consulta médica generando mayores ganancias económicas.

Metodología

Como metodología de la investigación se denomina el conjunto de procedimientos y técnicas que se aplican de manera ordenada y sistemática en la realización de un estudio. (Coelho, 2020)

Método de Investigación es el procedimiento riguroso, formulado de una manera lógica, que el investigador debe seguir en la adquisición del conocimiento. “El método lo constituye el conjunto de procesos que el hombre debe emprender en la investigación y demostración de la verdad” (Hidalgo, 2017)

La metodología del estudio busca determinar las olas de contagio en la población y cuáles son las afectaciones que se tuvieron al comienzo de la pandemia de COVID-19, así se podrá determinar las medidas de higiene y seguridad adecuadas para aplicar en la empresa médica, esto se realizó con un grupo de trabajadores que conforman el personal interno de médica especializada Juno Doctors, los resultados obtenidos se categorizaron de forma general.

Se utilizó una muestra de 24 trabajadores entrevistados el cual también se tomó como población total para el estudio, este se integra por 15 especialistas hombres de un aproximado de 23 a 35 años y de 9 especialistas mujeres de un aproximado de 23 a 33 años, nuestro rango de edad es de 23 a 35 años. Para poder llevar a cabo el estudio se hizo una encuesta como instrumento de evaluación la cual contiene variables sobre las medidas de higiene y seguridad que tenía la empresa y cuáles eran para la protección del personal interno como los pacientes que acuden a sus consultas, así como las afectaciones que tuvieron con la pandemia. Mediante las observaciones que se hicieron durante las consultas dio un diagnóstico sobre las carencias que tenía la empresa en cuanto a la higiene y seguridad que le brindaba al personal interno, así como a los pacientes, por este motivo es crucial que se haga conciencia sobre portar y tener los materiales adecuados y seguir las medidas de seguridad adecuadas que están estipuladas por las instituciones federales de salud.

Se realizaron mejorías el protocolo de higiene y seguridad que tenían en la empresa se realizó una campaña para el personal interno haciendo que tomen conciencia sobre la importancia de cuidarse y llevar a cabo las medidas necesarias para evitar más contagios, se realizó un cronograma de actividades el cual ayudaría a seguir un orden en las actividades que se implementarían al personal interno como a los pacientes de los consultorios.

El primer paso para mejorar el protocolo que tenía la empresa es realizar un presupuesto de los materiales adecuados que tienen que tener como lo son cubrebocas de adultos y niños (por ser consultorio pediátrico), tapete sanitizante, sanitizante corporal y gel antibacterial, esto para disminuir el riesgo de contagio y si es posible evitarlo.

La principal actividad que se hizo fue elaborar un presupuesto de los materiales adecuados que son de suma importancia tener en la empresa para que las personas que ingresen al lugar tenga un mínimo de contagio y se sientan más seguras. El objetivo de un presupuesto es brindar a la organización un panorama financiero actualizado que facilite la toma de decisiones y fomente el crecimiento de la misma, por ende, es importante brindarles productos de calidad y adquirirlos a un buen precio, es por esto que se cotizaron los costos con diferentes proveedores para saber con cuál proveedor adquirir los productos. En toda empresa los cambios al personal interno les afecta o beneficia y por esta razón se toma en cuenta la aceptación o negación que tendrán sobre las mejores implementadas en la empresa, se formuló una encuesta de salida, la cual brindaría los datos de la satisfacción del servicio ofrecido durante la estadía, para realizar esta actividad se cuestionó a los pacientes que asistieron a solicitar el servicio en un tiempo de tres semanas, el segmento de mercado que fue encuestado forma parte de padres de un aproximado de 25 años a 40 años.

Resultados

Sondeo de opinión pública del personal

Esta encuesta se realizó al personal interno que en su mayoría son los doctores de diferentes especialidades, esto con el fin de saber si a nivel laboral les afecto la crisis que se vivió durante la pandemia, este estudio dio como resultado que el 50% de los doctores aumento el número de pacientes haciendo que tengan más trabajo, el 40% no le afecto la crisis de la pandemia y el 10% tuvo como consecuencia una reducción de sueldo.



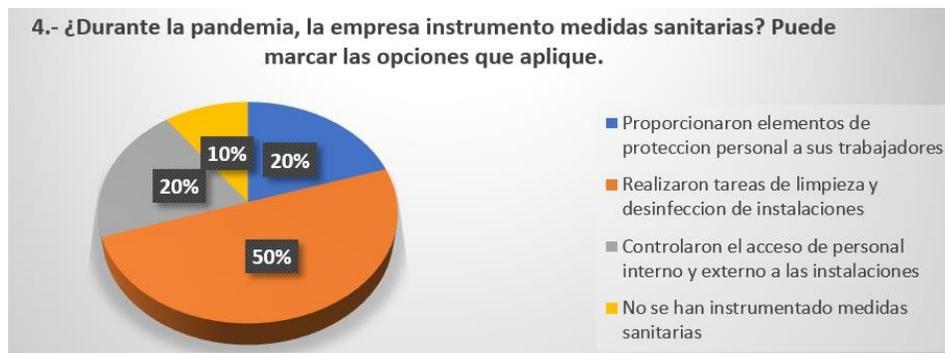
Es importante tener el conocimiento sobre el personal interno que se ha enfermado por COVID-19 o ha presentado síntomas y la encuesta nos dio a conocer que el 70% no presento síntomas y piensan que no se han contagiado del virus, el 30% presento síntomas por lo cual procedieron a realizar la prueba de COVID-19 la cual dio a positivo y tuvieron que ser hospitalizados o tener que hacer cuarentena en casa.



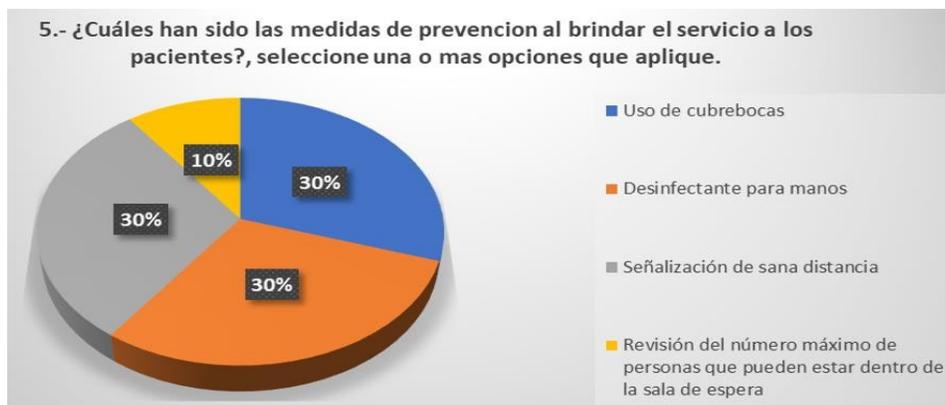
El personal interno presenta un 50% de no pertenecer a ningún grupo de riesgo, mientras que el otro 50% si pertenecer a algún grupo de riesgo ya sea por ser mayor de 60 años o por tener enfermedades cronicas que afectan el sistema respiratorio haciendolos mas vulnerables ante el virus de COVID-19.



La empresa médica instrumentó medidas sanitarias las cuales un 50% solo realizo limpieza y desinsectación en la instalación mientras que el otro 40% proporcionaron elementos de protección al personal interno y controlaron el acceso de personas en las instalaciones y el 10% indico que no se tuvieron medidas sanitarias.



Las medidas preventivas que se brinda en el servicio a los pacientes en el 90% indica que se realiza lo que es el uso de cubrebocas. La utilización de desinfectante para manos y señalización de sana distancia mientras que el 10% no se tiene el control de la capacidad maxima que se tiene que tener dentro de la sala de espera.



Las afectaciones que tuvo la empresa médica a comparaciones de años anteriores fue que un 70% tuvo menos acceso al servicio, reducción del monto total de remuneraciones, reducción del personal y el 40% no tuvo



La empresa tuvo paros técnicos o cierros en un 20% mientras que un 80% estuvo laborando para brindarles el servicio a sus pacientes



Observaciones

Este análisis se realizó con el objetivo de tener resultados sobre la opinión de los trabajadores internos que son los doctores que ofrecen servicios de salud y prevención de enfermedades pediátricas como lo son radiólogo, psicólogo, dentista, nefrología, hematología, urología, cardiología, gastroenterología, terapia de lengua, nutrición pediátrica, por mencionar algunas.

El resultado del análisis dio a conocer que la empresa médica no tuvo afectaciones durante la pandemia ya que el virus se propago y al no tener una vacuna aumentaron la cantidad de pacientes que recibían, por ende, se tuvo un aumento de ingresos económicos al igual que se dio a conocer más el consultorio pediátrico mediante las redes sociales que lleva a cabo el área de marketing haciendo contenido para un segmento de mercado dirigido hacia pediatría haciendo que atraiga más clientes, a pesar de eso, los doctores tienen enfermedades o por

cuestiones de edad tienen un riesgo más alto de contraer el virus y al ser vulnerables ponen en riesgo su vida, pero han hecho frente a la situación por la cual estamos pasando haciendo que brinden el mejor servicio al tratar con sus pacientes y esforzándose para que tengan las mejores atenciones.

Otro resultado de la encuesta es que en la empresa médica no tiene todas las medidas de higiene y seguridad pertinentes ya que el protocolo que estaban manejando estaba muy escaso de estas, si cuenta con los productos de limpieza y con gel antibacterial pero no con el suficiente para abastecer de manera adecuada ya que solo cuenta con un bote de este, no tiene un sanitizante corporal que este ayuda a que disminuya el virus en el cuerpo así como en la ropa que portan las personas, no tienen tapete sanitizante y este es importante ya que ayuda a que se disminuya los virus y bacterias en la suela del zapato y así no se esparza en la instalación, no siguen las medidas de sana distancia ya que hay ocasiones en que la sala de espera las personas se sientan juntas porque no hay señalización en los asientos en donde indique donde se pueden sentar las personas y donde no hacerlo, hacen falta señalamientos que indiquen el uso obligatorio de cubrebocas, no hay señalización que indique que cuando se entren las personas al establecimiento se tienen que lavar las manos de forma correcta siguiendo un protocolo de higiene y hace falta el señalamiento que indica que el paciente no puede asistir con más de un acompañante. Es necesario la implementación de las medidas de higiene y seguridad adecuadas ya que al ser un consultorio médico tiene más riesgo de que haya contagio al momento de atender a los pacientes, por parte del personal interno de la empresa ya se ha ido tomando conciencia y poco a poco van adaptándose a las nuevas implementaciones del protocolo.

Implementación de las medidas de higiene y seguridad ante el COVID-19

Objetivo

Hacer que la empresa médica Juno Doctors tenga las medidas de higiene y seguridad aptas para que acudan los pacientes y estén seguros ellos tanto como el personal interno, mientras se cumplan con todas las medidas se tendrá un menor riesgo de contagio haciendo que el consultorio sea de confianza en donde las personas se sientan bien al acudir ahí, además de eso también hace que las mismas personas que ya acudieron recomienden a otras personas y así tendrá un mayor número de pacientes e ingresos económicos.

Programa de trabajo

Este trabajo se elaboró en los consultorios de médica especializada Juno Doctors que se encuentra ubicado en 20 de noviembre y José Azueta Col. Centro del estado de Veracruz, Ver, aquí colaboran doctores de ambos sexos con diferentes especialidades basadas en pediatría.

Mediante al análisis que se realizó, se identificaron las carencias que tenía en cuanto a las medidas de higiene y seguridad para prevenir el riesgo de contagio del virus del COVID-19, con la ayuda del personal interno principalmente los doctores que realizan sus consultas en las instalaciones así como las personas que hacen su labor en el área de recepción ya que todos en conjunto tienen que llevar las medidas que se implementaron además de informarle a los pacientes que llegan a consulta para que también realicen las medidas de higiene y seguridad pertinentes, para que las actividades del personal interno sea más fácil están carteles informativos acerca de estas medidas.

Se cuenta con la evidencia necesaria para poder notar un antes y un después de las mejoras que se hicieron dentro del consultorio de médica especializada Juno Doctors cubriendo las necesidades sanitarias haciendo que este sea un lugar más seguro para asistir.

Evidencia del plan de trabajo

Se realizó e implemento un señalización donde informa que solo puede pasar el paciente y un familiar que lo acompañe.



Imagen 1 y 2. No se contaba con señalización de sana distancia en los asientos del área de espera

Los trabajadores internos como lo son los doctores y los residentes que colaboran en el consultorio no tenían y por ende no seguían las medidas pertinentes de control sanitario como tener un número máximo de personas en el consultorio haciendo que no tengan sana distancia además de que no portaban cubrebocas



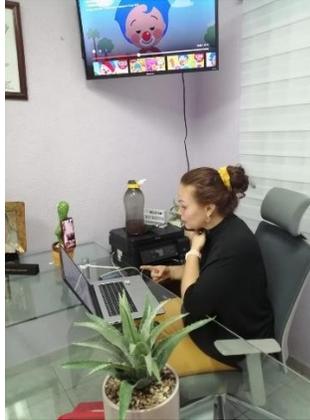
Antes



Después



Antes



Después

Se implementaron medidas sanitarias como lo son los sanitizantes corporales, brindar gel antibacterial al momento de ingresar a las instalaciones y limpiar constantemente las áreas de las instalaciones



Además del gel antibacterial que se les proporciona a las personas al entrar al lugar, también tienen que lavarse las manos, en el baño se cuenta con papel, jabón antibacterial y un protocolo correcto de lavado de manos.



Señalizaciones sobre las medidas de control sanitario de COVID-19 en las instalaciones del consultorio de medicina especializada Juno Doctors



Presupuesto de los materiales necesarios para llevar un adecuado control sanitario.

Es necesario contar con el material adecuado para salvaguardar la vida de los trabajadores internos, así como los pacientes que acuden a las instalaciones de Juno Doctors. Para la realización del presupuesto primero se tomó en cuenta los materiales que se iban a necesitar para poder hacer una cotización con tres proveedores y así saber cuál proveedor tiene mejor precio y calidad en los productos que ofrece. Los proveedores con los que se hizo la cotización fueron en Amazon, Mercado libre y Farmacia Ylang, se tomó en cuenta el costo de envío en caso de que lo tuviera, y se sumó con el costo del producto para después dividirlo en el número de piezas, de esto modo nos da a conocer con quién es conveniente adquirir los productos.

En las siguientes tablas se presenta las cotizaciones que se realizaron con los materiales adecuados de control sanitario.

Presupuesto de cubrebocas adulto							
Mercado libre				Amazon			
100 pz				100 pz			
Costo de envío	100	Total	Costo por pz	Costo de envío	100	Total	Costo por pz
94	108	202	2.02	0	159	149	1.49
200 pz				50 pz			
Costo de envío	200	Total	Costo por pz	Costo de envío	50	Total	Costo por pz
94	219	313	1.57	0	113	149	2.98
300 pz							
Costo de envío	300	Total	Costo por pz				
94	219	313	1.04				

Presupuesto de cubrebocas infantil							
Mercado Libre				Amazon			
50 pz				50 pz			
Costo de envío	50	Total	Costo por pz	Costo de envío	50	Total	Costo por pz
94	98	192	3.84	0	165	165	3.3
100 pz				100 pz			
Costo de envío	100	Total	Costo por pz	Costo de envío	100	Total	Costo por pz
94	194	288	2.88	0	298	298	2.98
200 pz							
Costo de envío	200	Total	Costo por pz				
94	298	392	1.96				
100 pz							
Costo de envío	100	Total	Costo por pz				
94	189	283	2.83				

Presupuesto tapete sanitizante					
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete 2 alfombras	Total	Costo de envío	1 tapete 2 alfombras	Total
94	159	253	0	200	200
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete 1 felpa de secado	Total	Costo de envío	1 tapete 1 tapete para secado	Total
94	119	213	98	129	227
Mercado libre			Amazon		
Costo de envío	1 tapete	Total	Costo de envío	1 tapete	Total
94	89	183	0	159	159

Presupuesto de sanitizante								
Mercado libre			Amazon			Farmacia Ylan		
Costo de envío	Costo por 5 L	Total	Costo de envío	Costo por 4 L	Total	Costo de envío	Costo por 5 L	Total
0	426	426	0	550	550	0	499	499

Presupuesto de gel antibacterial								
Mercado libre			Amazon			Farmacia Ylan		
Costo de envío	Costo por 5 L	Total	Costo de envío	Costo por 4 L	Total	Costo de envío	Costo por 3.760 L	Total
0	375	375	70	550	620	0	858	858

Conclusión

Este artículo tiene como finalidad dar a conocer todos los puntos que se deben abordar para prevenir el virus del COVID-19, de igual manera se explica de manera detallada como dichos puntos están siendo aplicando en el consultorio de médica especializada Juno Doctors como lo es en la utilización de tapetes sanitizantes, sanitizantes corporales, el uso de la distancia adecuada, el menor número de personas por área, etc., así logrando reducir la mayor cantidad de contagios posibles. Este control sanitario cuida a las personas de contraer el virus tomando en cuenta que hay doctores de avanzada edad o con enfermedades crónicas que los hace más vulnerables ante el virus haciendo que pongan en riesgo su vida. Al tomar todas las medidas de higiene y seguridad crea un ambiente de confianza entre doctores y pacientes, lo cual hace que inclusive el mismo paciente recomiende el consultorio haciendo un marketing de boca en boca beneficiando así la clínica ya que tendrá clientes seguros y ayudando a que sea más conocida lo cual hará que se generen mayores ingresos.

Recomendaciones

Las recomendaciones que hago son que realicen un inventario cada dos semanas del material con el que cuentan para así saber si es necesario comprar más y así evitar quedarse sin su material, se tiene que seguir todas las medidas de control sanitario con las personas que ingresen al consultorio sin excepción alguna además de respetar la sana distancia que tienen que tener y el llevar un control sobre la capacidad máxima de personas que puede estar en el consultorio.

Referencias

- Coelho, F. (26 de Octubre de 2020). Significados. Obtenido de <https://www.significados.com/metodologia-de-la-investigacion/>
- Flores, G. (1 de Noviembre de 2021). Semadet. Obtenido de <https://semadet.jalisco.gob.mx/acerca/protocolo-de-medidas-sanitarias-ante-covid-19>
- Hidalgo, I. V. (18 de Noviembre de 2017). Gestipolis. Obtenido de <https://www.gestipolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>
- Merino, J. P. (2021). Definición. Obtenido de <https://definicion.de/protocolo/>
- México, G. d. (Mayo de 29 de 2020). Gobierno de México. Obtenido de <https://nuevanormalidad.gob.mx/>

SÍNTESIS DE PELÍCULAS DE BASE CERÁMICA PARA SU APLICACIÓN COMO REFLECTORES DIFUSOS DE SISTEMAS SOLARES HÍBRIDOS

MIGUEL ÁNGEL ORTEGA GONZÁLEZ¹, EDGAR ARTURO CHÁVEZ URBIOLA², FELIPE LEGORRETA GARCÍA³, MIGUEL PÉREZ LABRA⁴, MARISSA VARGAS RAMÍREZ⁵

Resumen

El diseño, síntesis y caracterización de materiales se ha convertido en un gran desafío en los sistemas híbridos solares para mejorar su desempeño y funcionamiento. Su desarrollo tiene un impacto relevante sobre el material reflectante determinando sus propiedades. Existe una amplia variedad de métodos para la síntesis entre los que destaca el sol-gel. El presente estudio tuvo como objetivo obtener un material con alta reflectancia difusa. Se realizó una selección de sustratos y precursores caracterizándolos con espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS), microscopía electrónica de barrido (MEB), espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), difracción de rayos X (DRX), dureza (ASTMD3363) y adherencia (ASTMD3359). Se prepararon soluciones a diferentes concentraciones por la ruta sol-gel. Finalmente, se hizo la deposición de la suspensión sobre el sustrato para la obtención de una película reflectante. Los resultados MEB en precursores muestran morfologías semicirculares, alargadas, estructuras compactas y bloques con cortes concoidales, con dimensión que van desde 10 a 200 μm , topografía con superficies rugosas, lisas y con ramificaciones. Los precursores caracterizados por EDS presentan una variación de porcentaje en peso de la composición elemental de 10 y reflectancia del 99.19 a 105.42% determinada en UV-VIS para cada polvo precursor, la caracterización por DRX muestra fases de celestina, corindón y anatasa. El mejor resultado obtenido de la

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo. or415427@uaeh.edu.mx

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

³ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

⁴ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

⁵ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales (AACTyM), km 4.5 Carretera Pachuca-Tulancingo, C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo.

síntesis en reflectancia difusa fue 84.74% con adherencia de 86.68% y dureza de 3H.

El método de preparación muestra ventajas en la fabricación de películas reflectivas por lo que es una alternativa para producción a gran escala.

Palabras clave: Alúmina, reflectancia, reflectores de refuerzo, Sol-gel.

Introducción

Las sociedades más avanzadas se caracterizan por tener mayor consumo de recursos, incluidos los energéticos. Por otro lado, la creciente demanda de estos recursos y el incremento de la carestía de recursos fósiles, han llevado a la sociedad moderna, a la búsqueda de la explotación de las energías renovables (Bridge & Wyeth, 2020). Estas energías, son virtualmente inagotables y su principal fuente es el sol, en la radiación que emite. Esta radiación produce también otras energías “secundarias” como la eólica, biomasa etc. Sin embargo, su uso directo es la forma más promisorio de aprovechamiento y también la más abundante (Levenda, Behrsin, & Disano, 2021). Esta radiación puede utilizarse concentrándola o sin concentrarla. La concentración y el uso de los rayos del Sol para alimentar procesos como la generación de electricidad, la purificación del agua, la cocción, la fabricación, el secado y el calentamiento podrían ser una de las formas más eficaces de proporcionar a la humanidad energía segura y sostenible (Babu et al., 2020). Los sistemas solares térmicos de concentración utilizan reflectores o espejos para recolectar y enfocar los rayos solares en tubos conocidos como absorbentes (o receptores) que absorben los rayos solares, los convierten en calor y los transfieren a un fluido de transferencia de calor (Tschopp et al., 2020). Por otro lado, los sistemas sin concentración solar son ampliamente utilizados, de entre ellos los calentadores solares domésticos, paneles fotovoltaicos planos, calentadores de aire, entre otros.

Como hemos mencionado, hay sistemas solares con concentración y sin ella, pero los que tienen un bajo nivel de concentración solar, representan algunas de las posibles aplicaciones costo-efectivas para aplicar a gran escala, esto debido a su simplicidad de operación y su costo contenido. Dentro de estos sistemas, se encuentran los lentes de Fresnel, y los reflectores de refuerzo (López, Escobar, Cárdenas, & Restrepo, 2021).

Estos últimos, requieren de un estudio profundo de sus propiedades ópticas, a fin de maximizar la radiación incidente sobre el colector, manteniendo un costo beneficio, lo cual es el motivo de la presente investigación

Materiales y Métodos

Se realizó una selección de sustratos y polvos precursores mediante un estudio sistemático en la literatura, esto con el fin de conocer sus propiedades y hacer una selección para posteriormente caracterizarlos con espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS), microscopia electrónica de barrido (MEB), espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), difracción de rayos X (DRX), dureza (ASTM D3363) y adherencia (ASTM D3359). Se realizó limpieza de los sustratos por diferentes técnicas, se prepararon suspensiones a diferentes concentraciones por la ruta sol-gel y finalmente se hizo la deposición de la suspensión sobre los sustratos para la obtención de una película reflectante. Este procedimiento se muestra de manera esquemática en la Figura 1.

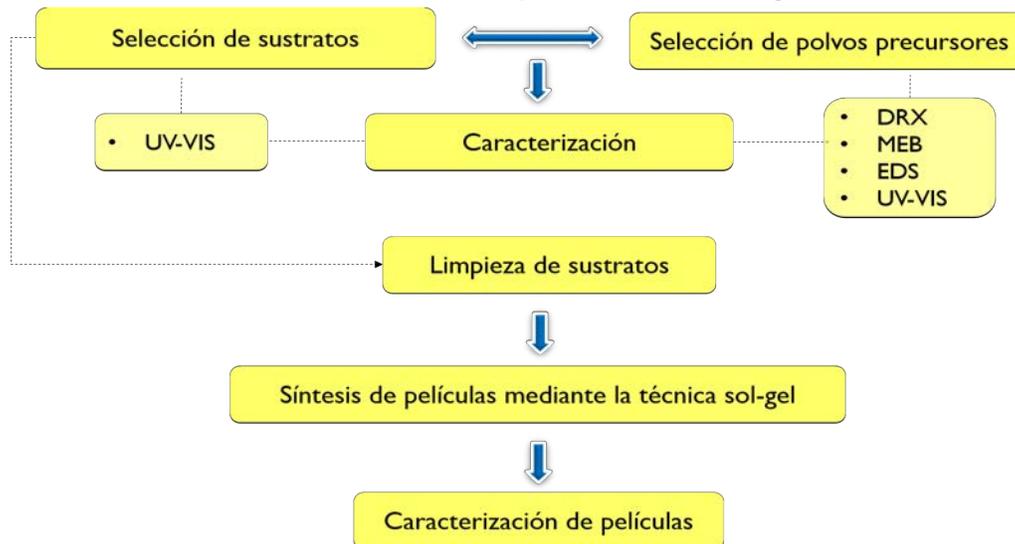


Figura 1 Diagrama de flujo para la síntesis de películas (Elaboración propia)

Resultados y Discusión

Caracterización de sustratos: Reflectancia (espectroscopia UV-VIS).

Se caracterizó cada grupo de los sustratos conformados por: aluminio (Al), cobre (Cu), latón, acero Inoxidable (T304), acero galvanizado y acero recubierto pintro. En el Cuadro 1 se muestran los diferentes sustratos y su reflectancia relativa de cada uno.

Cuadro 1 Sustratos y reflectancia relativa (Elaboración propia)

Sustrato	Reflectancia (%)
Aluminio (Al)	79.8
Cobre (Cu)	70.4
Latón	77.2
Acero Inoxidable (T304)	79.1
Acero galvanizado	75.2
Acero pintro.	79.9

Se comprobó que el tratamiento de limpieza modifica el valor de la reflectancia en los sustratos y se eligió el sustrato con el valor de reflectancia más elevado para utilizarlo como material base para realizar síntesis de películas.

Caracterización de los polvos precursores.

Se caracterizó cada precursor α -alúmina (Al_2O_3), sulfato de bario (BaSO_4) y dióxido de titanio (TiO_2) y se describe a continuación el mejor de los precursores:

Se utilizaron las siguientes técnicas. Difracción de rayos X (DRX) que permite identificar y confirmar de manera más confiable que el polvo precursor que se va a utilizar en la síntesis corresponde a la estructura indicada en el patrón de difracción del equipo, espectroscopia UV-VIS para determinar la reflectancia relativa, microscopia electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS) se utilizan con el fin de obtener un análisis morfológico, topográfico y composición elemental de las muestras.

En la Figura 2 a) se muestra la morfología realizada a los polvos precursores de alúmina, se observan pequeñas partículas redondeadas que están sobre la cinta de grafito, cuyo tamaño es del orden de 1 micrómetro aproximadamente. Es posible distinguir también cúmulos o aglomerados de partículas unidas de forma semiesférica, de tamaños que oscilan entre 20 y 50 micrómetros.

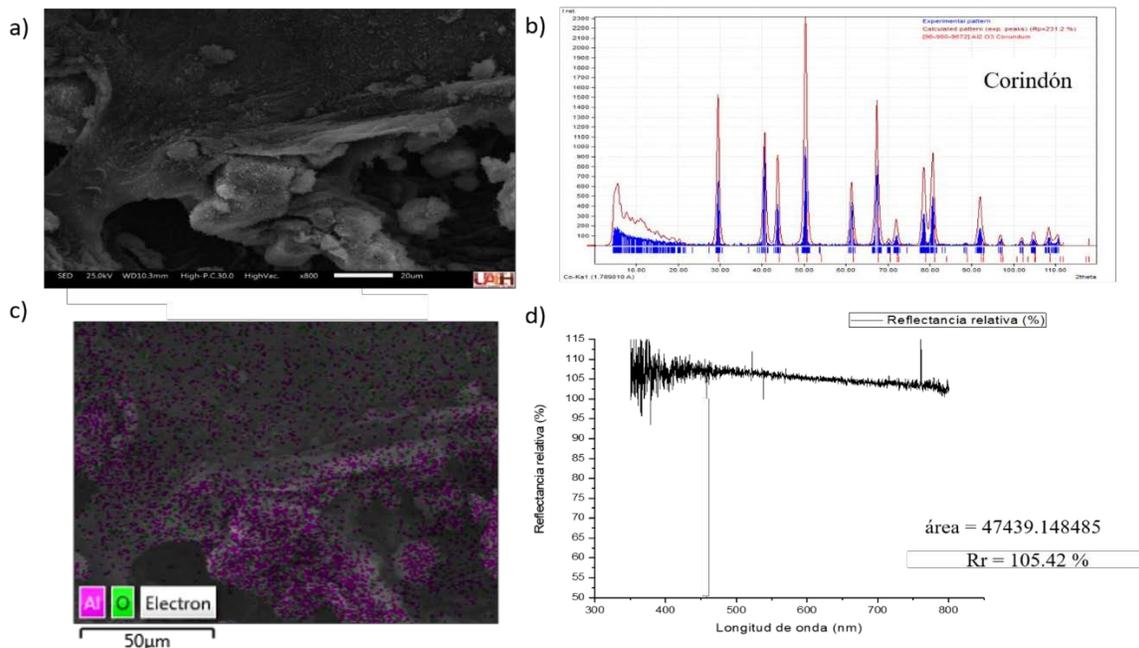


Figura 2 a) micrografía MEB, b) patrón de difracción, c) imagen composicional y d) gráfica de reflectancia relativa para Al_2O_3 (Elaboración propia)

En la Figura 2 b) se observa el estudio cristalográfico realizado por DRX, se detecta el patrón correspondiente a la forma de la alúmina tipo α - Al_2O_3 . No se manifiestan señales de difracción con fases cristalinas secundarias. Los picos de los cristales se muestran largos y delgados, lo que indica un tamaño de cristal grande.

En la Figura 2 c) se muestra la imagen composicional que arroja un resultado en peso de 52.49% para el aluminio y un valor de 47.51% para el oxígeno. Estos resultados corresponden de manera muy aproximada a la estequiometría de α -Al₂O₃ (aluminio 53.96/101.961 = 85% y oxígeno 47.997/101.961 = 47.07%).

La Figura 2 d) muestra la reflectancia difusa del polvo precursor α -Al₂O₃ analizado; los resultados ponen en evidencia un valor de reflectancia relativa de 105.42%, este resultado es acorde con el reportado con (Prakash, Kumar, Kumar, Choudhary, & Phase, 2016). También se determina el área bajo la curva con un valor de 47439.148485 unidades cuadradas u², con respecto al análisis realizado en OriginPro 8®.

Caracterización de películas

Las películas fueron caracterizadas mediante tres técnicas que ayudaron a seleccionar la mejor para utilizarla como reflector de refuerzo difuso.

1. Dureza (prueba mecánica manual con lápiz)

El siguiente Cuadro se muestra los resultados de la caracterización de dureza de las películas representativas para su posible uso como reflectores de refuerzo difuso.

Cuadro 2 Dureza para cada película (Elaboración propia)

Experimento	Etiqueta	Sustrato cal 24 0.61mm	Dureza ASTM D 3363
1	SA1	Aluminio Al	2H
2	SC1	Cobre Cu	2B
3	SI1	Acero inox T304	B
4	SL1	Latón	HB
5	SG1	Acero galvanizado	H
6	SP1	Acero recubierto pintro	3H
7	SA3	Aluminio Al	3H
8	SC3	Cobre Cu	2H
9	SI3	Acero inox T304	3H
10	SL3	Latón	4H
11	SG3	Acero galvanizado	5H
12	SP3	Acero recubierto pintro	6B

La Figura 3 muestra las películas seleccionadas con la dureza más alta para poder emplearlas como reflectores de refuerzo difuso.

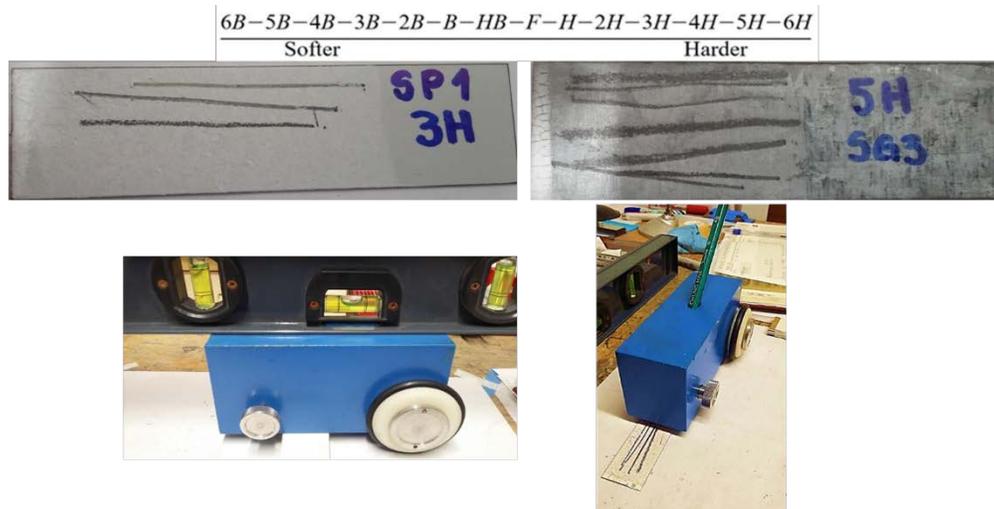


Figura 3 Elección de películas con base a sus características de dureza (Elaboración propia)

2. Adherencia

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de adherencia en porcentaje de las películas más representativas.

Cuadro 3 Porcentaje de adherencia obtenido en cada película (Elaboración propia)

Experimento	Etiqueta	Sustrato cal 24 0.61 mm	% Adherencia ASTM D3359
1	SA1	Aluminio Al	48.11
2	SC1	Cobre Cu	20.69
3	SI1	Acero inox T304	65.40
4	SL1	Latón	52.68
5	SG1	Acero galvanizado	44.34
6	SP1	Acero pintro	86.68
19	SA3	Aluminio Al	83.82
20	SC3	Cobre Cu	88.16
21	SI3	Acero inox T304	61.02
22	SL3	Latón	40.28
23	SG3	Acero galvanizado	55.55
24	SP3	Acero pintro	76.66

En la Figura 4 se muestra la caracterización de adherencia de las películas mediante prueba manual con cinta, corroborando los resultados con *Image Processing & Analysis in Java*.

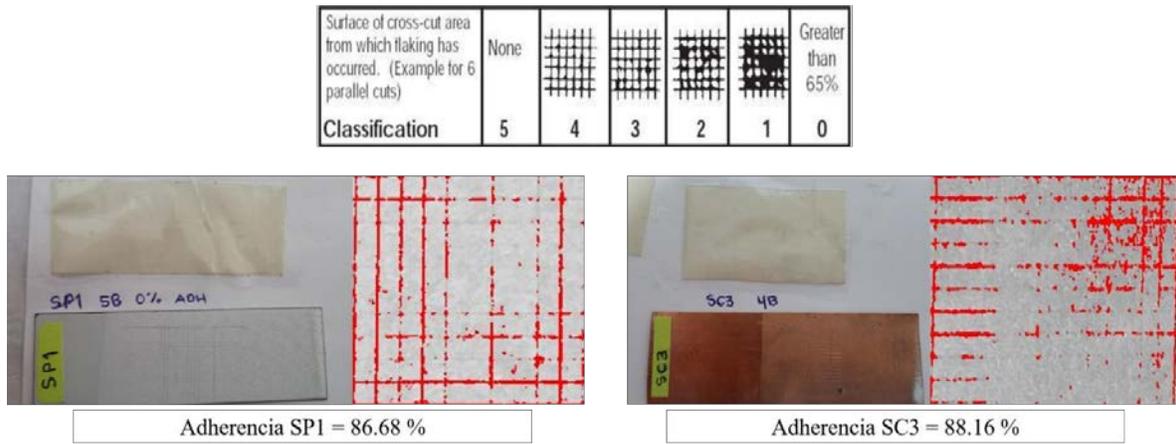


Figura 4 Adherencia de película en sustrato de acero con recubierto pintro (SP1) y sustrato de cobre (SC3) (Elaboración propia)

3. Reflectancia relativa (espectroscopia UV-VIS)

En la Figura 5 se muestran los resultados de reflectancia relativa más elevados de tres películas con sustrato de acero con recubierto pintro (SP1, SP3 y SP4), estas difieren en las concentraciones de reactivos y tratamientos de limpieza para su síntesis.

En la Figura 5 a) se muestra la gráfica de la película SP1 con una reflectancia relativa del 84.74% sobre un sustrato de acero con recubrimiento pintro.

En la Figura 5 b) se muestra la gráfica de la película SP3 con una reflectancia relativa del 79.94% sobre un sustrato de acero con recubrimiento pintro.

En la Figura 5 c) se muestra la gráfica de la película SP4 con una reflectancia relativa del 85.1% sobre un sustrato de acero con recubrimiento pintro.

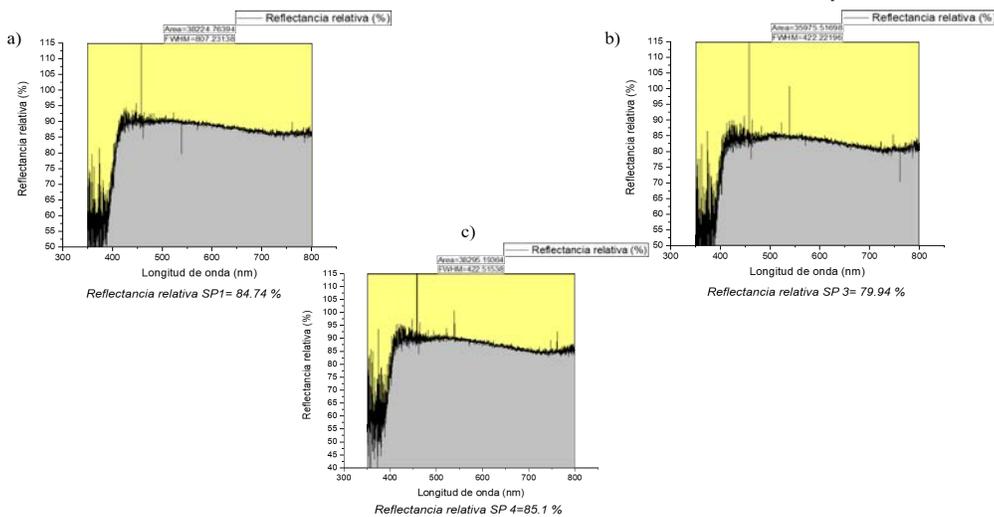


Figura 5 Reflectancia relativa de las tres mejores películas con acero de recubrimiento pintro (Elaboración propia)

Conclusión

En este trabajo se muestran las películas reflectantes de base cerámica aplicadas a diferentes sustratos: acero inoxidable (T304), aluminio (Al), cobre (Cu), latón, acero recubierto pinto y acero galvanizado. Se propuso el uso de silicoaluminatos en diferentes proporciones para mejorar la reflectancia de las películas para su uso en reflectores de refuerzo, preparando suspensiones a diferentes concentraciones. Los resultados han demostrado que una combinación de concentraciones y diferentes tratamientos de limpieza en los sustratos mejora la reflectancia en el espectro visible, la adherencia y dureza de las películas. La investigación con diferentes silicoaluminatos, en general, proporciona una nueva perspectiva de como la topografía y morfología de los diferentes polvos precursores empleados para hacer películas influye en la reflectancia de los materiales. Esto es especialmente de gran relevancia para la investigación del efecto de nuevos materiales innovadores en el desempeño de los sistemas híbridos solares. El enfoque desarrollado también se puede aplicar para analizar materiales reflectores para otras aplicaciones.

Del trabajo desarrollado se puede concluir que:

1. La reflectancia de una superficie depende tanto del material sustrato y de la superficie como su rugosidad.
2. El material con las mejores propiedades fue SP1 con una reflectancia del 84.74%, adherencia del 86.68% y una dureza de 3H.
3. Los materiales desarrollados son candidatos promisorios para la fabricación de reflectores de refuerzo.
4. Se recubrió acero pinto con pintura blanca® y se observó que no hubo buenos valores de reflectancia, dureza y adherencia para esa película.

Referencias

- Babu, S., Mohapatra, K. P., Das, A., Yadav, G. S., Tahasildar, M., Singh, R., . . . Chandra, P. (2020). Designing energy-efficient, economically sustainable and environmentally safe cropping system for the rainfed maize–fallow land of the Eastern Himalayas. *Science of The Total Environment*, 722, 137874. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137874>
- Bridge, G., & Wyeth, R. (2020). Natural Resources. In A. Kobayashi (Ed.), *International Encyclopedia of Human Geography (Second Edition)* (pp. 249-258). Oxford: Elsevier.
- Levenda, A. M., Behrsin, I., & Disano, F. (2021). Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies. *Energy Research & Social Science*, 71, 101837. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101837>
- López, J. C., Escobar, A., Cárdenas, D. A., & Restrepo, Á. (2021). Parabolic trough or linear fresnel solar collectors? An exergy comparison of a solar-assisted sugarcane cogeneration power plant. *Renewable Energy*, 165, 139-150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.138>
- Prakash, R., Kumar, S., Kumar, V., Choudhary, R. J., & Phase, D. M. (2016). Optical and x-ray photoelectron spectroscopy studies of α -Al₂O₃. *AIP Conference Proceedings*, 1731(1), 050097. doi: [10.1063/1.4947751](https://doi.org/10.1063/1.4947751)
- Tschopp, D., Tian, Z., Berberich, M., Fan, J., Perers, B., & Furbo, S. (2020). Large-scale solar thermal systems in leading countries: A review and comparative study of Denmark, China, Germany and Austria. *Applied Energy*, 270, 114997. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114997>

INNOVANDO BALDOSAS: REUTILIZANDO POLIESTIRENO CRISTAL

MIRSHA JACQUELINE JORDÁN GARCÍA¹, VIANNEY HERNÁNDEZ MARTÍNEZ², MARILEM VEIDA ARRIAGA ARELLANO³

Resumen

El objetivo del presente estudio fue elaborar una baldosa creada a través del poliestireno cristal (Bolígrafos BIC), cuya finalidad es reducir el desecho que se genera dándole una segunda vida y así evitar su acumulación y por ende contaminación.

Por medio del método experimental se mostró que al fusionar poliestireno cristal con el calor (fuego), se crea una baldosa de plástico, que servirá como elemento decorativo para la arquitectura.

Según resultados de encuestas realizadas a la población es posible que se tenga aceptación para ser empleada en futuras obras, considerando que también podrían adquirirse a precios accesibles. Las muestras de la baldosa con las que se cuentan hasta el momento, han obtenido resultados favorables con posibilidades de ser manejable ante modificaciones posteriores y obtener “una baldosa hecha con plástico”.

Palabras clave: Innovación (Innovation), Arquitectura (Architecture), Reciclar (Recycle), Reducir (Reduce).

Introducción

En 1945 se fundó la Societé PPA (pens, mechanical pencils and accessories) en Francia, por Marcel Bich y Edouard Buffard, y a partir de 1950 se creó el “Bic Cristal”, dándole vida a su nueva creación con este material tóxico, “Poliestireno de cristal” (López, 2016). A partir de ello se han venido realizando billones de bolígrafos en el mundo, por ejemplo, en México 8 de cada 10 bolígrafos que se venden son BIC, durante los meses de enero a mayo del 2018, se vendieron 335.8 millones de bolígrafos (El Universal, 2017). Actualmente de cada tres bolígrafos que la francesa BIC vende en el mundo, uno sale de su fábrica de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Con una producción anual de cerca de 2,000 millones de unidades, es la planta más grande a nivel global que fabrica este producto (Lara, 2018).

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero (TESVG). Carretera Federal Ixtapan de la Sal, Km 64.5 C. P. 51563, La Finca Villa Guerrero, Estado de México. mirjordan@gmail.com

² Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero (TESVG). Carretera Federal Ixtapan de la Sal, Km 64.5 C. P. 51563, La Finca Villa Guerrero, Estado de México.

³ Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero (TESVG). Carretera Federal Ixtapan de la Sal, Km 64.5 C. P. 51563, La Finca Villa Guerrero, Estado de México.

Los bolígrafos desechables siguen siendo uno de los artículos más vendidos en las papelerías, y es que su tamaño y la facilidad para transportarlos hacen que se extravíen con mayor facilidad. Cada vez se siguen consumiendo en gran cantidad por los oficinistas, por alumnos y demás población, en consecuencia, se genera más contaminación ya que son desechados cuando se les termina la tinta o por adquirir unos nuevos, lo cual causa más contaminación, debido a las pocas opciones de reciclaje del producto, ya que la mayoría de los usuarios deposita el bolígrafo directamente a la basura, la cual es posteriormente trasladada a vertederos de basura locales, en donde al no encontrarle ningún uso útil, son incinerados generando gases contaminantes que dañan la atmósfera y el suelo en donde se lleva a cabo tal proceso.

Es por ello que el objetivo del presente estudio fue elaborar una baldosa creada a través del poliestireno cristal (Bolígrafos BIC), cuya finalidad es reducir el deshecho que se genera, dándole una segunda vida y así evitar su acumulación y por ende contaminación.

A partir de la propuesta se pretende ofrecer una alternativa de reusar el poliestireno cristal al implementarlo como material decorativo en la construcción, lo cual puede promover la recolección, compra y venta de este material a empresas recicladoras como se hace actualmente con otros desechos de productos.

Materiales y Métodos

La presente investigación se crea una metodología de investigación que abarque todo el procedimiento para la realización de este proyecto, en tres grandes fases donde la fase final se sustenta principalmente en el método experimental que permitió definir los materiales y procedimiento a seguir para el diseño de la baldosa. Descripción general de las fases:

Fase 1. Investigación documental abarcando los tipos y componentes de las baldosas, principales antecedentes, usos y problemáticas del poliestireno de cristal, normativas de calidad y normas internacionales que pudieran aplicar a la baldosa, así como prototipos de productos que se han realizado a partir de desechos considerado basura y que actualmente tienen una aplicación útil.

Fase 2. Trabajo de campo se diseñaron y aplicaron encuestas a población local y entrevistas a personas clave de la localidad los resultados ayudaron a identificar las necesidades del usuario en sus ámbitos como consumidor y productor trabajo de campo.

Se aplicaron encuestas a los habitantes de la localidad de San Pedro Tlanixco, Tenango del Valle perteneciente al Estado de México. La finalidad fue conocer la opinión acerca de la creación de una baldosa elaborada con productos reciclados (Bolígrafos BIC), entre las principales cuestiones están

Fase 3. Diseño experimental y propuesta, se establecieron las etapas a seguir para experimentar, primero se hizo la recolección y selección de poliéstereno, las pruebas para definir la forma, proceso de elaboración, análisis del producto y obtención de la muestra física del producto. Además de la elaboración del molde bajo distintos prototipos y medidas.

De las tres fases se retoma la tercera debido a la complejidad del método experimental, ya que se desarrollaron los pasos para la obtención de una baldosa las cuales tuvieron espesores de 0.5 y 0.8 mm. respectivamente. Los materiales utilizados fueron: 2 moldes de PTR cuadrados con medidas de 2.5 x 2.5 cm y espesor de 0.5 y 0.8 mm; poliestireno cristal triturado de distintos colores soplete de gas butano; y 2 piezas de losetas como base y soporte para el fuego.

Procedimiento: Se trituró el poliestireno cristal en pequeños pedazos hasta obtener la cantidad suficiente para posteriormente colocarla en el molde PTR; enseguida se aplicó fuego directo hacia el poliestireno cristal hasta fundirlo y a expandirlo por el molde con la ayuda de algún metal con punta. Cada vez se le fue agregando mayor cantidad de poliestireno cristal hasta que se obtuvo la forma deseada y así evitar que queden huecos en las piezas. Finalmente se dejó enfriar aproximadamente 1 minuto y se desmoldó.

Resultados y Discusión

Como parte de los resultados de la metodología de investigación para la elaboración de la baldosa se desglosan las fases a continuación:

En la fase 1, se retoman las características, físicas-químicas de diferentes baldosas, así como las pruebas que les podrían hacer para la calidad del producto, del mismo modo los tipos y materiales con los que se han elaborado baldosas así mismo el origen, características, usos del poliestireno como materia prima de esta investigación. Por otro lado y siguiendo la secuencia de la fase se identifica las normas de calidad para una baldosa como es la norma ISO-13006, ISO-10545-2, ISO.10545-3, ISO-10545-4. ISO-10545-7, iso-10545-13; dentro de ellas se determina la dimensión, la absorción, la resistencia a la flexión, la resistencia, la abrasión del esmalte de la baldosa, la resistencia química; entre otras así mismo se considera importante la una normativa internacional que es la Normalización Española (UNE 67101:1985) sobre baldosas cerámicas para determinar la dureza al rayado de la superficie (UNE, s.f.).

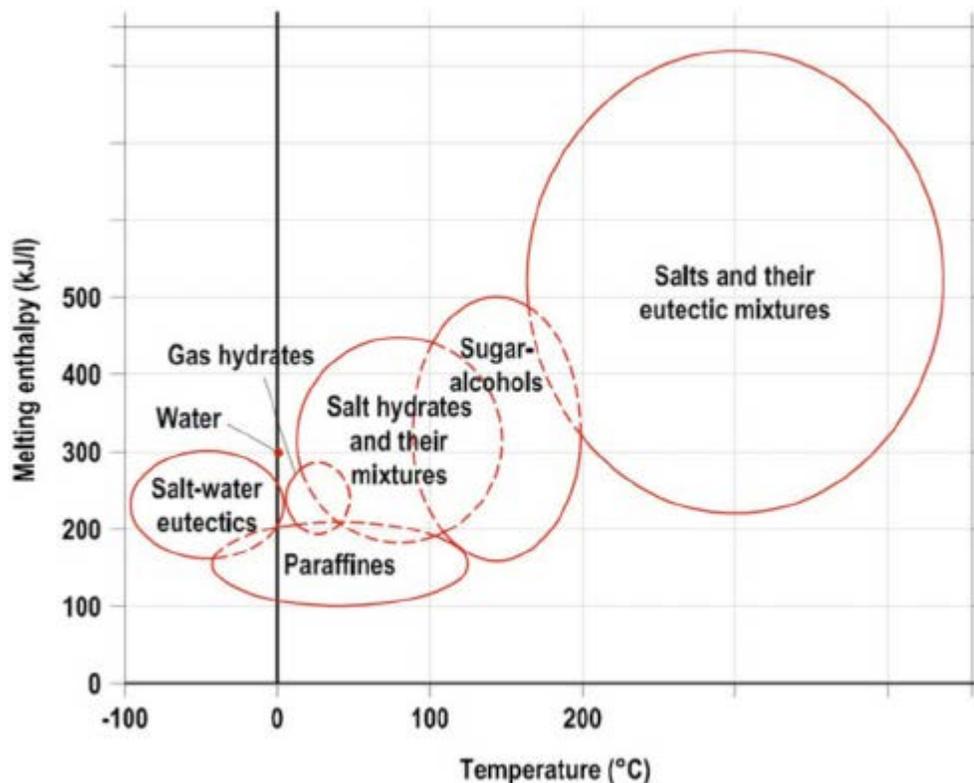
De igual importancia la exhaustiva investigación de búsqueda de prototipos o estudios relacionados para logra nuestro producto esperado ayudaron a determinarla algunos puntos importantes a considerar en la elaboración de dicha baldosa como fueron:

Una baldosa cerámica que logra acumular la energía, en forma de calor, y devolverla al entorno cuando lo necesita, logrando importantes ahorros y optimizando el uso energético en la nueva construcción sostenible. Algunas de las

características deseables en esta tipología de productos, pueden ser, entre otras, las que se indican a continuación:

- Desde un punto de vista químico, debe poseer una alta estabilidad y muy baja o nula reactividad con el material cerámico.
- Desde un punto de vista térmico, estos materiales deben poseer un rango de cambio de fase adecuado a las condiciones del lugar donde van a ser instalados.
- Desde un punto de vista físico, estos productos deben poseer una alta densidad, junto con un bajo coeficiente de cambio de volumen (al pasar de un estado sólido a otro líquido y viceversa) y un alto valor de calor latente de cambio de fase.

Figura 1. Entalpía de fusión en función del rango de temperaturas, de diferentes grupos de materiales de cambio de fase (PCM).



Fuente: Liop, et.al, s/a.

Además de baldosas térmicas, baldosas fotoluminiscientes, baldosas antielectostáticas, baldosas antideslizantes, baldosas fotovoltaicas y baldosas ecológicas. Toda y cada una de ellas dentro de sus características específicas dieron pie a ideas para la creación de la baldosa con poliestireno de cristal.

Para la fase 2, se utiliza el instrumento de recolección de datos (cuestionario), donde se hicieron diversas preguntas con la finalidad de saber si el producto a realizar les parecía interesante de tal modo que tuvieran que adquirirlo y aplicarlos en futuras construcciones.

Entre las que destacaremos fue la pregunta donde se propone la figura o forma en podrían producirse o realizarse las baldosas tal como lo muestra la figura 2.



Figura 2. Formas para las baldosas. (Elaboración propia, 2020)

Y dentro de las respuestas más votadas fue el rectángulo con un 45% y el triángulo con un 24%, de acuerdo a la gráfica obtenida de la tabulación (ver figura 3).

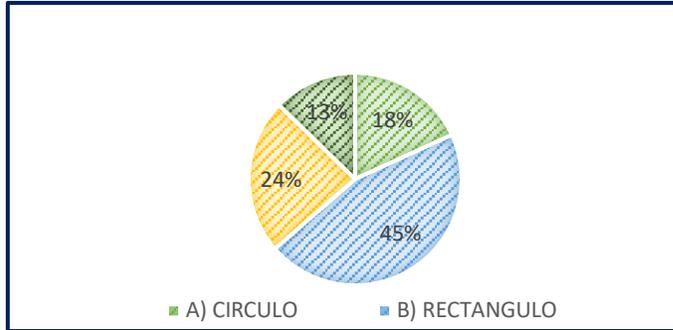


Figura 3. Gráfica de votación de formas de baldosa. (Elaboración propia, 2020)

Uno de los datos que más interesaba era saber si el proyecto es viable para la gente, o sea si ellos lo adquirirían para sus construcciones ya que sería un producto a base de materiales reciclados, tanto el cliente, constructor, diseñador y/o arquitecto. Los datos que se arrojaron fueron los siguientes; un 65% del encuestado voto que si lo adquiriría mientras el otro 35% de ellos voto por no adquirirlo por ser de material reciclado.

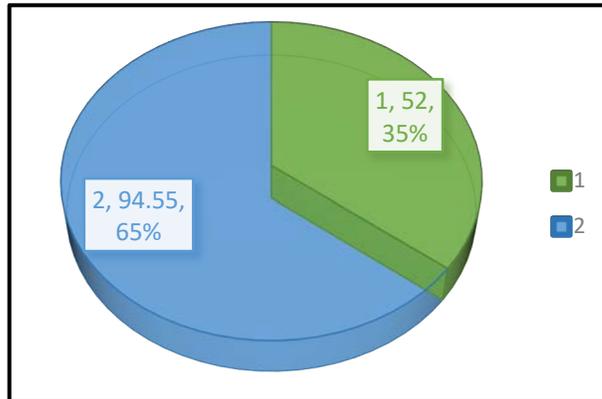


Figura 4. Gráfica de compra de baldosa de poliestireno de cristal. (Elaboración propia, 2020)

Derivado de los datos recolectados se da pie a la elaboración de la baldosa (fase 3), siguiendo los pasos que a continuación se mencionan:

Cuadro 1. Materiales necesarios para la experimentación (Elaboración propia, 2020)

Poliestireno cristal	Molde	Fundidor
<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de la materia prima (Boligrafos Bic) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de un material al que no se adhiere el plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soplete de gas butano

Cuadro 2. Pasos iniciales previos a la experimentación (Elaboración propia, 2020)

1	Limpieza de la materia prima	
2	Separación de la materia prima por colores	
3	Trituración o demolición de la materia prima	
4	Elaboración de moldes: -Molde cuadrado de aluminio, con medidas de 2.5 x 2.5 cm y espesor de 0.8 cm. -Molde rectangular de aluminio, con medidas de 4.0 x 2.5 cm y espesor de 0.8 mm.	

Una vez que se realizó lo anterior se continúa con la fase 3 del método experimental, en 2 pruebas (ver cuadros 3 y 4) y de acuerdo a los resultados obtenidos de cada una de ellas, se termina con el prototipo, y las medidas posibles como producto final, como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 3. Prueba 1. Elaboración de la baldosa I (Elaboración propia, 2020)

Materiales	Desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> • Molde de PTR cuadrado con medidas de 2.5 x 2.5 cm y espesor de 0.8 mm. • Poliestireno cristal triturado de distintos colores. • Soplete de gas butano. • 1 pieza de loseta como base y soporte para el fuego. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Para esta primera prueba se trituro el poliestireno cristal en pequeños pedazos a modo de que alcanzaran en el molde. 2.- Colocando primero la base de loseta en el suelo posteriormente el molde junto con el poliestireno cristal. 3.- Se comienza a aplicar fuego directo hacia el poliestireno cristal hasta que comience a fundirse y a expandirse por el molde con la ayuda de algún metal con punta. 4.- Conforme se vaya fundiendo el poliestireno cristal se va agregando más material para que resulte la forma deseada y así evitar que queden huecos en las piezas. 5.- Se deja enfriar aproximadamente 1 minuto y está listo para desmoldarse.
Resultado Ilustrado	Conclusión de Baldosa I
	<p>Al utilizar el molde de PTR nos dimos cuenta de que actúa de manera positiva a temperaturas altas ya que no se observaban deformaciones en el mismo y el poliestireno cristal seguía en perfecto estado, se realizó el proceso establecido, pero a la hora de querer desmoldarlo nos fue imposible ya que se quedó pegado y no se pudo desmoldar. Fue nuestra primera prueba fallida.</p>

Cuadro 4. Etapa 2 -Elaboración baldosa II (Elaboración propia, 2020)

Materiales	Desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> • Molde de aluminio con medidas de 4.5 x 2.5 cm y espesor de 0.8 mm. • Poliestireno cristal triturado de distintos colores • Soplete de gas butano. • 1 pieza de loseta como base y soporte para el fuego. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Para esta segunda prueba se trituro el poliestireno cristal en pequeños pedazos a modo de que alcanzaran en el molde. 2.- Colocando primero la base de loseta en el suelo posteriormente el molde junto con el poliestireno cristal. 3.- Se comienza a aplicar fuego directo hacia el poliestireno cristal hasta que comience a fundirse y a expandirse por el molde con la ayuda de algún metal con punta. 4.- Conforme se vaya fundiendo el poliestireno cristal se va agregando más material para que resulte la forma deseada y así evitar que queden huecos en las piezas. 5.- Se deja desmoldar aproximadamente 1 minuto y está listo para desmoldarse.
Resultado Ilustrado	
	

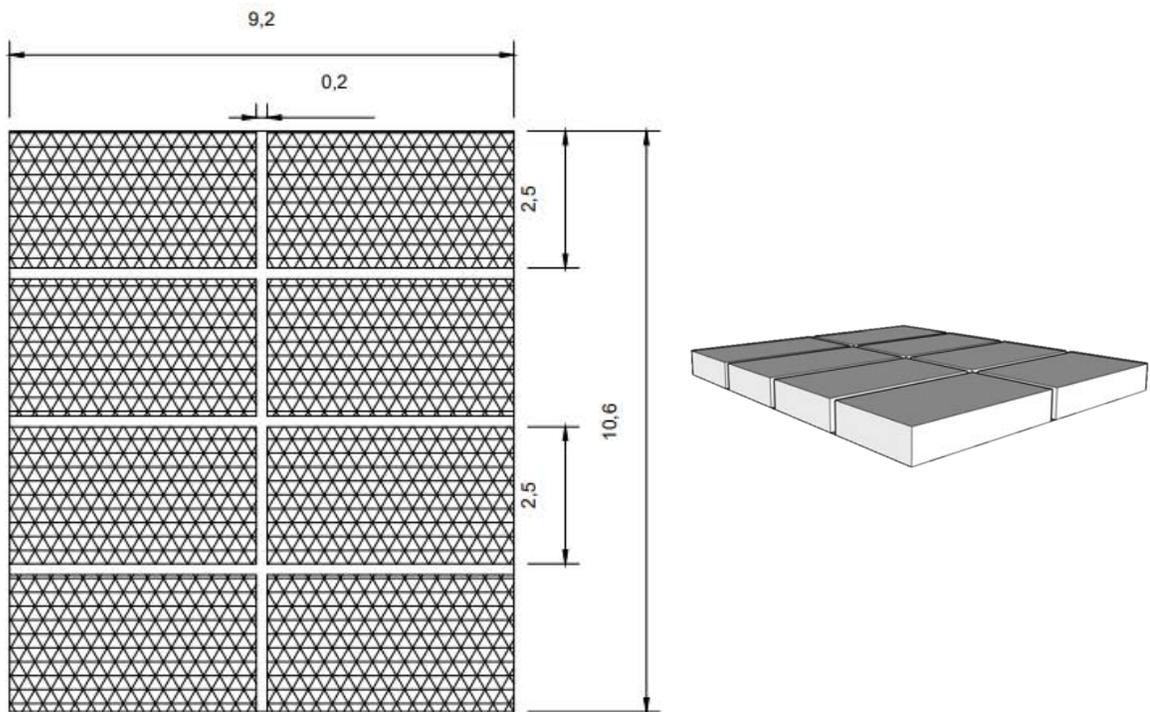
Conclusión de Baldosa II

Con esta segunda y última prueba en moldes se llegó al resultado final ya que en el aluminio que encontramos en las latas se mostró muy factible para realizar nuestras pruebas. El aluminio a pesar de ser bastante delgado nos sirve aproximadamente para realizar 5 pequeñas muestras.

Una vez que se obtuvo un resultado positivo se paso a producir más para realizar la prueba final de las formas.

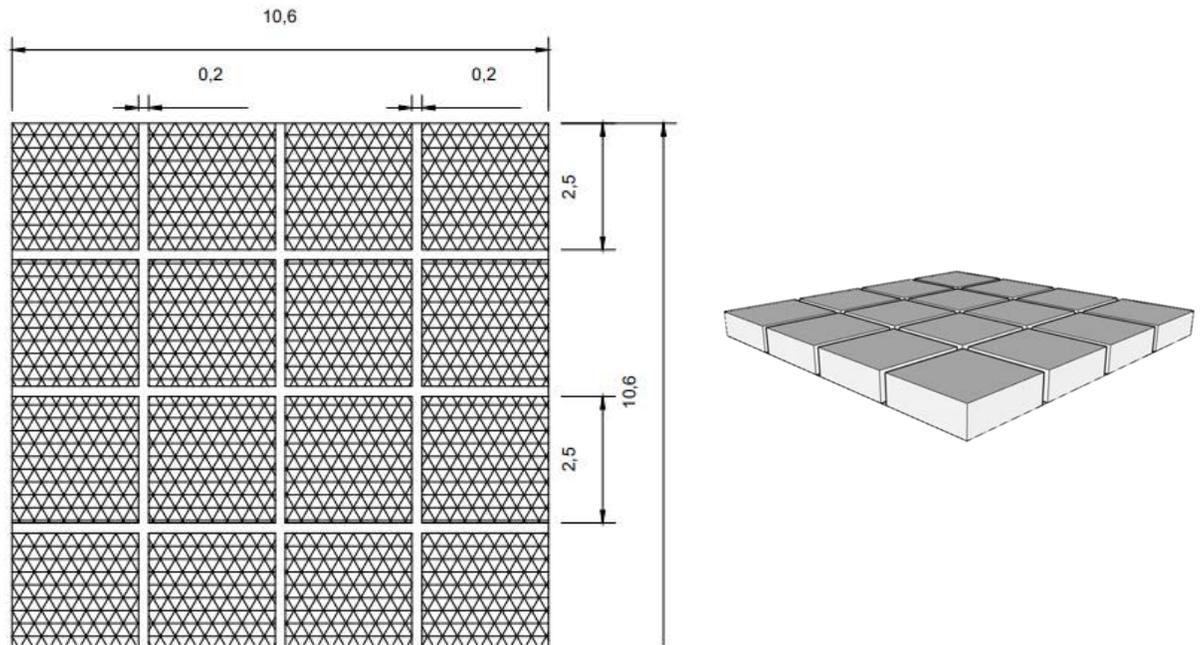
Considerando los resultados de las pruebas experimentales y las dimensiones de las partes que integraran el producto final, se determinan dos medidas muestras, la primera baldosa rectangular de 9.2 cm X 10.6 cm, tal como se observa en la figura 5.

Figura 5. Muestra y dimensionamiento en 3D de baldosa I. (Elaboración propia, 2020)



Y la segunda muestra de baldosa con medidas de 10.6 cm X 10.6 cm, como se observa en la figura 6 junto con su dimensionamiento en 3D.

Figura 6. Muestra y dimensionamiento en 3D de baldosa II. (Elaboración propia, 2020)

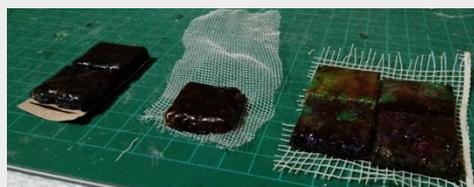


De este modo se llega al prototipo de baldosa como producto final (ver cuadro 5), uniendo las pequeñas piezas de poliestireno de cristal y crear las muestras mencionadas anteriormente, que servirán como acabados para exteriores e interiores.

Cuadro 5. Prototipo de baldosa final (Elaboración propia, 2020)

MATERIALES	DESARROLLO
<ul style="list-style-type: none"> • Baldosas de poliestireno cristal (pzs) de distintas dimensiones. • Cartón delgado • Malla textil gruesa • Malla textil delgada 	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Se pegaron las baldosas con un pegamento transparente en frío sobre el cartón para la prueba de compactación de piezas. 2.- Se pegaron las baldosas en la malla textil gruesa dándoles un poco de calor a las pequeñas piezas para que abrieran campo de adherencia al textil y presionando un poco con un elemento de metal hicimos que se pegaran. 3.- Se pegaron las baldosas en la malla textil delgada dándoles un poco de calor a las pequeñas piezas para que abrieran campo de adherencia al textil y presionando un poco con un elemento de metal hicimos que se pegaran.

Pruebas Ilustradas



Resultados Ilustrados**Conclusiones del Resultado**

- 1.- Se observó que en el cartón si se adhiere pero con el uso de un tercer elemento (pegamento transparente en frío) sin embargo el fin era que el mismo poliestireno cristal tuviera la capacidad de adherirse a este elemento por sí mismo.
- 2.- Se pudo observar que en esta prueba sobre la malla textil gruesa las muestras de poliestireno cristal si se pegaban de manera fácil. Sin embargo se despegaba con el paso del tiempo.
- 3.- En esta última prueba sobre la malla textil delgada se adherio perfectamente y no se despegaba con con el paso del tiempo. Entonces se comenzaron a realizar las muestras grandes sobre este textil.

Unidades

Finalmente como parte de los resultados de los prototipos-muestras baldosas I y II, se determina el precio unitario un aproximado del costo real de la baldosa.

Cuadro 6. Costo total de material para baldosa (Elaboración propia, 2020)

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO				
Innovando Baldosas: Reutilizando Poliestireno Cristal				
Concepto:	Suministro y colocación de piezas de baldosas de poliestireno cristal con forma rectangular de 9 X 10 cm y de forma cuadrada de 10 X 10 cm. *Incluye herramienta, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.			
CLAVE: BPC.1	UNIDAD M2	CANTIDAD 1 M2		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
MATERIALES				
RECOLECCIÓN DEL POLIESTIRENO CRISTAL	PZA	100	\$8.00	\$800.00
SOPLETE DE GAS	PZA	1	\$400.00	\$400.00
MALLA TEXTIL DELGADA	M	1.5	\$60.00	\$90.00
			SUMA DE MATERIALES	\$1,290.00

Cuadro 7. Costo total de mano de obra para baldosa (Elaboración propia, 2020)

MANO DE OBRA				
CUADRILLA NO. 01: COLOCADOR + 1 AYUDANTE	JORNADA	0.50	\$800.00	\$400.00
HERRAMIENTA	%MO	0.03	\$400.00	\$12.00
SUMA DE MANO DE OBRA				\$412.00

PRECIO UNITARIO	\$1,702.00
------------------------	------------

Conclusión

En síntesis, podemos decir que la misma “necesidad” de reutilizar todo aquello que creemos basura nos lleva a resultados positivos como el que obtuvimos con la experimentación anteriormente expuesta.

Nuestro objetivo siempre fue innovar en el área de las baldosas, creando una nueva a través del poliestireno cristal, ese objetivo se respetó y finalmente se concretó a través de la experimentación.

Por otro lado, nos damos cuenta de que si sabemos reutilizar los materiales de manera correcta podemos crear e innovar en distintas áreas como lo fue ahora en arquitectura, podemos proponer ideas nuevas de decoración para el futuro siendo más accesibles para todo aquel que desea adquirir un producto distinto.

Referencias

- El universal (2017, 16 de agosto). Bic domina este regreso a clases. El Universal.
<https://www.eluniversal.com.mx/cartera/negocios/bic-domina-este-regreso-clases>
- Lara, R. (2018, 13 de marzo). Descubre la planta de BIC y el secreto de por qué no sabe fallar. Manufactura.
<https://manufactura.mx/industria/2018/03/13/conoce-la-planta-de-bic-y-el-secreto-de-por-que-no-sabe-fallar>
- Llop, J., Stoyanova, T., Barrachina, E., Noatri, M.D., Nebot, I., Carda, J.B. (s.f.). La industria cerámica en España: retos y oportunidades en tiempos de crisis.
<https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/67%20PON%20ESP.pdf>
- López, A. (2016, 12 de diciembre). El curioso origen del bolígrafo Bic. 20 minutos Blog.
<https://blogs.20minutos.es/yaestaellistoquetodolosabe/el-curioso-origen-del-boligrafo-bic/>
- UNE Normalización Española (s.f.). Busca tu norma. Consultado el 20 abril de 2020.
[https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/?k=\(i:9110023\)](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/?k=(i:9110023))

S-BOX HÍBRIDAS EN SISTEMAS DE CIFRADO DE IMÁGENES

OLIVER ESPINOSA OLVERA¹, JOSÉ MURGUÍA IBARRA², MARCELA MEJÍA CALOS³

Resumen

Las cajas de sustitución (“Substitution-Box”, “S-Box”) son componentes importantes en los sistemas de cifrado por bloques, ya que proporcionan al sistema la propiedad de no-linealidad resistente al criptoanálisis. Uno de los problemas en su diseño son los puntos fijos, valores que se mantienen igual a su entrada y a su salida ($SB[a]=a$). Una forma de corregir esto consiste en agregar una constante fija, la cual realiza un offset al valor de salida evitando que sea igual al valor de entrada. Sin embargo, las S-Box por sí solas no son igual de eficientes que un sistema de cifrado completo, ya que, aun añadiendo la constante, en sistemas de cifrado de imágenes los valores de pixeles iguales se sustituyen con el mismo valor. En este trabajo se propone un sistema de cifrado de imágenes utilizando únicamente una S-Box con manejo dinámico de constantes a la cual se le denominará S-Box híbrida, ya que a diferencia de las “S-Box dinámicas” que se generan de manera diferente para cada iteración, ésta se mantiene fija cambiando únicamente la constante utilizada para cada pixel. Para comprobar la efectividad de este sistema, se evaluaron varias imágenes utilizando únicamente la S-Box del sistema AES, su versión híbrida y el sistema de cifrado completo.

Palabras clave: Cifrado, constantes dinámicas, imágenes, S-Box híbridadas, seguridad.

Introducción

Hoy en día contamos con varias clases de sistemas de cifrado para proteger diferentes tipos de información [1-4]. Una de las principales necesidades de estos sistemas es contar con la propiedad denominada confusión [5], que hace que la relación estadística entre los datos cifrados y la llave sea lo más desvinculada posible. Generalmente esto se consigue mediante una tabla de sustitución, comúnmente conocida como caja de sustitución o S-Box. La S-Box proporciona al sistema la propiedad de no-linealidad, la cual aumenta la resistencia ante los distintos ataques criptográficos. En los últimos años se han implementado diferentes técnicas para generar estas S-Box, tales como aproximaciones caóticas [6,7,8,9], sistemas discretos [10] o los basados en la sincronización de autómatas celulares

¹ Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO), Av. Karakorum 1470 Lomas 4a. CP 78210 San Luis Potosí, SLP México. oliverjesus_1@hotmail.com

² Facultad de Ciencias / Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). Av. Chapultepec #1570 Privadas del Pedregal C.P. 78295 San Luis Potosí, SLP México.

³ Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO), Av. Karakorum 1470 Lomas 4a. CP 78210 San Luis Potosí, SLP México.

[11-13]. De igual modo también se han generado las llamadas S-Box dinámicas [14], en las cuales la condición inicial para generarlas cambia en cada paso de tiempo, produciendo una S-Box “nueva” en cada iteración. Esta implementación pese a ser segura, conlleva un alto costo computacional, lo que las hace poco eficientes. Por otro lado, a pesar del bajo costo computacional que una S-Box fija proporciona, estas pueden presentar los llamados puntos fijos. Estos son valores en los cuales los bloques de entrada son transformados al pasar por la S-Box y se obtiene el mismo valor a su salida ($SB[a]=a$). Una forma de corregir esto consiste en agregar una constante fija, la cual realiza un offset al valor de salida evitando que sea igual al valor de entrada [15]. En este trabajo se analiza la implementación de constantes dinámicas en la S-Box del sistema AES, que a diferencia de la constante fija, esta cambia en cada iteración. A este tipo de S-Box se le denominará S-Box híbrida, y se evaluará utilizándola como un sistema de cifrado y como parte del sistema AES en modo ECB (Electronic CodeBook) el cual presenta el problema de no cifrar bien las imágenes planas ni en blanco y negro. En la sección siguiente se describe la implementación híbrida de la S-Box. Posteriormente, se comparan los resultados estadísticos obtenidos de las pruebas de análisis de seguridad criptográfica realizadas a la S-Box del sistema AES en su versión normal e híbrida, y al sistema AES en su versión normal y con la inclusión de la S-Box híbrida, mostrando la amplia mejoría al utilizar la implementación. Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas.

Materiales y Métodos

Cuando se transmite información, cada byte corresponde a un vector de 8 bits. Esto nos permite representar cada byte como un elemento de un campo finito. Para generar la S-Box del sistema AES se considera el campo de Galois [16] $GF(2^8)$ de orden 256, que corresponde a la representación binaria de los números del 0 al 255, y las operaciones son módulo 2. Para generar la S-Box del sistema AES se debe calcular el inverso multiplicativo de todos los elementos del campo finito $GF(2^8)$. En otras palabras: para todos los posibles 256 valores de byte b , calcular el byte b^{-1} tal que:

$$b \cdot b^{-1} = 1$$

en donde \cdot representa la multiplicación polinomial binaria. El algoritmo estándar para llevar a cabo este proceso se conoce como Algoritmo Euclidiano Extendido [17]. En este proceso cada valor de entrada se multiplica por un número entre 0 y 255, para después dividir el resultado entre un polinomio irreducible. Si el valor escogido para la multiplicación fue precisamente el inverso multiplicativo (b^{-1}), la división dará como residuo 1. En caso de que no haya sido el inverso multiplicativo, la división arrojará un residuo diferente de 1. Cuando la división no pueda realizarse más por las dimensiones de ambos números, se procede a intentar la multiplicación con el siguiente número. De esta manera para cada valor de la S-Box, se trata de encontrar

su inverso multiplicativo probando de uno por uno. El polinomio irreducible para esta S-Box es:

$$x^8 + x^4 + x^3 + x + 1$$

siendo su equivalente binario el número 100011011 que corresponde al 283 decimal.

De esta manera, la transformación que proporciona la S-Box queda como:

$$f(x) = \begin{cases} (x)^{-1} & \text{si } x \neq 0 \\ x & \text{si } x = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Sin embargo, aún con esta transformación se presentan puntos fijos (SB[a]=a). Para removerlos, al resultado obtenido se realiza una operación xor entre el valor obtenido y una constante entre 0 y 255 decimal, la cual realiza un offset al valor de salida evitando que sea igual al valor de entrada, como se observa en la figura 1. De este modo la ecuación 1 se convierte en:

$$f(x) = \begin{cases} (x)^{-1} + D & \text{si } x \neq 0 \\ x + D & \text{si } x = 0 \end{cases} \quad (2)$$

siendo *D* la constante añadida. En la generación de la S-Box del sistema AES, se utiliza la constante 99 decimal (01100011 binario) [15].

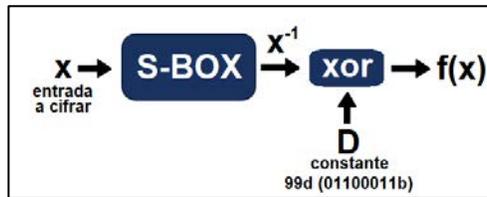


Figura 1: Diagrama esquemático del funcionamiento de la S-Box.

Constantes Dinámicas

Aun añadiendo la constante, la S-Box por sí sola no es igual de eficiente como un sistema de cifrado completo. Las imágenes procesadas por una S-Box presentan una alta correlación adyacente, ya que cada valor de entrada tiene un solo valor de salida, por lo tanto, imágenes planas o que cuentan con el mismo valor en sus pixeles, se procesan de la misma manera. La figura 2 muestra el resultado de cifrar una imagen con la S-Box del AES con y sin constante. Como se puede apreciar la imagen obtenida no presenta un buen nivel de cifrado, ya que, a pesar de evitar los puntos fijos, se observa una correlación adyacente muy alta. Por lo tanto, por si sola la S-Box no puede ser considerada eficiente como un sistema de cifrado completo.



Figura 2: Imagen procesada por la S-Box del sistema AES con y sin constante.

Para corregir este problema se propone el uso de constantes dinámicas, como se muestra en el diagrama esquemático en la figura 3. Para realizar este proceso, una vez utilizada la constante **D** de la S-Box en la primera iteración, esta pasará por una S-Box, de modo que cambiará. Esta nueva constante **D** será la que se utilice en la siguiente iteración, repitiendo este proceso para cada iteración. De este modo la constante **D** cambiará al cifrar cada pixel de la imagen, lo que permitirá cifrar de manera distinta todos los pixeles, incluyendo aquellos con el mismo valor. Este proceso añade aún más confusión [5] a la imagen cifrada, aumentando su seguridad. En el diagrama se muestra como después de utilizar la constante (iteración k-ésima), esta pasa por una S-Box para cambiar su valor para la siguiente iteración (k+1).

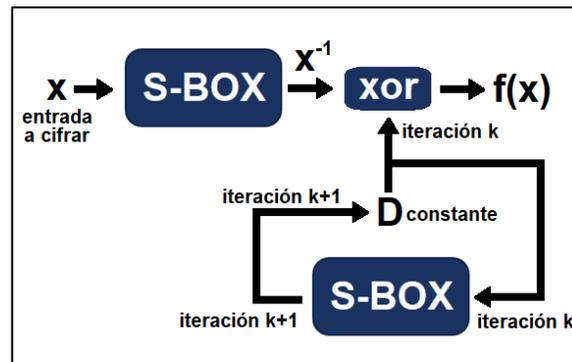


Figura 3: Diagrama esquemático de la evolución de las constantes dinámicas.

Resultados y Discusión

En esta sección, se presenta el análisis de seguridad criptográfica de la S-Box implementada de manera híbrida y normal, aplicando diferentes pruebas.

INDEPENDENCIA DE BIT (BIC)

La independencia de bits [18] es un criterio analizar el comportamiento de los patrones de bits en la salida y los efectos de estos cambios en las siguientes rondas de cifrado. Este criterio se analiza modificando un solo bit de los datos de entrada a la S-Box, y se analiza la independencia de los valores binarios de salida.

NO LINEALIDAD (NL)

La propiedad de no linealidad [19] se define como el número de bits que deben modificarse en la tabla de verdad de una función booleana para aproximarse a la función afín más cercana. El valor límite de no linealidad es $N = 2^{n-1} - 2^{\frac{n}{2}-1}$ cuando se representa una S-box en $GF(2^n)$. Para $GF(2^8)$, el valor teórico máximo para N es 120.

PROBABILIDAD DE APROXIMACIÓN LINEAL (LP)

La probabilidad de aproximación lineal se utiliza para determinar el valor máximo de desequilibrio en el evento entre los bits de entrada y salida. Se define como:

$$LP = \max_{M_x, M_y \neq 0} \left| \left(\frac{\#\{x | x \cdot M_x = S(x) \cdot M_y\}}{2^n} \right) - \frac{1}{2} \right| \tag{3}$$

donde M_x y M_y son las máscaras de entrada y de salida respectivamente, x denota el conjunto de todas las entradas posibles, y 2^n es el número de sus elementos.

PROBABILIDAD DE APROXIMACIÓN DIFERENCIAL (DP)

Este análisis mide, cómo un cambio está presente en la respuesta, ante cualquier modificación de la entrada. En circunstancias ideales, se espera que la S-Box muestre una uniformidad diferencial. Para garantizar esto, un diferencial Δx de entrada, debe mapearse únicamente a un diferencial de salida Δy . La probabilidad de aproximación diferencial (DP) se define como:

$$DP(\Delta x \rightarrow \Delta y) = \left[\frac{\#\{x \in X | S(x) \oplus S(x \oplus \Delta x) = \Delta y\}}{2^n} \right] \tag{4}$$

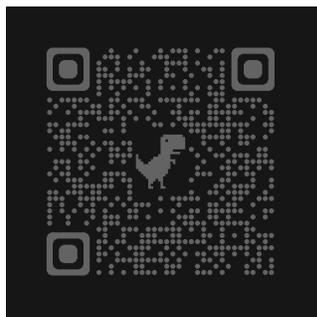
donde x es el conjunto de todos los valores de entrada posibles, y 2^n es el número de sus elementos. En el caso de que la uniformidad diferencial sea pequeña, la S-Box se considera fuerte.

Los resultados numéricos de estas pruebas se muestran en el cuadro 1. Como se puede apreciar, el hecho de utilizar constantes no altera ninguno de los valores obtenidos en dichas pruebas, por lo tanto, se concluye que la mejoría alcanzada por la S-Box implementada de manera híbrida, se manifiesta directamente en las imágenes cifradas.

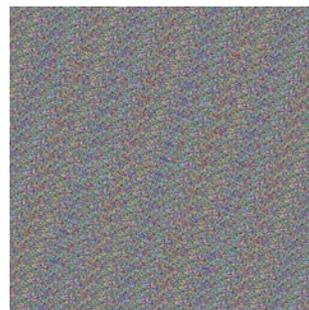
Cuadro 1. Pruebas aplicadas a la S-Box sin constante y con distintas constantes.

S-BOX	BIC	NL	LP	DP
Sin constante	112	112	0.0625	0.015625
Con constante = 204d (11001100)	112	112	0.0625	0.015625
Con constante = 51d (00110011)	112	112	0.0625	0.015625
Con constante = 170 d (10101010)	112	112	0.0625	0.015625
Con constante = 85 d (01010101)	112	112	0.0625	0.015625

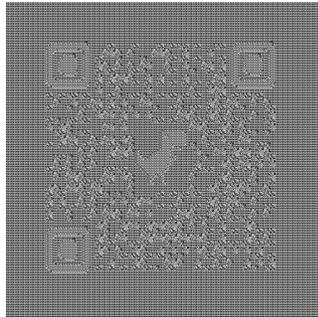
A continuación, se analizan los resultados estadísticos al realizar distintas pruebas a las imágenes obtenidas por la S-Box normal, la S-Box híbrida, el AES normal, y el AES con la implementación de su S-Box híbrida, las cuales se muestran en la figura 5.



S-BOX AES NORMAL



S-BOX AES HÍBRIDA



AES COMPLETE NORMAL



AES COMPLETE HÍBRIDO

Figura 5: Imágenes cifradas obtenidas con los diferentes sistemas

Histogramas

Esta prueba muestra cómo se distribuyen los pixeles en la imagen, trazando el número

de estos mismos en cada nivel de intensidad de color. La figura 6 muestra los histogramas de la imagen original. La figura 7 corresponde a los histogramas de la imagen cifrada con la S-Box normal. La figura 8 a los de la imagen cifrada con la S-Box híbrida. La figura 9 a los de la imagen cifrada con el sistema AES completo, y la figura 10 a los de la imagen cifrada con el sistema AES completo con la inclusión de la S-Box híbrida dentro de sus etapas. Como se puede apreciar, la implementación híbrida genera uniformidad en los histogramas de cada canal de color, mejorando ampliamente la seguridad visual de la imagen.

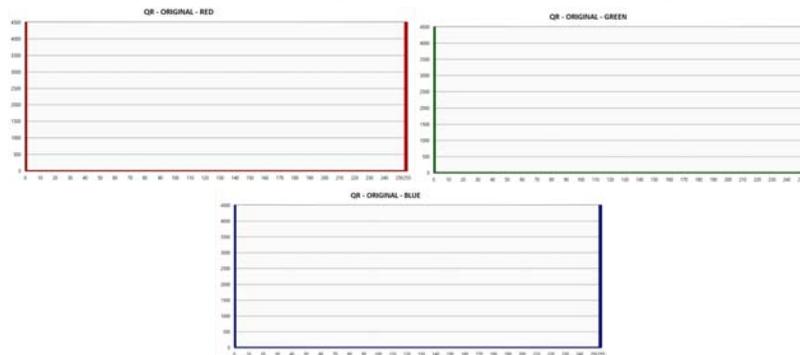


Figura 6: Histogramas RGB de la imagen original.

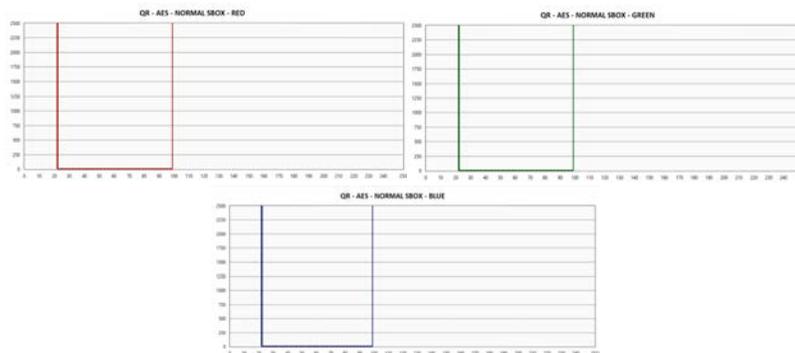


Figura 7: Histogramas RGB de la imagen cifrada con la S-Box normal.

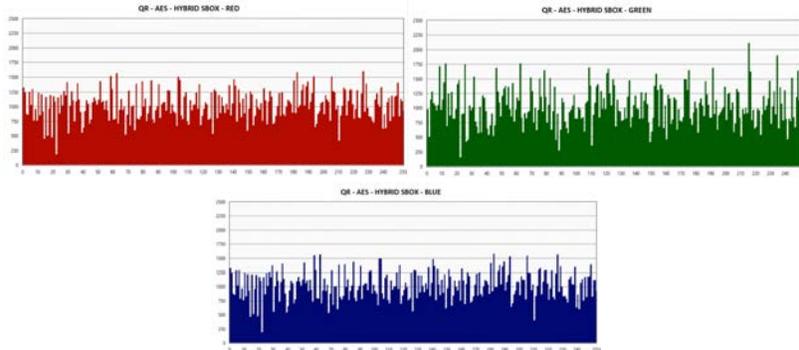


Figura 8: Histogramas RGB de la imagen cifrada con la S-Box híbrida.

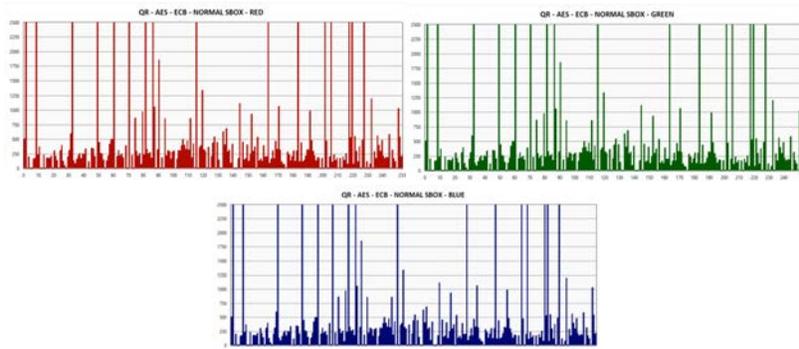


Figura 9: Histogramas RGB de la imagen cifrada con el sistema AES completo.

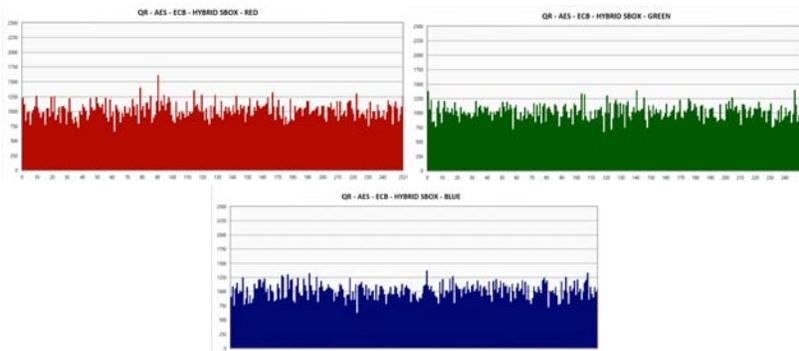


Figura 10: Histogramas RGB de la imagen cifrada con el sistema AES completo con la inclusión de la S-Box híbrida dentro de sus etapas.

Correlación

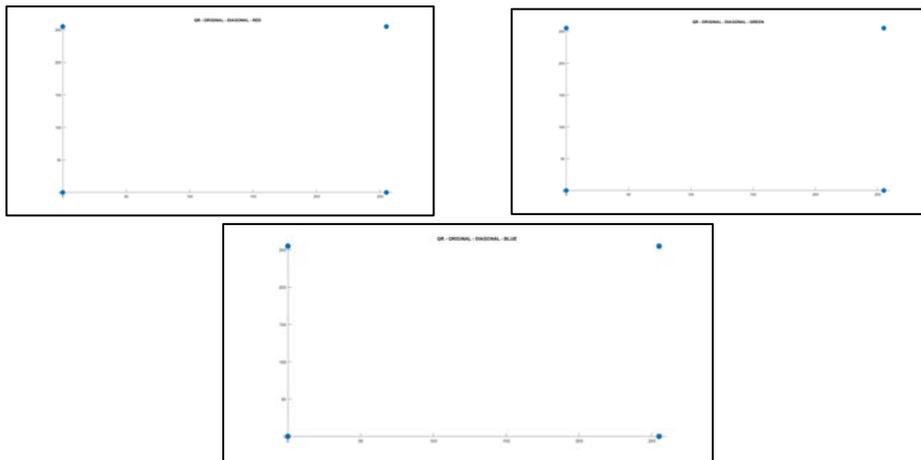
Para demostrar que la imagen cifrada es independiente de la imagen original, se calcula el coeficiente de correlación entre ambas imágenes. Si el coeficiente es cercano a 0, sugiere que no hay correlación lineal, o bien que la correlación es muy débil. Por otra parte, si el coeficiente es cercano a 1 o -1, implicaría que las imágenes están fuertemente relacionadas. El cuadro 2 muestra los coeficientes de correlación para las distintas imágenes cifradas con obtenidas. Puede observarse una correlación mucho menor con la implementación de la S-box híbrida, tanto por sí sola como en el sistema de cifrado completo.

Cuadro 2. Resultados de la correlación obtenida de las distintas imágenes cifradas.

S-Box normal	S-Box híbrida	AES normal	AES con S-Box híbrida
R-R: 1	R-R: 0.0047279	R-R: 0.0610385	R-R: 0.0029634
R-G: 1	R-G: 0.0081262	R-G: 0.0610385	R-G: 0.0017596
R-B: 1	R-B: 0.0004146	R-B: 0.0610385	R-B: 0.0010430
G-R: 1	G-R: 0.0047279	G-R: 0.0610385	G-R: 0.0029634
G-G: 1	G-G: 0.0081262	G-G: 0.0610385	G-G: 0.0017596
G-B: 1	G-B: 0.0004146	G-B: 0.0610385	G-B: 0.0010430
B-R: 1	B-R: 0.0047279	B-R: 0.0610385	B-R: 0.0029634
B-G: 1	B-G: 0.0081262	B-G: 0.0610385	B-G: 0.0017596
B-B: 1	B-B: 0.0004146	B-B: 0.0610385	B-B: 0.0010430

Correlación Adyacente

Otra prueba estadística considerada es la correlación adyacente de manera horizontal, vertical, y diagonal, entre los píxeles de la imagen escogida. Para esto se seleccionan 3000 pares de píxeles adyacentes en cada dirección, y se calcula el coeficiente de correlación en cada par. Las figuras 11 a la 15 muestran de manera gráfica la correlación diagonal de los 3 canales de color de las imágenes: Original, cifrada con S-Box normal, cifrada con S-Box híbrida, cifrada con AES normal, y cifrada con AES con la S-Box híbrida dentro de sus etapas, respectivamente. El cuadro 3 muestra los resultados numéricos de la correlación horizontal, vertical, y diagonal. Como puede apreciarse, el uso de S-Box híbridas tanto en el sistema completo como por si solas, muestra una reducción considerable en la correlación adyacente de la imagen, lo que indica una mayor aleatoriedad y seguridad visual.

**Figura 11:** Correlación adyacente de la imagen original.

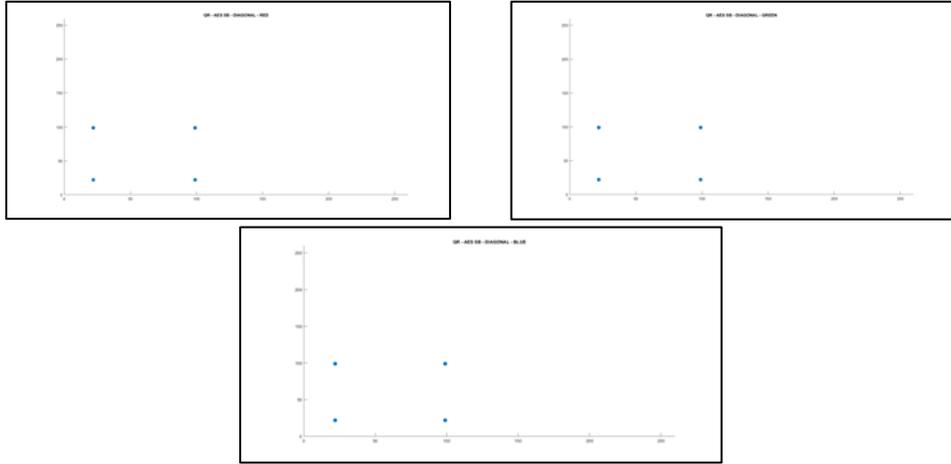


Figura 12: Correlación adyacente de la imagen cifrada con la S-Box normal.

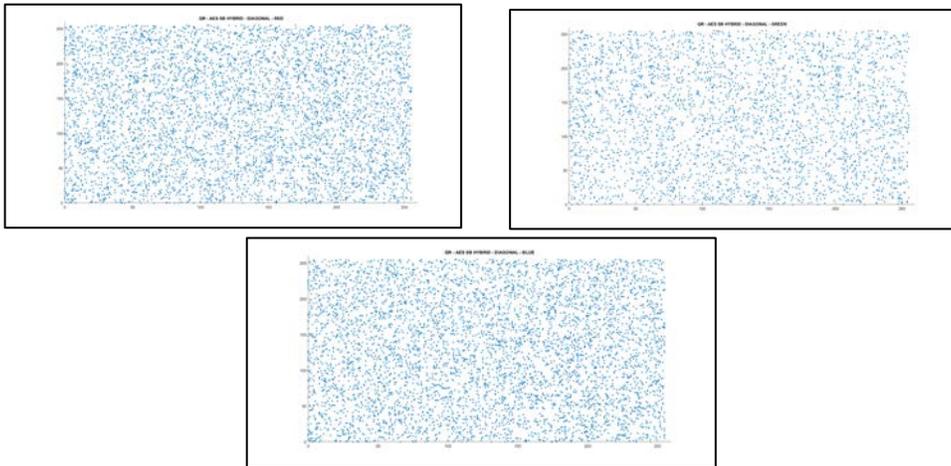


Figura 13: Correlación adyacente de la imagen cifrada con la S-Box híbrida.

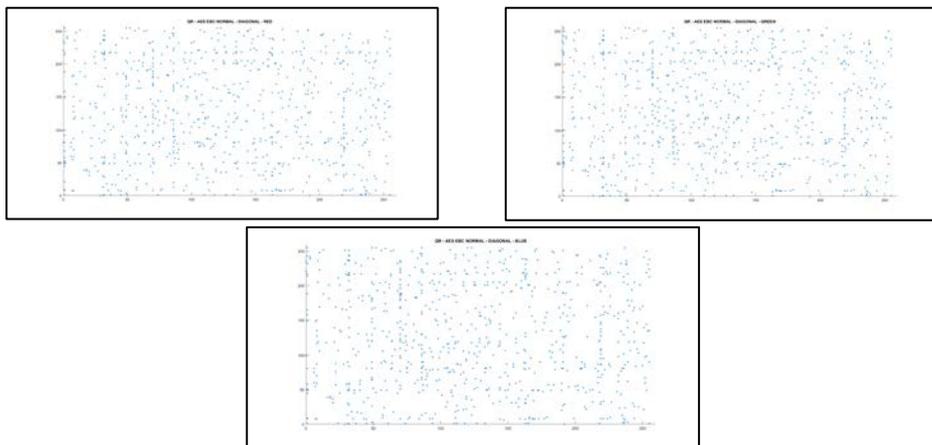


Figura 14: Correlación adyacente de la imagen cifrada con el sistema AES normal.

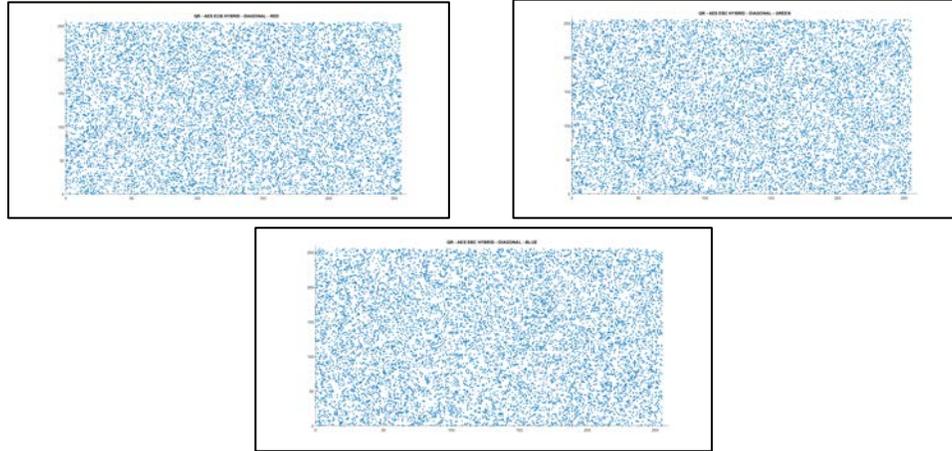


Figura 15: Correlación adyacente de la imagen cifrada con el sistema AES normal con la inclusión de la S-Box híbrida dentro de sus etapas.

Cuadro 3. Correlación adyacente obtenida de las distintas imágenes cifradas.

ORIGINAL		
HOR: 0.8563	HOR: 0.8542	HOR: 0.8474
VER: 0.8599	VER: 0.8599	VER: 0.8629
DIAG: 0.8048	DIAG: 0.7926	DIAG: 0.7968
S-BOX NORMAL		
HOR: 0.8520	HOR: 0.8597	HOR: 0.8572
VER: 0.8410	VER: 0.8496	VER: 0.8660
DIAG: 0.7971	DIAG: 0.8028	DIAG: 0.7948
S-BOX HÍBRIDA		
HOR: 0.0442	HOR: 0.0289	HOR: 0.0166
VER: 0.0080	VER: 0.0038	VER: 0.0240
DIAG: 0.0153	DIAG: 0.0288	DIAG: 0.0095
AES NORMAL		
HOR: 0.0464	HOR: 0.0476	HOR: 0.0368
VER: 0.0296	VER: 0.0262	VER: 0.0193
DIAG: 0.2079	DIAG: 0.2047	DIAG: 0.1969
AES CON IMPLEMENTACIÓN DE S-BOX HÍBRIDA		
HOR: 0.0085	HOR: 0.0052	HOR: 0.0194
VER: 0.0084	VER: 0.0090	VER: 0.0128
DIAG: 0.0041	DIAG: 0.0006	DIAG: 0.0076

Entropía

La entropía de la información [20] se usa para medir la aleatoriedad en la textura de una imagen. Esto expresa el grado de incertidumbre en el sistema, y se define como:

$$H(k) = \sum_{k=1}^N p_k \log_2(p_k) \tag{5}$$

donde N es el número de bits dentro de cada pixel, y p_k es la probabilidad asociada a cada bit, siendo el valor máximo de entropía que se puede obtener igual a 8 para cada canal de color en una imagen RGB. El cuadro 4 muestra la entropía de las distintas imágenes cifradas, donde nuevamente se aprecia que los valores de entropía más altos son alcanzados con el uso de S-Box híbridas.

Cuadro 4. Resultados de la entropía obtenida de las distintas imágenes cifradas.

S-Box normal	S-Box híbrida	AES normal	AES con S-Box híbrida
0.6273	7.9474	5.6225	7.9879

Avalanche

Esta prueba evalúa cuantos bits a la salida de un sistema de cifrado cambian, cuando un solo bit a la entrada del sistema es alterado. Esta propiedad conocida como Efecto Avalanche [21] es descrita por la ecuación 6. Un buen resultado se obtiene, cuando el cambio de un solo bit del bloque de entrada provoca que la mitad de los bits de la salida (los bits que se han cifrado) cambien, esto es, que el número de cambios sea cercano al 50%. El nuevo bloque cifrado C_a (cifrado del bloque inicial alterado), se compara con el bloque cifrado original C_o (cifrado del bloque inicial sin alterar), y se obtiene de manera numérica el porcentaje de bits que han cambiado entre ambos. Los bits que resultan ser diferentes entre C_a y C_o , son los que dependían en un principio del bit que se alteró en el bloque inicial. Esta prueba se realiza alterando uno por uno cada bit del bloque original, y haciendo la respectiva comparación con C_o , obteniendo un porcentaje de cambio en cada proceso. Al final los resultados obtenidos suman para obtener un promedio general de la prueba. El cuadro 5 muestra los resultados al medir el efecto avalanche de ambas S-Box y ambos sistemas. Los valores más cercanos al 0.5 nuevamente se obtienen con la S-Box híbrida, y el sistema AES completo que incluye a la S-Box híbrida, demostrando sólidamente la mejoría que esta proporciona.

$$Avalanche = \frac{\text{Número de bits alterados}}{\text{Total de bits}} \times 100\% \quad (6)$$

Cuadro 5. Resultados del efecto avalanche obtenido de las distintas imágenes cifradas.

S-Box normal	S-Box híbrida	AES normal	AES con S-Box híbrida
0.491218	0.495004	0.493835	0.499186

Conclusión

Este trabajo introdujo el concepto de S-Box híbridas mediante el uso de constantes dinámicas, para el cifrado de imágenes. Como se pudo observar, el uso de S-box híbridas, aumentó considerablemente la seguridad de las imágenes, tanto de manera cualitativa (visual) como de manera cuantitativa (estadística). Los resultados arrojados muestran que incluso la S-Box híbrida por si sola, es comparable con un sistema de cifrado completo. Adicionalmente, el sistema AES ECB fue mejorado con la implementación de la S-Box híbrida dentro de sus etapas. Este sistema es conocido por no cifrar correctamente imágenes planas ni en blanco y negro, obteniendo resultados drásticamente inseguros. Sin embargo, con el uso de la S-Box híbrida el cifrado obtenido fue altamente seguro, corrigiendo de manera eficiente y eficaz el problema presentado en este sistema. El uso de S-Box híbridas es, por lo tanto, altamente recomendable en sistemas de cifrado de imágenes, ya que añade mucho más difusión y seguridad que las S-Box normales.

Referencias

- Paar, C., & Pelzl, J. (2009). *Understanding cryptography: a textbook for students and practitioners*. Springer Science & Business Media.
- Cusick, T. W., & Stanica, P. (2017). *Cryptographic Boolean functions and applications*. Academic Press.
- Daemen, J., & Rijmen, V. (2002). *The design of Rijndael* Springer Verlag. Berlin Heidelberg New-York.
- Ramírez-Torres, M. T., Murguía, J. S., & Carlos, M. M. (2014). Image encryption with an improved cryptosystem based on a matrix approach. *International Journal of Modern Physics C*, 25(10), 1450054.
- Shannon, C. E. (1949). Communication theory of secrecy systems. *The Bell system technical journal*, 28(4), 656-715.
- Jamal, S. S., Khan, M. U., & Shah, T. (2016). A watermarking technique with chaotic fractional S-box transformation. *Wireless Personal Communications*, 90(4), 2033-2049.
- Khan, M., & Asghar, Z. (2018). A novel construction of substitution box for image encryption applications with Gingerbreadman chaotic map and S 8 permutation. *Neural computing and applications*, 29(4), 993-999.
- Peng, J., Zhang, D., & Liao, X. (2011, August). A method for designing dynamical S-boxes based on hyperchaotic Lorenz system. In *IEEE 10th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI-CC'11)* (pp. 304-309). IEEE.
9. Ullah, A., Jamal, S. S., & Shah, T. (2017). A novel construction of substitution box using a combination of chaotic maps with improved chaotic range. *Nonlinear Dynamics*, 88(4), 2757-2769.
- Lambić, D. (2017). A novel method of S-box design based on discrete chaotic map. *Nonlinear dynamics*, 87(4), 2407-2413.
- Szaban, M., & Serebinski, F. (2011). Designing Cryptographically Strong S-Boxes with Use of ID Cellular Automata. *Journal of Cellular Automata*, 6(1).
- Serebinski, F., Bouvry, P., & Zomaya, A. Y. (2004). Cellular automata computations and secret key cryptography. *parallel computing*, 30(5-6), 753-766.
- Szaban, M., & Serebinski, F. (2011, February). Dynamic cellular automata-based S-boxes. In *International Conference on Computer Aided Systems Theory* (pp. 184-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cassal-Quiroga, B. B., & Campos-Cantón, E. (2020). Generation of dynamical S-boxes for block ciphers via extended logistic map. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- Buchholz, J. J. (2001, December). Advanced encryption standard. In *International workshop on FAST software encryption*.
- Daemen, J., Knudsen, L. R., & Rijmen, V. (1997). The Galois Field GF (28). *Dr. Dobb's Journal*.

- Iliev, A., & Kyurkchiev, N. (2018, November). The faster extended Euclidean algorithm. In Collection of scientific works from conference (pp. 21-26).
- Webster, A. F., & Tavares, S. E. (1985, August). On the design of S-boxes. In Conference on the theory and application of cryptographic techniques (pp. 523-534). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Farwa, S., Shah, T., & Idrees, L. (2016). A highly nonlinear S-box based on a fractional linear transformation. SpringerPlus, 5(1), 1-12.
20. Wu, Y., Zhou, Y., Saveriades, G., Agaian, S., Noonan, J. P., & Natarajan, P. (2013). Local Shannon entropy measure with statistical tests for image randomness. Information Sciences, 222, 323-342.
- Ahmad, J., & Ahmed, F. (2010). Efficiency analysis and security evaluation of image encryption schemes. computing, 23, 25.

LA EMPRESA DE BASE TECNOLÓGICA COMO IMPULSOR PARA EL DESARROLLO

OSCAR RICARDO PÉREZ DURÁN¹, LAURA HERRERA FRANCO², ADOLFO RODRÍGUEZ PARADA³

Resumen

La presente investigación expone los elementos del modelo de innovación triple hélice en la *spin-off* como referente de emprendimientos de base tecnológica; asimismo, se describe su impacto productivo, económico y social en el ecosistema empresarial. El diseño de la investigación tuvo un enfoque cualitativo y descriptivo; por tal motivo, se realizó una revisión de artículos científicos y bases de datos para abordar el estudio desde las diferentes perspectivas, se abordaron casos de éxito en contextos internacionales y regionales por medio de un enfoque transdisciplinar. Los resultados del estudio identificaron a los actores públicos y privados, las principales características del entorno de innovación; las ventajas competitivas que pueden obtener las partes interesadas; así como, la necesidad de políticas públicas, infraestructura tecnológica, modelos de negocio y capital que incentiven el desarrollo de los emprendimientos de base tecnológica. Por lo tanto, se hace énfasis en el papel que tiene cada hélice como motor de innovación para generar el desarrollo regional, transferencia tecnológica, generación de agentes de cambio social y científico. Por lo anterior, se concluye que aunque en Latinoamérica existen muchas necesidades que subsanar para este tipo de emprendimientos tecnológicos, se remarcan las áreas de oportunidad que tienen los países con economías emergentes como México.

Palabras clave: Transferencia de tecnología, emprendimiento universitario, triple hélice, desarrollo económico, *spin off*.

Introducción

Son varios los países de Latinoamérica con económicas emergentes (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú, Uruguay, Costa Rica, Bolivia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Panamá, República Dominicana y Venezuela); sin embargo, son pocos los emprendimientos de base científico-tecnológica que nacen y menos los que logran mantenerse, lo que implica retos para los nuevos emprendedores (Kantis *et al.*, 2020). En un estudio reciente se identificaron tan solo 123 empresas tecnológicas, de las cuales los primeros tres lugares se concentran en las ciudades

¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Negocios y Tecnologías (UV). KM 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz. orpd@outlook.com

² Universidad Veracruzana, Facultad de Negocios y Tecnologías (UV). KM 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz.

³ Universidad Veracruzana, Facultad de Negocios y Tecnologías (UV). KM 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Campus Ixtaczoquitlán, Municipio de Ixtaczoquitlán, Veracruz.

de Sao Paolo, Brasil (59), Buenos Aires, Argentina (22) y Ciudad México, México (17), las 123 empresas tiene un valor mínimo de 25 millones de dólares y un valor colectivo de más de 37.7 billones de dólares (Arrieta *et al.*, 2017). De acuerdo con el Plan de Desarrollo Veracruzano (2019), la participación económica de la región de las Altas Montañas se basa en el sector primario (agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza) con 41.05 %, en segundo lugar, el sector servicios con 24.78 %, seguido del sector secundario con 20.74 % y comercio con 12.27 %. Por otra parte, la región Las Montañas, cuenta con 16 municipios con muy alta marginación, 17 con alta marginación, 17 con media marginación y 7 con baja o muy baja marginación, por lo que se puede concluir que gran parte de los sitios con actividad primaria lo hacen en su mayoría para autoconsumo y comercio local; por tales motivos, la transferencia de tecnología, así como las empresas de base tecnológica pueden aprovechar estas necesidades apremiantes para ser detonantes de bienestar y desarrollo social.

Por estas razones, la presente investigación tiene como objetivo evidenciar las características de los emprendimientos de base científico-tecnológica bajo la perspectiva del modelo triple hélice, con la finalidad, de exponer las ventajas de su aplicación y precisar las necesidades con base a los ejemplos analizados.

Materiales y métodos

El diseño de la investigación tuvo un enfoque cualitativo y descriptivo; por tal motivo, se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos, bases de datos y sistemas para enfocar la discusión desde diferentes perspectivas, por medio de un enfoque transdisciplinar, donde se abordaron casos específicos en contextos internacionales y regionales.

Resultados y discusión

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de describir las implicaciones y efectos que están teniendo las empresas de base tecnológica en su entorno. Los gobiernos en diferentes partes del hemisferio están prestando atención al modelo de innovación de triple hélice para emprendimientos tecnológicos como punto de partida para la transformación estructural y el desarrollo económico regional (Grazzi y Pietrobelli 2016).

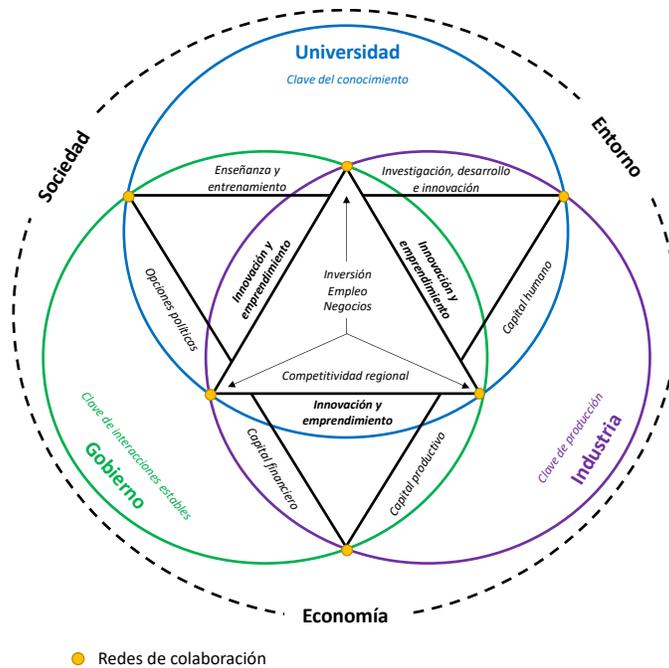


Figura 2. Modelo de innovación triple hélice (elaboración propia, basado en Compagnucci y Spigarelli 2018).

Hélice Universitaria

Las problemáticas regionales son una oportunidad para investigadores y universidades que dentro de sus actividades impulsan la transferencia de tecnología para perfeccionar los sistemas de producción (Villani *et al.*, 2017). La educación es base del pensamiento emprendedor, es donde se germinan las habilidades y atributos del capital humano. Academia y empresa se benefician al hacer vínculos de estancias para capacitar recursos humanos con alta especialización (Ahmed *et al.*, 2020). Asimismo, los estudiantes encuentran nichos reales en donde potencializan sus habilidades resultando en la generación de tecnologías novedosas y emprendimientos base tecnológica (Yami *et al.*, 2020). Del mismo modo, el contexto social y cultural tienen repercusiones positivas en la construcción de emprendimientos, la comercialización de productos nuevos y el valor generado en la aceptación de nuevos mercados; la diversidad de origen tiene influencia positiva en grupos de trabajo, específicamente en sectores en donde la comunicación son importantes, por ejemplo en las áreas de mercadotecnia, finanzas e investigación y desarrollo; donde se observó un impacto sustancial, impulsando la creatividad, el desempeño y la innovación de empresas que tienen trasfondo científico tecnológico (Gavious y Milo 2020). Existen diferentes mecanismos para agregar valor, por ejemplo, la segmentación del mercado y la diferenciación de producto que origina estrategias para diferentes consumidores (Lacka *et al.*, 2020).

Entre las posturas de transferencia de tecnología que se están desarrollando dentro de la academia convergen la innovación ecotecnológica y educativa bajo el mismo contexto; innovar, educar y capacitar a través de dos procesos: a) La participación de personas en proyectos bipartitas de investigación-acción, b) La elaboración y maduración de programas educativos con impacto sociocultural en las poblaciones locales mediante interlocutores que promuevan el empoderamiento bajo un esquema transdisciplinar; la innovación ecotecnológica tiene aplicación en diferentes productos como lo son: programas informáticos, técnicas para bioremediación, mejorar sistemas, prácticas agroecológicas, metodologías de medir impactos ambientales y dispositivos para mediciones de compuestos nutraceuticos (Gavito *et al.*, 2017; Wood 2017).

Sin duda alguna, el conocimiento ha jugado uno de los papeles más importantes para las empresas con origen en tecnológica dado que es la vía para obtener una ventaja y suplir las necesidades de un mercado en constante cambio (Baier-Fuentes *et al.*, 2020). En un estudio realizado con datos públicos para evaluar el estado de comercialización y la transferencia tecnológica de organizaciones de investigación pública en Corea, mostró que la colaboración con la industria tuvo un efecto desfavorable en la creación de *spin-off* y efectos positivos en acuerdos de uso de licencias de tecnología y creación de patentes, ésta aparente contradicción es posible debido a que las investigaciones financiadas por el sector privado requieren la propiedad conjunta de los resultados provenientes de la investigación; si la propiedad es conjunta es fácil utilizarlas para el surgimiento de *spin off*, de lo contrario gestionar los permiso con la industria privada es difícil, por lo que las unidades de transferencia optan por licenciar las tecnologías desarrolladas en lugar de utilizarlas para crear una *spin off*; no obstante, el gobierno coreano ha creado una plataforma intermediaria para formar acuerdos de licencias e ingresos entre las partes (Son *et al.*, 2019).

Por otra parte, también se encuentran las empresas *spin-off* que surgen del seno académico como parte de las opciones para aplicar la investigación; con base en su origen las podemos agrupar en tres rubros: empresas creadas por investigadores universitarios, empresas emergentes con licencias de explotación de nuevas tecnologías o empresas creadas con fondos públicos. De acuerdo con su finalidad la *spin-off* de base tecnológica puede ser: prestadora de servicios especializados y de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) (Bruneel *et al.*, 2020; Pérez-Hernández *et al.*, 2019; Taheri y Van Geenhuizen 2019). Finalmente, realizar transferencia de conocimiento tiene como propósito resolver problemáticas reales, son útiles para tomar decisiones e intervenir a favor de la sociedad, no sólo se trata de modelos de negocio redituables que generen beneficios a un grupo reducido, sino también para generar estrategias que acerquen las innovaciones y tecnologías a todo tipo de sector interesado (Guaita *et al.*, 2018).

Hélice Gobierno

Por lo que corresponde a políticas públicas, en una investigación reciente se reportó que la región de Latinoamérica presenta limitaciones en dimensiones estructurales como: ciencia, condiciones sociales, educación, plataformas de innovación, tecnología, estructura de negocios y capital social; por lo tanto, es menester que los gobiernos muestren compromiso con políticas empresariales que favorezcan los emprendimientos (Kantis *et al.*, 2020). La triple hélice es un modelo que implica la colaboración de redes interconectadas entre gobiernos, universidades e industrias, éste modelo ha resultado útil para economías emergentes porque establece un ecosistema de innovación que genera ventajas competitivas con la ayuda de relaciones dinámicas para que los interesados cuenten con acceso a las capacidades y habilidades requeridas durante el proceso de internacionalización, esto produce desarrollo económico, educativo y social de las partes interesadas (Figura 2).

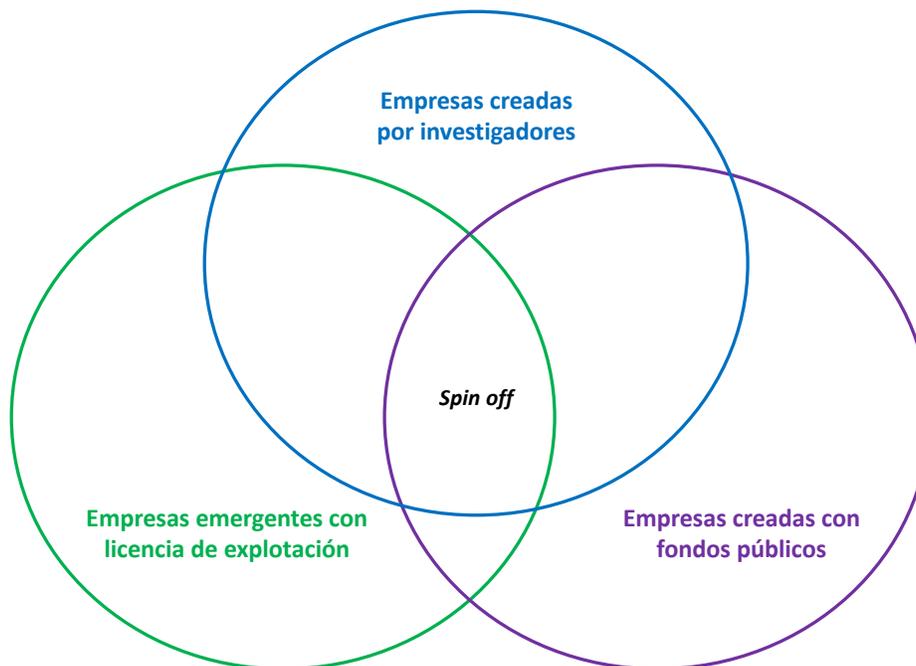


Figura 2. Modelo triple hélice para *spin-off* (elaboración propia, basado en Maldonado *et al.*, 2019).

En México y Latinoamérica se ha iniciado la incorporación del modelo en algunas empresas, para capacitar gerentes y empleados, incentivar las capacidades tecnológicas e intelectuales y mejorar la productividad con la meta de identificar nichos de mercado, aún existe el reto de afianzarlo con ayuda de políticas amigables al desarrollo científico y la investigación; a pesar de ello, existe un campo fértil para germinar nuevos emprendimientos con base tecnológica (Baier-Fuentes *et al.*, 2020).

Hélice empresa

Los emprendimientos contribuyen a incentivar la economía regional con el establecimiento de empleos y la comercialización de conocimientos. Las condiciones de tiempo y espacio en cada historia de éxito son específicas para cada emprendimiento, por lo tanto, replicar un modelo fuera de ese ecosistema y esperar obtener los mismos resultados en otro sitio, tendría resultados poco alentadores; sin embargo, se pueden analizar las variables que tienen presencia en estos casos para optimizar las propuestas de trabajo. Qian y Zhao (2018) argumentan la influencia que tuvieron las políticas públicas, la idiosincrasia regional y la sociedad en las empresas creadas en Nueva Inglaterra y California, Estados Unidos durante el periodo de 1992 a 2012. Silicon Valley presenta un mayor nivel en innovación de alta tecnología que Nueva Inglaterra, los autores refieren las diferencias culturales, la heterogeneidad espacial derivada del origen de ambas localidades que tienen efectos en el espíritu empresarial de alta tecnología, en relación a lo encontrado en Nueva Inglaterra se argumenta que las regulaciones y políticas públicas tienen áreas de cambio para mejorar el entorno comercial de pequeñas empresas y fomenten el emprendimiento en esa región.

La gestión de proyectos tiene relación con el desarrollo personal, el liderazgo, el control de proceso y la comunicación organizacional. Todos los proyectos tienen un tiempo determinado, es importante que los resultados generen un crecimiento sostenible para garantizar el éxito, las empresas de base tecnológica requieren una comprensión de los factores que modifican la visión del personal y la organización para generar innovación, mejora y desarrollo empresarial. El liderazgo es trascendental para el crecimiento personal durante la gestión de un proyecto, asimismo la transferencia y comunicación de conocimientos dentro de la organización puesto que asegura que las partes tengan un estándar y la colaboración se logre de forma homogénea. La satisfacción de todos los interesados como clientes y proveedores puede marcar la ruta para mantener relaciones a largo plazo. La comunicación resulta en una habilidad necesaria durante el proyecto, debido a que contribuye a la correcta ejecución del proyecto y precisión en resultados que mejoran la satisfacción del cliente (Wang *et al.*, 2017).

Mian *et al.*, (2016) realizaron un recorrido por las tres últimas décadas de la incubación de empresas tecnológicas, describe conceptos, características y vicisitudes, así como los principales actores durante su evolución. Los resultados remarcan las necesidades de políticas de apertura, acceso a capital, recursos universitarios, espacio físico para parques e incubadoras de ciencia e investigación, que han marcado diferencia en casos de éxito; la incubación de empresas ha sido un modelo con buenos resultados, sienta las bases para nuevas industrias, también ha modificado las directrices políticas, económicas y tecnológicas. Por lo que ha justificado el avance y el trabajo de académicos y profesionales para desarrollar tecnologías innovadoras que se comercian de forma vertiginosa y constante. La

implementación de tecnologías digitales ha tenido buenos resultados en emprendimientos y mercados en expansión; por otra parte, las condiciones de confinamiento relacionadas a COVID-19 han hecho que el consumidor sea más sedentario y selectivo en sus demandas, lo que modificará las directrices de la gestión empresarial. La inversión de recursos hacia las tecnologías de la información y comunicación, investigación y desarrollo contribuyen al crecimiento del mercado tecnológico (Jafari-Sadeghi *et al.*, 2021).

Conclusiones

Po lo anterior expuesto, se necesita que los nuevos emprendimientos tecnológicos tengan bases sólidas entre las que destacan: políticas públicas y regulaciones bien enfocadas, la deficiencia de estos resulta en barreras; capital social para conferir confianza a los protagonistas y construir redes interpersonales de trabajo; el financiamiento es medular para que los emprendimientos prosperen con el apoyo público y/o privado; identificar las características de la demanda que debe ser dinámica ante entornos cambiantes e interconectada con el crecimiento económico; capital humano especializado con competencias y habilidades necesarias para la ejecución de emprendimientos; finalmente potenciar las habilidades socioemocionales que tienen influencia en la motivación, resiliencia y desempeño de todo emprendimiento.

Referencias

- Ahmed, Tariq, V. G. R. Chandran, Jane E. Klobas, Francisco Liñán, y Panagiotis Kokkalis. (2020). "Entrepreneurship education programmes: How learning, inspiration and resources affect intentions for new venture creation in a developing economy". *International Journal of Management Education* 18(1):100327. doi: 10.1016/j.ijme.2019.100327.
- Arrieta, A., Peña, I., Cruz, M., Costa, G., & Coronel, F. (2017). *Tecnolatinas: Latin America Riding the Technology Tsunami*. Inter-American Development Bank.
- Baier-Fuentes, Hugo, Maribel Guerrero, y José Ernesto Amorós. (2020). "Does triple helix collaboration matter for the early internationalisation of technology-based firms in emerging Economies?" *Technological Forecasting and Social Change* (September). doi: 10.1016/j.techfore.2020.120439.
- Boccia, Flavio, y Gennaro Punzo. (2020). "Nutraceuticals: Some remarks by a choice experiment on food, health and new technologies". *Food Research International* 130(August 2019):108888. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108888.
- Bruneel, Johan, Bart Clarysse, Annelies Bobelyn, y Mike Wright. (2020). "Liquidity events and VC-backed academic spin-offs: The role of search alliances". *Research Policy* 49(10):104035. doi: 10.1016/j.respol.2020.104035.
- Compagnucci, L., & Spigarelli, F. (2018). Fostering cross-sector collaboration to promote innovation in the water sector. *Sustainability*, 10(11), 4154. doi.org/10.3390/su10114154
- Gavious, Ilanit, y Orit Milo. (2020). "Technology entrepreneurship, ethnicity, and success". *Finance Research Letters* 37(June). doi: 10.1016/j.frl.2019.101373.
- Gavito, Mayra E., Hans van der Wal, E. Miriam Aldasoro, Bárbara Ayala-Orozco, Aída Atenea Bullén, Manuel Cach-Pérez, Alejandro Casas-Fernández, Alfredo Fuentes, Carlos González-Esquivel, Pablo Jaramillo-López, Pablo Martínez, Omar Masera-Cerruti, Fermín Pascual, Diego R. Pérez-Salicrup, Ramiro Robles, Ilse Ruiz-Mercado, y Gilberto Villanueva. (2017). "Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:150–60. doi: 10.1016/j.rmb.2017.09.001.
- Grazzi, M., y Pietrobelli, C. (2016). Firm innovation and productivity in Latin America and the Caribbean: The engine of economic development (p. 346). Springer Nature. doi: 10.1057/978-1-349-58151-1
- Guaita, José, Monica de Castro-Pardo, Fernando Pérez-Rodríguez, y José María Martín Martín. (2018). "Journal of Innovation". *Journal of Innovation and Knowledge* 3(1):44–55.
- Kantis, Hugo D., Juan S. Federico, y Sabrina Ibarra García. 2020. "Entrepreneurship policy and systemic conditions: Evidence-based implications and recommendations for emerging countries". *Socio-Economic Planning Sciences* 72(May):100872. doi: 10.1016/j.seps.2020.100872.

- Jafari-Sadeghi, Vahid, Alexeis Garcia-Perez, Elena Candelo, y Jerome Couturier. (2021). "Exploring the impact of digital transformation on technology entrepreneurship and technological market expansion: The role of technology readiness, exploration and exploitation". *Journal of Business Research* 124(April):100–111. doi: 10.1016/j.jbusres.2020.11.020.
- Kantis, Hugo D., Juan S. Federico, y Sabrina Ibarra García. (2020). "Entrepreneurship policy and systemic conditions: Evidence-based implications and recommendations for emerging countries". *Socio-Economic Planning Sciences* 72(May):100872. doi: 10.1016/j.seps.2020.100872.
- Lacka, Ewelina, Hing Kai Chan, y Xiaojun Wang. (2020). "Technological advancements and B2B international trade: A bibliometric analysis and review of industrial marketing research". *Industrial Marketing Management* 88(April):1–11. doi: 10.1016/j.indmarman.2020.04.007.
- Maldonado-Sada, M. T., Caballero-Rico, F. C., & Ruvalcaba-Sánchez, L. (2019). Retos para las spin-off académicas en México como resultado de la valorización económica de I+ D+ i de las universidades. *CienciaUAT*, 14(1), 85-101. doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1136
- Mian, Sarfraz, Wadid Lamine, y Alain Fayolle. (2016). "Technology Business Incubation: An overview of the state of knowledge". *Technovation* 50–51:1–12. doi: 10.1016/j.technovation.2016.02.005.
- Miranda, Jhonattan, Pedro Ponce, Arturo Molina, y Paul Wright. (2019). "Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0". *Computers in Industry* 108:21–36. doi: 10.1016/j.compind.2019.02.002.
- Qian, Haifeng, y Chang Zhao. (2018). "Space-time analysis of high technology entrepreneurship: A comparison of California and New England". *Applied Geography* 95(April):111–19. doi: 10.1016/j.apgeog.2018.04.006.
- Son, Hosung, Yanghon Chung, y Heeju Hwang. (2019). "Do technology entrepreneurship and external relationships always promote technology transfer? Evidence from Korean public research organizations". *Technovation* 82–83(February):1–15. doi: 10.1016/j.technovation.2019.02.005.
- Taheri, Mozhdeh, y Marina Van Geenhuizen. (2019). "Knowledge relationships of university spin-off firms: Contrasting dynamics in global reach". *Technological Forecasting and Social Change* 144:193–204. doi: 10.1016/j.techfore.2019.03.013.
- Pérez Hernández, María Del Pilar Monserrat, y María Guadalupe Calderón Martínez. (2019). "Avances normativos en la creación de empresas spin off universitarias en México". *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento* 7(20):53–64. doi: 10.22201/enesl.20078064e.2019.20.68321.

- Plan Veracruzano de Desarrollo 2019-2024, Gobierno del Estado de Veracruz [México], (2019), disponible en: <http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/5/2019/06/Plan-Veracruzano-Desarrollo-2019-2024.pdf> [Revisado el 01 de septiembre de 2021]
- Villani, Elisa, Einar Rasmussen, y Rosa Grimaldi. (2017). "How intermediary organizations facilitate university–industry technology transfer: A proximity approach". *Technological Forecasting and Social Change* 114:86–102. doi: 10.1016/j.techfore.2016.06.004.
- Wang, Nannan, Shengnan Yao, Guobin Wu, y Xiaoyan Chen. (2017). "The role of project management in organisational sustainable growth of technology-based firms". *Technology in Society* 51:124–32. doi: 10.1016/j.techsoc.2017.08.004.
- Wood, Nancy Lee. (2017). "Preparing Vocational Training for the Eco-Technical Transition". *EarthEd* 221–35. doi: 10.5822/978-1-61091-843-5_18.
- Yami, Saïd, Zouhaier M'Chirgui, Claude Spano, y Olga Gontier Barykina. (2020). "Reinventing science and technology entrepreneurship education: The role of human and social capitals". *Technological Forecasting and Social Change* (January 2018). doi: 10.1016/j.techfore.2020.120044.

IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS PARA SELECCIONAR IDEAS DE NEGOCIOS CON CREATIVIDAD E INNOVACIÓN.

MARÍA ESTHER CARMONA GUZMÁN¹, SUSANA GALLEGOS CÁZARES², CLARA LUZ GALLEGOS PARRA³

Resumen

En la actualidad las tendencias globalizantes han permitido emerger la creatividad que está inmersa en cada ser humano, la creatividad e innovación son dos conceptos que están íntimamente relacionados, pero que no son un sinónimo. Las personas creativas se caracterizan por su pensamiento diferente y son aquellas que buscan resolver o solucionar problemas a través de propuestas creativas y diferentes, y los innovadores tienen un pensamiento el cual encuentra una solución lógica para enfrentar problemas. Se ha comprobado que los logros más significativos de la humanidad se deben al uso de la creatividad, son personas creativas las que han transformado el curso de la historia, éstas fueron capaces de ver donde otros no veían, de realizar nuevas preguntas, de dar respuestas originales, las cuales fueron consideradas útiles para el entorno social. Para ser creativo solo basta con dejar fluir la imaginación y el espíritu emprendedor para plasmar ideas que se convierten en inventos novedosos e igualmente la innovación se ha convertido en un instrumento fundamental dentro de las empresas que desean ser competitivas, en un entorno cada vez más complejo y cambiante, Innovar no siempre significa crear algo nuevo, a veces observar, copiar e implementar algo que ya existe pero que en el ámbito geográfico de nuestra empresa y su mercado no se aplica, es convertir una idea en un negocio.

La idea de negocio es de vital importancia, puesto que es el punto de partida sobre el que se construirá el proyecto empresarial. No obstante, una idea de negocio, por muy original y novedosa que sea, no siempre es sinónimo de oportunidad y éxito, es fundamental que sea rentable, que encuentre aceptación en el mercado y para esto debemos de combinar estratégicamente la creatividad e innovación en los negocios.

Palabras clave: Creatividad, Innovación, Competitividad.

¹ Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo S/N Esq. Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Veracruz. marcarmona@uv.mx

² Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo S/N Esq. Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Veracruz.

³ Universidad Veracruzana (U.V.) Avenida Juan Pablo S/N Esq. Reyes Heróles, Fraccionamiento Costa Verde, C.P. 94294, Boca del Río, Veracruz.

Introducción

Es necesario que las empresas actualmente utilicen elementos como la creatividad e innovación para poder alcanzar los objetivos planeados, con esto podrá convertirse en una organización competitiva. Bajo esta perspectiva, el presente artículo pretende distinguir los aportes de la creatividad e innovación en el desarrollo empresarial a través de ideas de negocios. Primeramente, se recolectará las conceptualizaciones de diferentes autores sobre estos temas, los cuales sugieren que, dichos elementos son esenciales para el progreso de las empresas.

Una nueva herramienta para que la comunidad de una empresa ofrezca nuevas ideas y servicios, aportando creatividad es la de Crowdsourcing, la cual permite que los recursos humanos de forma colaborativa aporten ideas para el desarrollo y creación de nuevos negocios e igualmente el proceso creativo llega a un punto en donde hay que generar ideas a través del Brainstorming o tormenta de ideas este es un método ideado por Osborn a mediados del siglo XX que ha adquirido una enorme fama. (Gutiérrez Colmener, 2014, pág. 41)

La globalización: una tendencia Innovadora y Creativa

En este mundo globalizado todas las empresas contienden por mantener ventajas competitivas, es por lo que es imprescindible que se implementen algunos métodos que permitan a las organizaciones estar actualizadas, es por lo que es necesario identificar estas tendencias innovadoras que permitan fortalecer las ideas de los negocios.

La idea de negocio es, a la hora de emprender, el punto de partida, la base sobre la que se construirá el conjunto del proyecto empresarial. La idea de negocio conformará el cimiento de la nueva organización y, por ese motivo, debe ser una iniciativa sólida, meditada y correctamente analizada de antemano.

Ahora bien, haber identificado una excelente idea para emprender no es sinónimo de oportunidad de negocio. Nuestra iniciativa ha de tener acomodo en el mercado, de nada vale un ingenioso o novedoso proyecto, si éste no tiene éxito entre los potenciales clientes. La clave está, por tanto, en definir ideas empresariales, que al mismo tiempo colmen ciertas necesidades del mercado. Para lograrlo, se precisa un análisis exhaustivo del futuro público objetivo (*target*), de la competencia y de los medios económicos y materiales necesarios para poner en funcionamiento nuestra iniciativa de negocio.

Por tanto, cada nueva idea debe surgir de acuerdo con las siguientes fases, que no necesariamente han de guardar el mismo orden:

- Proceso de identificación de necesidades en el mercado.
- Generación de ideas.
- Evaluación de las ideas.

→ Concepto de producto (transformar la idea en propuesta clara de beneficio para el consumidor).

La innovación es necesaria para mejorar la competitividad porque así las empresas ofrecen productos o servicios únicos donde su competencia se reduce porque las puede eliminar debido que su propuesta es diferenciadora para aquellos consumidores que siempre buscan nuevas innovaciones en los productos y satisfacen y superan sus expectativas; la innovación debe ser vista como un aliado fuerte para que las compañías sean consideradas de vanguardia, y sean seguidas por otras firmas y ser modelos de innovación. (Silva Guerra, 2017)

Es necesario que se agrupen personas para pensar en ideas de negocios novedosas, todo ser humano tiene una creatividad es por lo que cada idea que aporten se anota e independiente de lo grotesca que sea, se tomará en cuenta, y posteriormente se señalaran los pros y contras de cada una, escogiendo la de mayor atractivo y potencial y con esto se da apertura a la creatividad e innovación de los todos los integrantes de la empresa.

(Rojas de Escalona) Plantea que la creatividad y la innovación se han convertido en un imperativo de la organización del siglo XXI. De allí que los investigadores del área organizacional orienten sus esfuerzos en esta dirección desarrollando modelos que intentan explicar el proceso creativo en el seno de la organización; generando estrategias para promover el pensamiento creativo y nuevas formas de evaluar e incentivar la expresión creativa en el entorno organizacional. (2007, págs. 111-130)

La evolución empresarial está marcada por la innovación y la creatividad, tanto en el ámbito de la política como en el de los negocios, se habla de estos factores como una solución a la crisis actual por la que atraviesa el mundo empresarial. Es por lo que las empresas de todo tipo y tamaño no solamente necesitan funcionar mejor, sino también tener una capacidad de cambio a través de las estrategias de innovación y creatividad, ya que este proceso se encarga de mejorar la forma en que la empresa implementa herramientas para el logro de los objetivos.

Retomando lo que señala Emeterio Gómez (1994), referente a que, en el ámbito de la empresa, la competitividad es vista como la capacidad para suministrar bienes y servicios igual o más eficientemente que la competencia, o en forma general, cuando afirma: "Sin mayores refinamientos conceptuales entenderemos por competitividad la capacidad de producir más a menor costo o con mayor calidad que los demás". (Peñaloza, 2005)

La innovación y creatividad en las empresas consiste en hacer emerger y recoger las ideas que surgen en la empresa. Ahondar en ellas y poner en práctica las que sean factibles por realizar. Es por lo que los dirigentes de la empresa deben desarrollar una cultura para que tanto los empleados, clientes y proveedores se sientan que forman parte de la empresa, y a través de esto se fomentaría una cultura

por la innovación y creatividad. La innovación es la clave para el crecimiento y la competitividad de las empresas, conseguir mejorar la competitividad se convertido en un imperativo para volver a crecer de las empresas.

De acuerdo con (Peñaloza)

Resulta interesante observar que, quizás, en ninguna otra época se dio tanta importancia a la competitividad como hoy día. Este paradigma que ha trascendido el mundo económico para aplicarse por igual a personas y empresas, desde hace algún tiempo se encuentra, cotidianamente, en la palestra pública y parece ser un factor determinante para tener éxito en el ambiente competitivo actual. (2005, pág. 46)

Actualmente estamos en una época de grandes cambios en lo que la competencia entre empresas es muy fuerte, esto da como resultado que la lucha por sobrevivir depende de la capacidad de innovar, por lo que se debe observar y comprender que es lo que nuestro entorno quiere y necesita, e igualmente analizar los gustos para generar ideas de negocios que crearán un valor e incrementarán las posibilidades de que la empresa sea exitosa. Es por lo que la innovación empresarial se ha convertido en el motor de las compañías más exitosas, porque las empresas que no innovan están condenadas a estancarse.

La innovación es la introducción de algo nuevo o significativamente mejorado, esto implica una transformación en el modelo de negocios y en algunos otros aspectos de la empresa.

Como afirma (Blanco Encinosa) La creatividad e innovación sirven como motores para facilitar, incrementar y desarrollar el empoderamiento de las empresas desde el aprovechamiento de oportunidades de comercialización y posicionamiento, a través de la instauración de estrategias empresariales innovadores que llevan a las compañías a progresar constantemente. En palabras de Blanco, la creatividad e innovación le dan posibilidades las empresas de anticiparse, prevenir, construir y mantener propuestas o planes que potencian su presencia en el mercado. En ese sentido, dichos elementos enaltecen el valor agregado de las compañías brindando la capacidad de aumentar su desempeño en la creación de bienes y servicios innovadores capaces de competir de manera eficaz con otras empresas y suplir las exigencias de los consumidores. (2016, págs. 39-56)

Una empresa creativa e innovadora es aquella que investiga los problemas y necesidades que tienen sus directivos, clientes y empleados, con relación a sus necesidades, siempre abierta a escuchar las respuestas, con base en estos requerimientos, se planean acciones para mejorar el negocio, realizando innovaciones en los productos existentes o crear nuevos productos.

La creatividad es el elemento más potente de la naturaleza y es el que define como especie a las personas. (Gutiérrez Colmener, 2014, pág. 13)

¿Qué es ser creativo? Es algo sencillo que solo basta con dejar fluir la imaginación y el espíritu emprendedor para plasmar ideas que se convierten en inventos novedosos. La creatividad es una condición necesaria para el desarrollo de un país, para el crecimiento de la humanidad, para la calidad de lo humano. Empezar acciones que contribuyan al desarrollo de la creatividad, es urgente e indispensable.



Las empresas sobreviven y son exitosas si son competitivas, en este mundo globalizado, todas al inicio deben de lograr sus objetivos planteados, por lo consiguiente tienen que realizar un análisis de su entorno, para determinar los criterios que caracterizan la competitividad, mediante herramientas de investigación que les permitan evaluar e identificar las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas, a fin de desarrollar un plan estratégico para los negocios.

Las estrategias competitivas crean el éxito o fracaso de las empresas, a través de habilidades y destrezas, estas permiten medir la capacidad de la empresa para competir con su entorno. Al obtener una posición favorable, esto les permitirá a las empresas permanecer en el mercado y expandirse

Las organizaciones de éxito están construyendo la propia ventaja competitiva a través de menos control y más aprendizaje, es decir, a través de la continua creación y compartición de nuevo conocimiento. (Fugini & Maggolini, 2018, pág. 137)

Una ventaja competitiva constituye una destreza o habilidad especial que logra desarrollar una empresa y que la coloca en una posición de preferencia a los ojos del mercado. (Publishing Marketing, 2007)

Es necesario que se motive a las personas que forman parte de una empresa, pero igualmente deben ser encauzadas por los dirigentes para que los motiven y los orienten hacia una dirección adecuada.

Como expresa (Sabbagh) el elemento de motivación dirigida está constituido por las prácticas que estimulan el clima de motivación y proveen un foco creativo que sirve para dirigir los esfuerzos del equipo. (2011, pág. 35)



Elaboración propia

Técnicas innovadoras

La innovación convierte ideas en proyectos para lograr que empresas sean competitivas, esto se realiza a través de la observación del mercado, detectando las necesidades, mirando lo que la competencia ofrece, para tener una distribución y comunicación en canales idóneos. A través de las herramientas innovadoras debemos crear nuevas ideas, no es inventar, es analizar lo que ya existe y darle otro desplazamiento. Algunas técnicas que nos permitirán conseguir ser una empresa competitiva son: Crowdsourcing, SCAMPER, Innovación Abierta, Co creación con los mercados y seis sombreros para pensar.

(Moreno Castro) Destaca que las nuevas ideas pueden surgir utilizando técnicas cualitativas que ayuden a identificarlas, a saber: análisis de atributos, análisis morfológico, lluvia de ideas, sinéctica, SCAMPER, Delphi y pensamiento lateral. (2016, pág. 26)

Las empresas buscan delegar tareas a los equipos de trabajo, integrando estos grupos de personas por profesionales cualificados en el área de la empresa, estos presentarán sus propuestas e ideas, a través del proceso de **crowdsourcing**.

Como dice (Fugini & Maggiolini) Dar a conocer el aspecto colaborativo del crowdsourcing mejora la calidad, el alcance y el resultado de las soluciones, y conduce a nuevas ideas innovadoras que pueden ser empleadas por los sectores público y privado. El crowdsourcing puede tener como objetivo realizar tareas simples y rutinarias, o generar soluciones innovadoras para problemas complejos, empleando los esfuerzos de colaboración de la multitud. (2018, pág. 186)

Un modelo de negocios a través de internet es el Crowdsourcing, es una nueva técnica para la realización de un trabajo en concreto como la producción de contenido, el cual no lo realiza una sola persona o una empresa, es realizado por un público masivo, este puede realizarse a través de un sitio web e igualmente existen muchos sitios web que funcionan bajo este precepto y ofrecen sus servicios para diversas tareas, como la programación o el diseño de logos, etc. Este nuevo modelo de negocios es un generador de contenidos que permite a los usuarios ubicar comercios, instituciones y demás referencias. Esto permite el crecimiento de las bases de datos y continuamente son alimentadas con información, para estar actualizadas.

Este modelo puede ser una estrategia de marketing que permitirá a las empresas realizar diversas estrategias para la obtención de ideas bastante creativas y con esto poder ser empresas exitosas y competitivas, del mismo modo proporcionan diferentes ventajas a para la realización de negocios como: Variedad e innovación de ideas, puede reducir costos y descubrir talentos que aporten nuevas ideas.

La globalización en la actualidad ofrece grandes oportunidades de alcanzar un desarrollo a nivel mundial, es por lo que las empresas deben planear un objetivo que resuelva los problemas a través de la creatividad. Por lo que el concepto de Brainstorming (lluvia de ideas), es aquel que reúne a un grupo de personas para discutir las diferentes ideas que ellos aportan, y para lograr ser una empresa innovadora y creativa, lo que dará como resultado que la empresa llegue a ser competitiva.

A juicio de (Moreno Castro) la “Lluvia de ideas” es una técnica donde cada participante aporta su idea en forma espontánea y sin críticas, aunque parezca insólita o extraña. De esta forma se obtiene una cantidad importante de propuestas que, posteriormente, son revisadas y analizadas para seleccionar las que se consideren más viables. (2016, pág. 25)

Es necesario que durante el proceso creativo se reflexione sobre las ideas exteriorizadas por los equipos de trabajo, de tal forma que estas ideas permitan resolver los problemas que la empresa detecto.

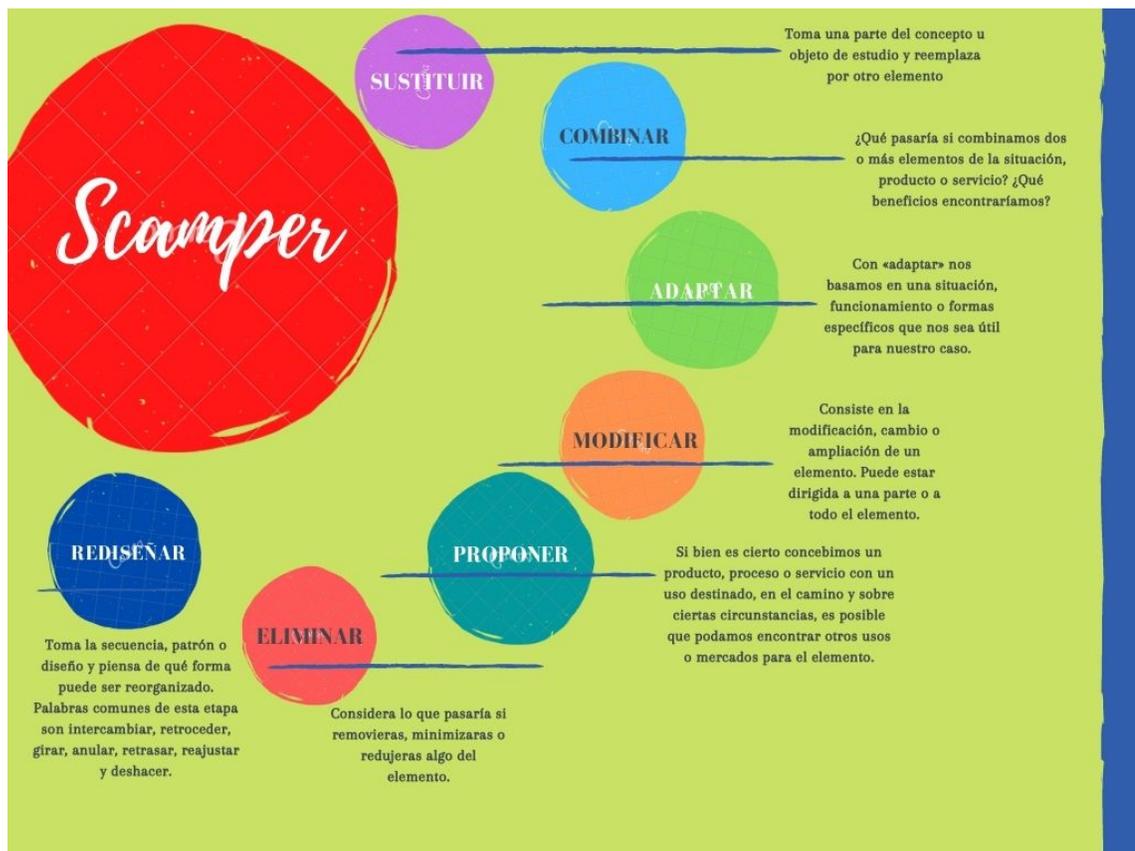
La idea central en Scamper está basada en la percepción de que tu trabajo con ideas originales, creativas, pudieran crearse de nuevo pero que es una combinación de lo que ya existe y un poco de creatividad e innovación.

(Gutiérrez Colmener, 2014) Enfatiza que el Scamper es una técnica que se utiliza para producir ideas en un proceso creativo. Desde nuestro punto de vista es una variedad del brainstorming muy focalizada hacia procesos en los que se busca mejorar un producto, aunque puede utilizarse para otros. (2014, pág. 45)

Cuantas más letras trabajes y más preguntas generes, más opciones tienes de encontrar soluciones originales, diferentes, divertidas. No descartes ninguna idea. Todas las ideas generadas pueden ser válidas ahora o en el futuro. Cuanto más diverso sea el grupo de trabajo mejor ya que permitirá tener puntos de vista muy diferentes y se generará más variedad de ideas. En el acrónimo **SCAMPER** cada palabra se corresponde con una acción:

- **SUSTITUIR**. - lugares, cosas, personas, horarios, funciones.
- **COMBINAR**. - temas, funciones, emociones, conceptos, ideas.
- **ADAPTAR**. - ideas, otros lugares, otros tiempos, usos.
- **MODIFICAR**. - añadir algún concepto, idea, producto, magnificar
- **PROPONER**. - para otros usos, explorar acciones.
- **ELIMINAR**. - Conceptos, usos, funciones, partes, tecnología.
- **REORDENAR**. - Invertir elementos, hacer lo contrario.

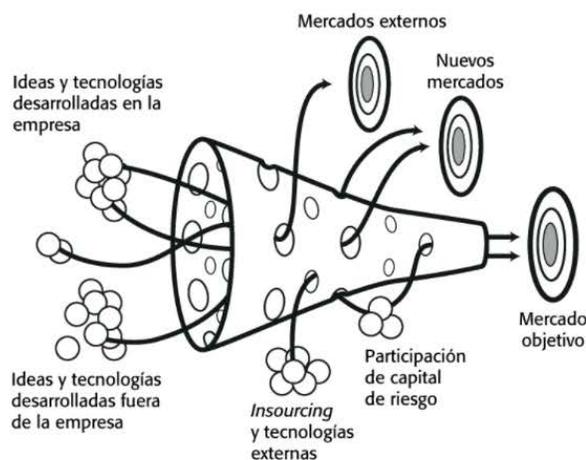
Según (Costa García) Una serie de criterios que se aplican al problema u objetivo. Fue creado por Bob Eberle a partir de Brainstorming: “SCAMPER” es el acrónimo de los criterios que se aplican, para encontrar un enfoque diferente basado en el pensamiento divergente y la riqueza de puntos de vista. (2004, pág. 255)



Elaboración propia

Las empresas tienen que buscar ideas y caminos internos y externos en el mercado a medida que observen como la innovación se desarrolla. Los procesos de **Innovación abierta** utilizan modelos de negocios para precisar las exigencias y con esto crear valor y al mismo definir componentes internos para retener parte de este valor.

(Romero Rebolledo & Espinoza Valdéz, 2016, pág. 50) retoman lo escrito por Henry Chesbrough (2004) quien propone el concepto de innovación abierta. Este término propone que las organizaciones no deben limitarse a generar proceso de innovación sólo con las capacidades internas, que serán siempre limitadas. Las firmas pueden abrir estos procesos complementando su patrimonio y activos de innovación mejorando el retorno sobre la inversión. De acuerdo con (Romero Rebolledo & Espinoza Valdéz) se comparte al calce la figura que describe los procesos de ideación y el desarrollo tecnológico, no emanan exclusivamente del interior de la empresa, sino también desde fuera de esta. (2016, pág. 50)



Fuente: Adaptado de Henry Chesbrough, 2004.

Para que las empresas logren el éxito la **Co creación** es un factor considerado como uno de los más importantes, y es reconocido como una ventaja competitiva. Para que a través de esta herramienta estratégica se logre atraer y retener a los clientes.

(Gouillart & Ramaswmy) Destaca que en el período 2000-2004, Venkat Ramaswamy, junto a C. K. Prahalad, sugirieron que la experiencia del cliente es clave para la creación de valor, la innovación, la estrategia y el liderazgo ejecutivo. También señalaron que estos cambios generalizados ocurridos en la empresa y la sociedad requerían de la co-creación, es decir, la práctica de desarrollar sistemas, productos o servicios mediante la colaboración con clientes, gerentes, empleados y otras partes interesadas corporativas. (2012, pág. 16)

A finales del siglo XX e inicio del siglo actual, las empresas se han enfrentado a un entorno competitivo muy complejo, por lo que se está demandando la creación de un valor superior para el cliente. Es por lo que podemos identificar la creación de valor como una importante capacidad para el éxito de una empresa, e igualmente como una fuente de ventaja competitiva.

Como expresa (Gouillart & Ramaswmy) La co-creación significa una profunda democratización y descentralización de la creación de valor, que dejará de estar centrado en la compañía para dar cabida a las interacciones con sus clientes, comunidades de clientes, proveedores, socios y empleados, y a las interacciones entre los individuos. (2012, pág. 19)

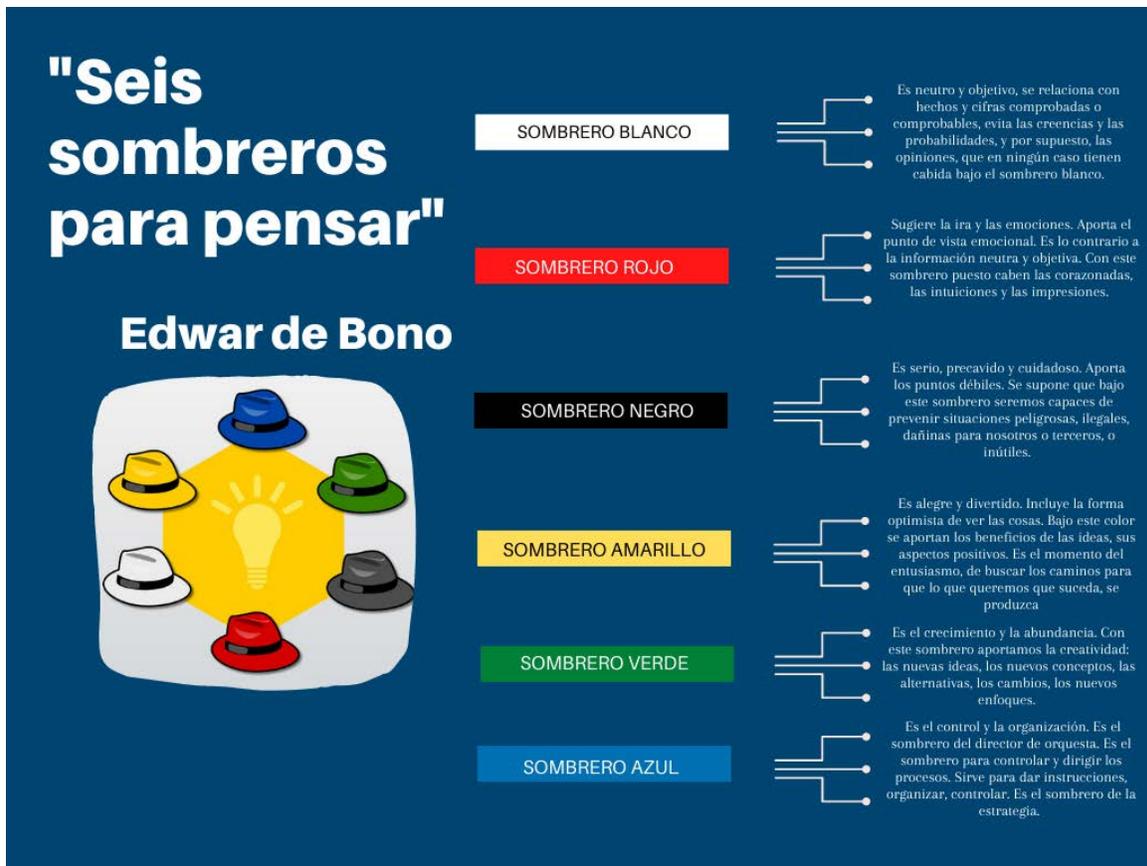
El factor de co-creación es un enfoque de marketing y negocios, las empresas están cambiando su forma tradicional de trabajar, adoptando un enfoque más abierto de la innovación. Apoyándose cada vez más en la colaboración o la co-creación a través de la innovación para el desarrollo de nuevos productos y servicios o en su defecto la actualización de los ya existentes, con esto les ofrece a los clientes una mejor experiencia. Toda vez que incorporar a los clientes en el proceso es aún mejor, esto determinará el éxito en el mercado actual.

La innovación co-creativa supone la aplicación del principio de co-creación a la innovación en todas las empresas, independientemente de que sean nuevas o establecidas; de que estén o no en juego las operaciones, productos y servicios o nuevos modelos de negocios y de que sus soluciones sean de producción masiva o personalizada. (Gouillart & Ramaswmy, 2012, pág. 106)

Edward de Bono creó una técnica a través de una herramienta de comunicación que permite facilitar la resolución o el análisis de problemas desde distintos puntos de vista, la técnica completa la describió en su libro titulado “Seis sombreros para pensar” estos representan seis maneras de pensar, los cuales dan como resultados los siguientes beneficios:

- Fomenta el pensamiento paralelo
- Fomenta el pensamiento en toda su amplitud
- Separa el ego del desempeño

Como ya se mencionó antes se trata de una técnica desarrollada por Edward de Bono a partir de seis sombreros de diferentes colores, blanco, rojo, negro, amarillo, verde y azul. Cada sombrero marca una dirección de pensamiento. (Gutiérrez Colmener, 2014, pág. 76), a continuación, se detalla cada uno de los sombreros a través de una imagen de elaboración propia.



Conclusión

Implementar el uso de las técnicas antes mencionadas permitirán que las ideas de realizar negocios sean creativas e innovadoras, que resuelvan las necesidades, problemas o deseos del mercado, diseñando nuevos modelos de productos o servicios que mejoren las experiencias de los seres humanos, e innovar en nuevos mercados que estén a la vanguardia para que logren el éxito en su entorno y en el futuro dichos negocios puedan pasar a ser empresas competitivas y globalizadas. Los negocios exitosos son aquellos que tienen la disposición de adaptarse y aprender a maniobrar en un entorno cada vez más cambiante para diferenciarse del resto, ya que el mismo entorno demanda con más ímpetu el explorar alternativas para captar nuevas oportunidades, esto se logra tomando al pie de la letra el concepto creativo e innovador, combinando esfuerzos para digitalizar procesos y mediante cambios en el modelo de negocio para contemplar nuevas tecnologías. Muchas de las ideas de negocios surgen indudablemente de oportunidades presentes en el ambiente, de establecer ideas entre personas o grupo de personas, sin embargo, lo importante es detectarlas, y considerar cuáles fortalezas y debilidades se apreciarán ante esa oportunidad y, además, contemplar las amenazas que podría enfrentar, ya que en ocasiones da pánico fracasar o equivocarnos, es por eso que muchas veces se deja el negocio en estado de confort

y esa conformidad no permite ver más allá, se debe estar consciente que nadie inicia un negocio siendo una multinacional, sin embargo el límite de su crecimiento lo ponemos nosotros, puesto que ningún negocio funciona del mismo modo, por lo que se debe pensar en estrategias para optimizar los resultados, dicha acción nos obligará a conocer mejor el negocio y demostrar que parte de la creatividad e innovación consiste en aplicar las funciones desde que recibimos a nuestros clientes hasta que se le entregan los productos, con ello le damos el valor agregado y el cliente demuestra satisfacción.

Referencias

- Blanco Encinosa, L. J. (2016). Innovación y subdesarrollo: la paradoja de las tecnologías "blandas". *Cofin Habana*, 39-56.
- Costa García, M. (2004). *Negociar para CON-vencer. método, creatividad y persuasión en los negocios*. Madrid, España: McGraw-Hill. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/50035?page=255>
- Fugini, M., & Maggiolini, P. (2018). *Sistemas y tecnologías de la información en las organizaciones*. Madrid: Difusora Larousse - Ediciones Piramide. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/123100?page=186>.
- Gouillart, F., & Ramaswmy, V. (2012). *La co-creación de valor y experiencias*. Argentina: Temas Grupo Editoria. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/116700>
- Gutiérrez Colmener, A. (2014). *La creatividad y tu negocio*. Madrid, Spain: Bubok Publishing S.L. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/51370?page=13>.
- Moreno Castro , T. (2016). *Emprendimiento y plan de negocio*. Santiago de Chile, Chile: RIL editores. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/67489?page=26>.
- Peñalosa, M. (2005). Competitividad: ¿nuevo paradigma económico? *Forum Empresarial*,, 42-67. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63110103>
- Publishing Marketing. (2007). *La ventaja competitiva*. Madrid, Spain: Díaz de Santos. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/52925?page=77>.
- Rojas de Escalona, B. (2007). La creatividad e innovación en las Organizaciones. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 111-130. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/410/41080108.pdf>
- Romero Rebolledo, J., & Espinoza Valdéz, G. (2016). *Innovación y Diseño para la estrategia empresarial*. México, D.F.: Pearson Educación. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/45358>
- Sabbagh, A. (2011). *El método de innovación creativa: un método para generar ideas y transformarlas en proyectos sustentables*. Buenos Aires, Argentina: Granica. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/66732>
- Silva Guerra, H. (2017). La innovación y educación: Variables claves para la competitividad de las empresas. *Clío America*, 107.

OXYCARE: SISTEMA DE MONITOREO REMOTO APLICADO A LOS SERVICIOS DE ENFERMERÍA

FRANCISCO HERNÁNDEZ JUAN¹, ROGELIO DE JESÚS PORTILLO VÉLEZ², VIRGINIA LAGUNES BARRADAS³,
MARÍA ESTHER FRAGOSO TERÁN⁴

Resumen

Dada la situación de salud actual que obliga a generar nuevas herramientas de atención médica, Oxycare, es diseñado como un dispositivo que de manera ergonómica obtenga diversas lecturas biométricas de manera precisa, realizando registros de los datos constantemente, además, el proyecto incluye una aplicación móvil y una base de datos, con el fin de generar un historial que ayude en el diagnóstico adecuado de enfermedades y permita a futuro un análisis de los valores censados mediante técnicas de minería. En primera instancia, el proyecto está enfocado a la asistencia hospitalaria en el estado de Veracruz, derivado del trabajo colaborativo de docentes y estudiantes de la Universidad Veracruzana y el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. La propuesta de asistencia remota, incluye el desarrollo de una banda o brazalete con conexión wifi, que permite medir diversos signos vitales, tales como ritmo cardíaco, presión arterial, oxigenación, entre otros; además, el uso de una aplicación móvil permite recibir los datos generados por varios pacientes de manera simultánea. La base de datos generada, constituye una fuente de consulta para que los especialistas de la salud puedan analizarla desde cualquier lugar, mejorando así el monitoreo y análisis de los pacientes, manteniendo al máximo las medidas de protección recomendadas por la contingencia sanitaria.

Palabras clave: atención remota, diagnóstico oportuno, tecnología ergonómica, lectura de signos vitales

Abstract

Given the current health situation that requires the generation of new medical care tools, Oxycare is designed as a device that ergonomically obtains various biometric readings accurately, constantly recording data, in addition, the project includes a mobile application and a database, in order to generate a history that helps in the proper diagnosis of diseases and allows future analysis of the registered values

¹ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Campus Veracruz, Calzada Juan Pablo II S/N, Costa Verde, C.P. 94294 Veracruz, Ver.

² Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Campus Veracruz, Calzada Juan Pablo II S/N, Costa Verde, C.P. 94294 Veracruz, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX), Reserva Territorial S/N, Col. Sta. Bárbara, C.P. 91096, Xalapa, Ver.

⁴ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Contaduría y Negocios, Campus Veracruz, Calz. Juan Pablo II S/N, Costa Verde, 94294 Boca Del Rio, Ver.

using mining techniques. In the first instance, the project is focused on hospital care in the state of Veracruz, derived from the collaborative work of teachers and students from the Universidad Veracruzana and the Instituto Tecnológico Superior de Xalapa. The remote assistance proposal includes the development of a band or bracelet with Wi-Fi connection, which allows measuring various vital signs, such as heart rate, blood pressure, oxygenation, among others; In addition, the use of a mobile application allows receiving the data generated by several patients simultaneously. The generated database constitutes a source of consultation so that health specialists can analyze it from anywhere, thus improving the monitoring and analysis of patients, maintaining the maximum protection measures recommended by the health contingency.

Keywords: remote care, timely diagnosis, ergonomic technology, reading of vital signs

Introducción

La contingencia sanitaria ha modificado drásticamente el protocolo en cuando a atención médica se refiere. La sanitización de los espacios y herramientas de trabajo, la aplicación de la sana distancia, así como la cantidad de personal médico disponible para dar un servicio adecuado, conforman un importante reto para el servicio de salud en el estado de Veracruz. En este contexto, del trabajo en conjunto entre estudiantes y docentes de la Universidad Veracruzana y el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, se ha generado un proyecto denominado “OxyCare”, el cual considera un brazalete o banda para hacer las mediciones más comunes que una enfermera realiza a sus pacientes, también incluye una app capaz de recibir y mostrar la información de los signos vitales medidos en más de un paciente de manera simultánea, generando una base digital de datos, que permita el monitoreo de pacientes vía remota.

La propuesta establecida ha generado una gran atención por doctores, enfermeras y personas en general, ya que representa un gran apoyo en la asistencia médica y mantiene al tanto las recomendaciones sanitarias actuales. OxyCare, por una parte, considera sensores comerciales de bajo costo y algoritmos utilizados en la estimación y análisis de variables de salud, los cuales, son integrados en un dispositivo que contiene un microcontrolador con conexión Wifi y bluetooth; por otra parte, se complementa con una app y una base digital de información para aplicar estudios de minería de datos. El presente proyecto tiene un alto porcentaje de aceptación obtenido a partir de encuestas y entrevistas a diversas personas, las cuales han enfatizado el apoyo y la utilidad de implementarse en clínicas y hospitales, ya que actualmente una enfermera atiende desde 6 hasta 12 personas (Pérez Melo, 2019), lo que ha resultado en un déficit en la atención a los pacientes y una disminución de la calidad en las condiciones de trabajo de personal médico.

Materiales y métodos

La metodología implementada tiene como base una investigación referente a tecnología para el sensado y algoritmos para la estimación de la temperatura, ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria, presión arterial y nivel de oxigenación, por lo que el presente proyecto se basa principalmente en actividades de búsqueda de investigaciones y desarrollos tecnológicos previos en bases de datos especializadas. También se realiza una revisión en los principios de funcionamiento de sensores y aplicación de algoritmos relacionados con la medición de parámetros biométricos, objetivos de OxyCare; así mismo, como justificación se cuenta con encuestas y entrevistas realizadas a personal médico especialmente, en las que se evalúa el nivel de aceptación y la ventana de oportunidad para un sistema de monitoreo remoto aplicado en la atención hospitalaria.

OxyCare Etapa 1 En primer lugar se describe el proceso de obtención y/o estimación de las variables de salud de interés para OxyCare: Variables biométricas
Temperatura

El parámetro que se mide con mayor frecuencia es la Temperatura T , ya que representa uno de los síntomas que pueden verse alterados en una persona al momento de contraer alguna infección o malestar. Su medición puede realizarse por contacto o sin contacto; aunque, el procedimiento que ha ganado mucho terreno en los últimos días es el uso de infrarrojo (técnica a distancia) para estimar la temperatura corporal. Su funcionamiento se basa en la radiación que puede emitir un objeto cuando se aplica la Ley de Stefan-Boltzman (Custodio & Balza, 2006), que establece el comportamiento de radiación del cuerpo negro W , según la ecuación (1).

$$W = \varepsilon\sigma T^4$$

El valor de la constante de Stefan-Boltzman es $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ y ε corresponde a la emisividad de un cuerpo, oscila entre 0 y 1. También se considera que la suma de la emisión está integrada por Absorción, Reflexión y Transmisión, como se muestra en la Figura 1

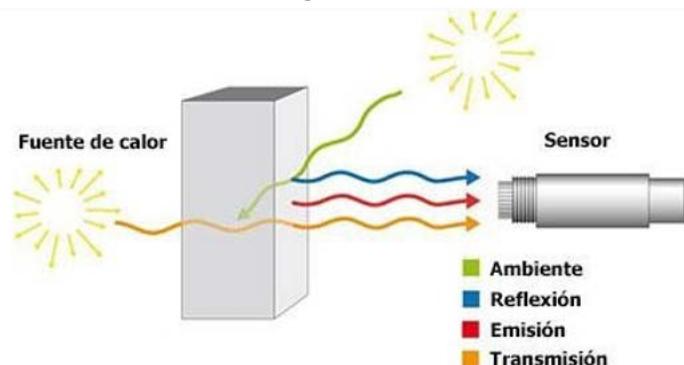


Figura 1 Funcionamiento de un sensor infrarrojo, obtenido de (Instruments, 2020)

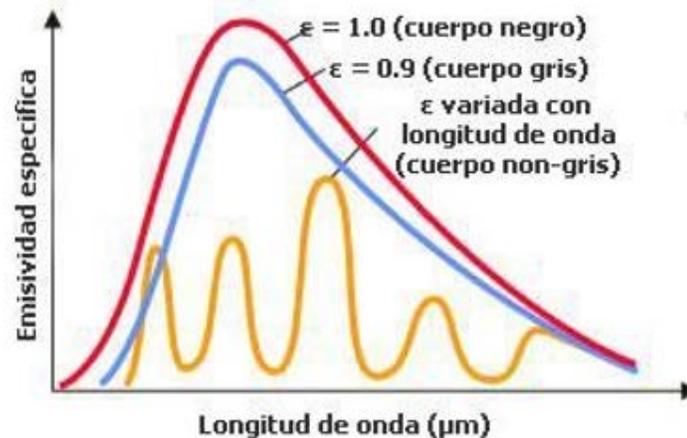


Figura 2 Emisión específica para emisividades diferentes, gráfica obtenida de (Instruments, 2020)

Ritmo cardiaco

Para la estimación del ritmo cardiaco en un sensor infrarrojo se acondiciona la señal AC pulsátil, para detectar los niveles máximos del pulso, lo que permite obtener una señal de tipo rectangular que es igual al ritmo cardiaco. Esto se puede obtener al integrar un circuito Schmitt Trigger (Bencomo, Villazama, & Salas, 2016), que es un comparador regenerativo de manera no inversora, como el que se muestra en la Figura 3 Circuito comparador no inversor.

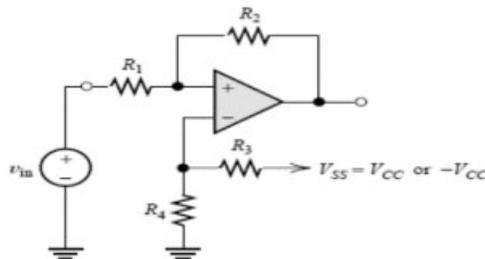


Figura 3 Circuito comparador no inversor

Frecuencia respiratoria

Para estimar el valor de la frecuencia respiratoria, es posible utilizar como base las señales del ritmo cardiaco y/o pulso, donde se estudia la frecuencia de modulación a partir de una representación tiempo-frecuencia, Obteniéndose los componentes de la frecuencia de cierta señal y los instantes de tiempo en los que ocurre (Hernández de la Cruz, Charleston Villalobos, Aljama Corrales, & Alexander Reyes, 2020). La ecuación que se usa para obtener la Frecuencia respiratoria instantánea está dada por la ecuación (2)

$$SP[\omega, n] = \left| \sum_{n=0}^{L-1} s[n]h[n-m]e^{-j\omega m} \right|^2 \quad (2)$$

Donde:

$s[n]$, señal de ritmo cardiaco o pulso;

$h[m]$, ventana de análisis, longitud L ;

m , es el tiempo corriente;

n , tiempo discreto;

ω , frecuencia digital

Presión arterial

Uno de los parámetros de mayor importancia para la salud, es la presión arterial, debido a su estrecha relación en la detección de enfermedades de hipertensión y para monitoreo de pacientes en condiciones especiales. Existen métodos invasivos y no invasivos para la estimación de este parámetro, en el caso de OxyCare, donde el objetivo es generar una herramienta no invasiva que permita la obtención de la presión arterial en un solo dispositivo, la estrategia más adecuada en la integración de un circuito que permita la obtención de la presión arterial con gran rendimiento y confiabilidad, por lo que se propone la implementación de un circuito que integre un sensor micromecanizado (MEMS) de presión denominado 26PCBFA6G en combinación de un amplificador de señal INA126, instrumentos que han sido probados para obtener la presión arterial de una manera aceptable (Alvarez Contreras, 2020), el circuito integrado y la gráfica de medición se observa en la Figura 4.

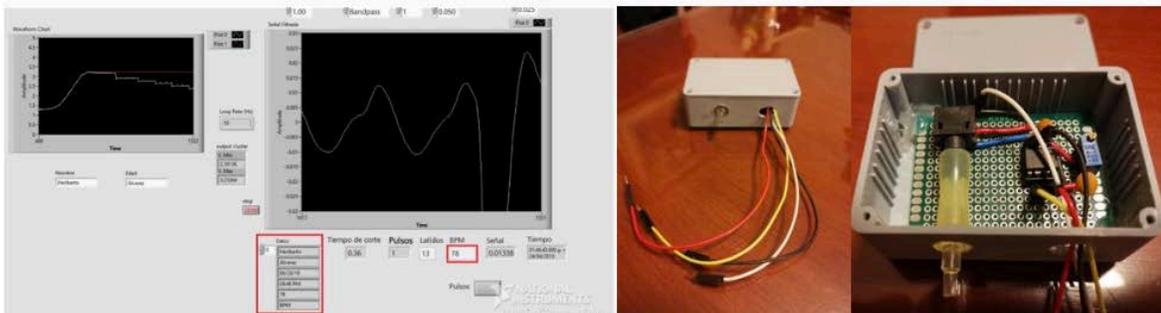


Figura 4 Pulsos por minuto obtenidos con el circuito integrado. Tomado de (Alvarez Contreras, 2020)

Nivel de oxigenación

Actualmente, dentro de las mediciones de salud que mayor relevancia han obtenido a causa de la pandemia, se encuentra el nivel de oxigenación, el cual indica la saturación de oxígeno en la sangre y que puede estar relacionado a problemas respiratorios asociados al COVID-19 (Rodríguez de Luis, 2020). Para medir este parámetro, se ha estudiado los diferentes niveles de absorción de luz de la hemoglobina (Hb) y de la oxihemoglobina (HbO₂) (Bencomo, Villazama, & Salas,

2016). La primera corresponde a la proteína que se encarga de transportar el oxígeno en la sangre y la cual, absorbe una mayor cantidad de radiación roja cuando aún no está en contacto con el oxígeno, mientras que la segunda, corresponde a la hemoglobina después de haber pasado por los pulmones para recibir oxígeno, molécula que absorbe más radiación infrarroja.

El principio al que está sujeto este procedimiento, corresponde a la intensidad de luz que atraviesa un objeto o sustancia con una longitud de onda específica, también llamado Coeficiente de extinción de la sustancia, donde se establece que la Transmitancia T de la luz incidente (I_0) sobre un material que es atravesado con cierta intensidad (I), se obtienen con la ecuación (3)

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Para estimar la cantidad de absorción de la luz se utiliza el parámetro A_t , magnitud que depende directamente de la Transmitancia y se obtiene con la ecuación (4).

$$A_t = -\ln(T) = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Una gráfica de las ecuaciones anteriores se muestra en la Figura 1 Absorción de luz de la Hemoglobina (Hb) y de la Oxihemoglobina (HbO₂), que se muestra a continuación

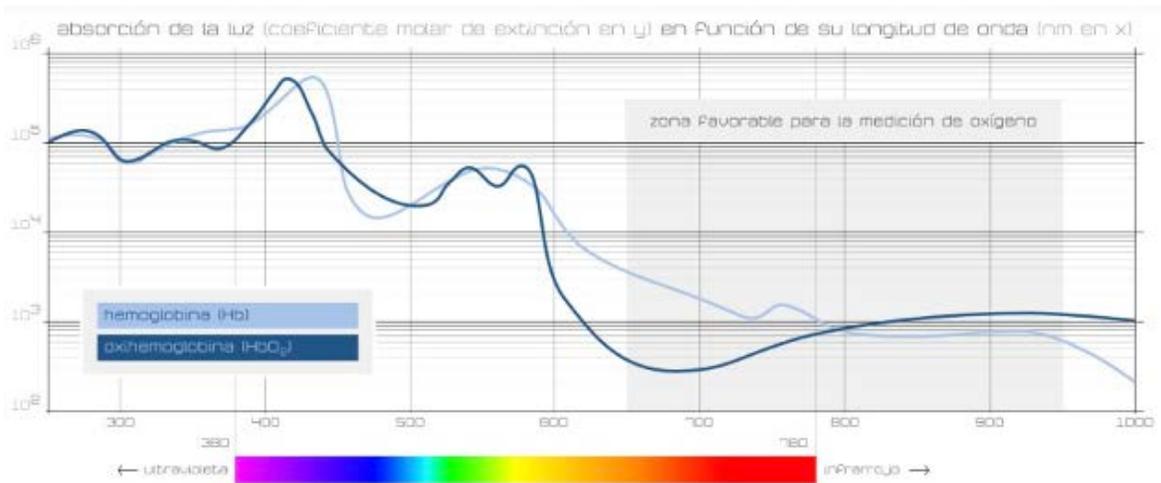


Figura 5 Absorción de luz de la Hemoglobina (Hb) y de la Oxihemoglobina (HbO₂). Imagen tomada de (Ventura, 2015)

OxyCare Etapa 2

Para la integración del brazalete OxyCare, donde los objetivos incluyen realizar las mediciones y transmisión de la información se contemplan los siguientes componentes:

ESP32 – Chip integrado con Wi-Fi y Bluetooth diseñado con tecnología de bajo consumo de 2.4 GHz para aplicaciones del Internet de las cosas (IoT); integra un

interruptor de antena, amplificadores de potencia, de ruido bajo, filtros y módulos para la administración de energía (Figura 6 Módulo ESP32), entre otras características (Espressif Systems, 2021).



Figura 6 Módulo ESP32. Tomado de (Espressif Systems, 2021)

MAX30102 – Es un módulo que incorpora un led de espectro rojo (660 nm) y otro de espectro infrarrojo (880 nm), también cuenta con fotodiodos que censan la luz reflejada, con un rango de muestreo desde 50 hasta 3200 muestras por segundo (UNIT ELECTRONICS, 2021). Es capaz de medir el nivel de oxigenación, la temperatura y la frecuencia cardiaca (Figura 7 MAX30102).



Figura 7 MAX30102. Tomado de (UNIT ELECTRONICS, 2021)

26PCBFA6G – Sensor de tamaño compacto para medición de la presión a partir de un micromecanismo (MEMS) piezorresistivo; cuenta con un puente de Wheatstone, el cual estabiliza salidas mV para valores desde 1 psi hasta 250psi (Newark, 2021). El sensor se muestra en la Figura 8.



Figura 8 26PCBFA6G, sensor de presión, tomado de (Newark, 2021).

INA126 – Es un instrumento de adquisición de señales diferenciales de bajo ruido, cuenta con un amplio rango de voltaje de operación que va desde 1.35 hasta 18 V para instrumentos portátiles (Texas Instruments, 2015). El sensor se muestra en la Figura 9 Amplificador INA126.



Figura 9 Amplificador INA126.

OxyCare App – Para las actividades relacionadas con la consulta de las mediciones realizadas, transmisión, almacenamiento y gestión de información en la base digital de datos, se contempla el uso de una aplicación móvil capaz de conectar hasta 12 dispositivos OxyCare, lo que genera importantes apoyos, disminuir la carga de trabajo para personal médico, mantener constante el monitoreo de pacientes, generar un historial clínico digital de manera personalizada, lo que ayuda en la generación de diagnósticos más eficientes, al tener un tratamiento en tiempo real con mayor información. La figura 10 muestra la interface principal de la OxyCare app.

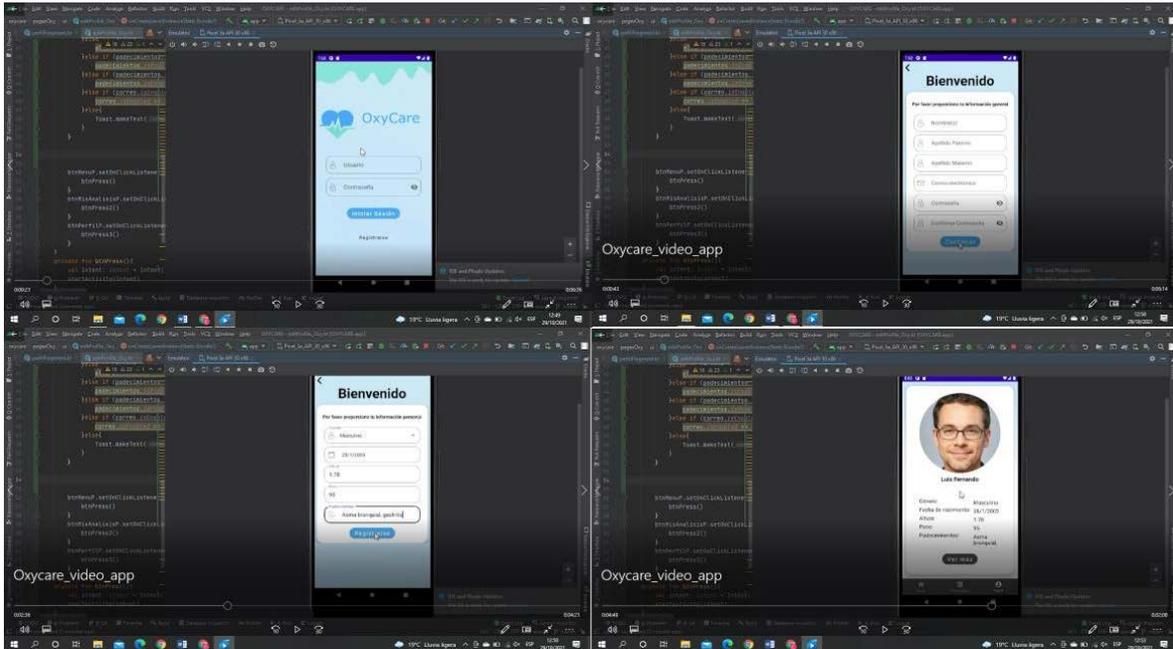


Figura 10 OxyCare App interface principal

OxyCare Band – Para el desarrollo de la banda/brazalete de OxyCare se realizaron diferentes diseños industriales mediante el software Solid Works®, con el objetivo de lograr el ajuste del dispositivo de acuerdo con las características de los pacientes, debido a la falta de ergonomía en dispositivos utilizados por personal, algunos requieren ajustes por la talla, la edad o la condición médica. En la Figura 11 se puede observar los diseños alternativos de OxyCare, están

proyectados de tal manera que permitan una correcta sujeción en diferentes partes del cuerpo, abarcando la muñeca, el dedo de la mano o del pie y el lóbulo de la oreja.

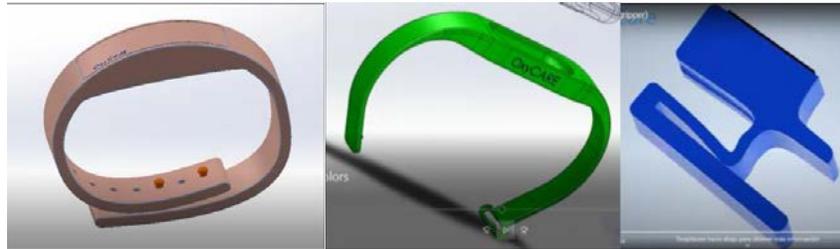


Figura 11 Diseños de OxyCare band

Durante las actividades de integración de los sensores, diseño de la OxyCare Band y OxyCare App, se realizó de manera simultánea una consulta a personal médico por medio de encuestas y entrevistas, en las cuales se expuso el presente proyecto, las ventajas y beneficios esperados. Las entrevistas y comentarios de los especialistas en atención médica pueden ser consultadas en Youtube®, en los siguientes links: Enfermera: <https://www.youtube.com/watch?v=ALvutG7d-CE>



Figura 12 Comentario de enfermera para OxyCare

Doctora: https://www.youtube.com/watch?v=vtV_piYEGg8&t=1s

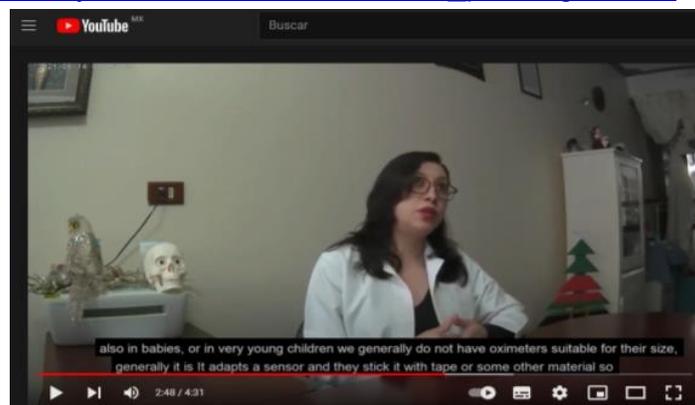


Figura 13 Presentación de OxyCare a Médico general

La presentación y consulta a especialistas de la salud fue realizada por medio de encuestas elaboradas en formularios de google, donde se obtuvieron respuestas de 14 lugares a lo largo del estado de Veracruz, donde de un total de 74 participantes, el 51.4% pertenece al Municipio de Veracruz, el 12.2 % a Xalapa, Banderilla y Orizaba 5.4% en cada municipio, 6.8% a Martínez de la Torre y el resto en otros 9 municipios. La figura 14 muestra una gráfica de la cantidad de participantes en los diferentes lugares consultados, en la figura 15 se observa a parte del personal médico que participó en la encuesta OxyCare.

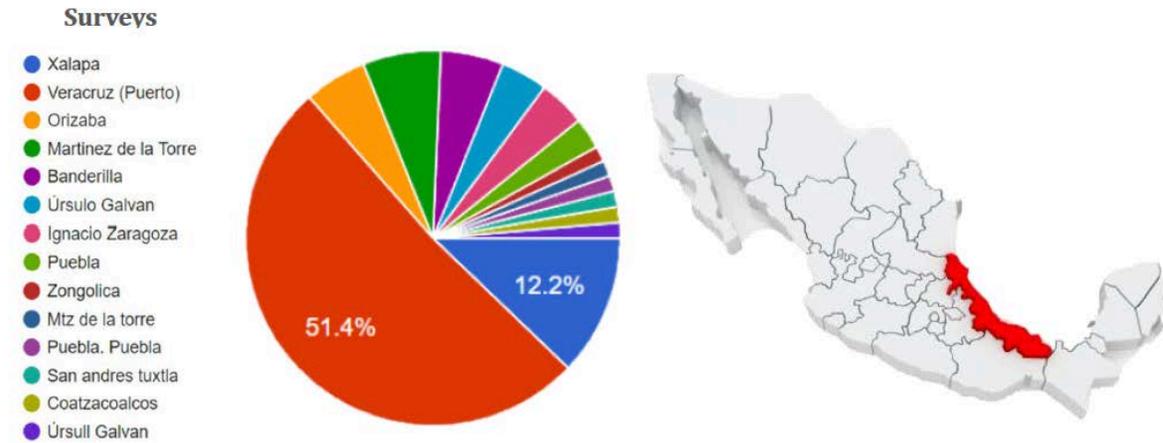


Figura 14 Lugares de presentación y consulta de OxyCare



Figura 15 Personal médico que participó en la encuesta OxyCare

Resultados y Discusión

La importancia de OxyCare radica en la mejora de los servicios de asistencia médica, no solo en beneficio de los pacientes, sino en pro de la mejora en la calidad de las condiciones de trabajo para enfermeras, enfermeros y médicos en general. Quienes mostraron una gran aceptación de OxyCare como se puede apreciar en los siguientes resultados de las encuestas aplicadas, donde al inicio de la encuesta OxyCare fue descrito en un texto de manera general.

1. En base al texto anterior ¿Considera que OxyCare puede mejorar la atención que se presta a los pacientes para medir su oxigenación y frecuencia cardiaca?

74 respuestas

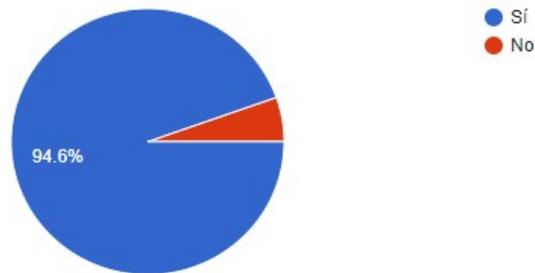


Figura 16 Pregunta 1 de la encuesta OxyCare

2. ¿Qué aspectos mejoraría en los oxímetros que actualmente existen en el mercado?

74 respuestas

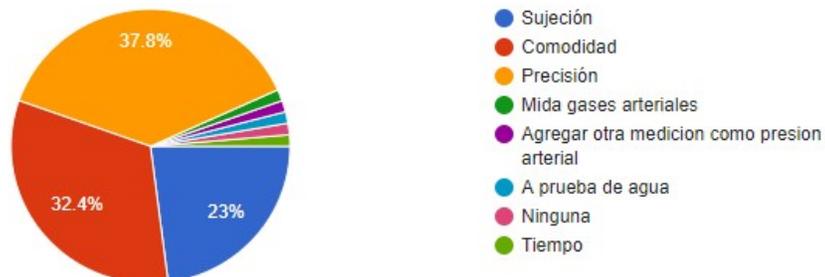


Figura 17 Pregunta 2 de la encuesta OxyCare

6. ¿Considera que el monitoreo constante de las variables obtenidas (ritmo cardiaco y oxigenación) a través de un oxímetro o varios por medio de una aplicación móvil, agilizaría el trabajo del personal dedicado a la revisión de dichas variables?

74 respuestas



Figura 18 Pregunta 6 de la encuesta OxyCare

7. Piensa usted que el análisis del historial de los valores registrados en uno o más pacientes contribuiría a la toma de decisiones más acertada durante la estancia de pacientes internados o externos?

74 respuestas

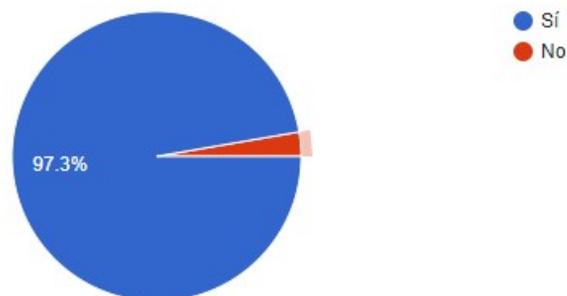


Figura 19 Pregunta 7 de la encuesta OxyCare

Los resultados de las encuestas pueden ser consultados en el siguientes link:

<https://docs.google.com/forms/d/16ho9rLPbeD4xOi1TkNi5Cc-3RN3d2nRkECVIFS8tnLk/viewanalytics>

Como resultado de las encuestas, entrevistas y comentarios realizados por parte del personal médico, se justifica que la asistencia remota proporcionada por OxyCare representa una estrategia eficiente para mejorar los diagnósticos clínicos. Esto es porque existen parámetros relacionados con la salud que se pueden encontrar fuera del rango de monitoreo programado, los cuales pueden ser detectados al tomar un mayor número de muestras.

De igual manera, el uso una app que permita el registro de la información de salud proveniente de hasta 12 pacientes, se vería reflejada en el incremento de la calidad de atención a los pacientes que actualmente atiende una enfermera, ya que algunos de ellos requieren mayor tiempo de atención debido a su condición actual.

Referente a las condiciones y recomendaciones de sanidad actual, el uso de dispositivos de monitoreo remoto con la capacidad de realizar diversas mediciones, permiten mantener un control de los pacientes con mayor higiene, ya que al considerar más de un dispositivo para el censado de las variables de salud, es necesaria su limpieza y desinfección, representando un incremento en la probabilidad de contagio no solo de Covid, si no de diversas infecciones.

Al tener una comunicación vía wifi, es posible el monitoreo de pacientes desde cualquier lugar, lo que permite que los especialistas de la salud, mantengan un monitoreo acerca de la evolución de cualquier persona respecto a algún tratamiento y sería posible una mejora en los diagnósticos al contar con información más completa.

Finalmente, la creación de una base digital de información, permite la aplicación de diversas técnicas de minería de datos, para generar estudios sobre el

comportamiento de enfermedades en poblaciones con características determinadas y el establecimiento de estrategias para enfrentar situaciones como la pandemia actual.

Conclusión

OxyCare representa una herramienta necesaria para la mejora de los servicios de salud en Veracruz, aplicando tecnología reciente como bandas inteligentes integradas con sensores de tecnología MEMS, almacenamiento digital de variables médicas, conexión integral multiusuario, etc., Proyectos estratégicos como este dan respuesta a diversas situaciones que actualmente preocupan en el estado, como es la falta de enfermeras y la cantidad de infraestructura médica necesaria para atender a la cantidad de pacientes producto de la pandemia, los que se agregan a las diversas situaciones de la población actual. Así, la formación de recursos humanos de alta calidad en los programas de posgrado de México no solo contribuye en la parte académica y de investigación, sino también en el impacto social en beneficio de la población del país

Referencias

- Alvarez Contreras, H. (2020). PROTOTIPO PARA LA EVALUACIÓN DE ALGORITMOS DE ESTIMACIÓN DE PRESIÓN ARTERIAL POR EL MÉTODO OSCILOMÉTRICO. Ciudad Guzmán, Jalisco, México. Obtenido de <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/1718/1/Tesis%20HERIBERT%20ALVAREZ%20CONTRERAS.pdf>
- Bencomo, S., Villazama, S., & Salas, B. (2016). Design and construction of a pulse oximeter. *Revista de Ingeniería UC*, 23(2), 162-171. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70746634007.pdf>
- Custodio, Á., & Balza, Z. (2006). Sistema de medición de temperatura sin contacto con el proceso. Puerto Ordaz, Bolívar, Venezuela. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000200005
- Espressif Systems. (2021). ESP32 Series Datasheet.
- Hernández de la Cruz, E. G., Charleston Villalobos, S., Aljama Corrales, A. T., & Alexander Reyes, B. (2020). Estimación de las Frecuencias Cardíaca y Respiratoria Instantáneas empleando Métodos de Fotopletismografía de Imagen en un Smartphone. *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica.*, (págs. 21–28). Obtenido de <http://memorias.somib.org.mx/index.php/memorias/article/view/740/417>
- Instruments, F. P. (2020). ¿Qué es Infrarrojo? Obtenido de <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/what-infrared%3F>
- Newark. (2021). 26PCBFA6G Sensor de Presión. 26PCBFA6G. Obtenido de <https://mexico.newark.com/honeywell/26pcbfa6g/pressure-sensor/dp/39B7194>
- Pérez Melo, I. (2019). Centros hospitalarios y de salud de Veracruz carecen de enfermeras. Xalapa, Veracruz, Veracruz, México.
- Rodríguez de Luis, E. (2020). Todas las pulseras y smartwatch con sensor SpO2 para medir la saturación de oxígeno en sangre. México. Obtenido de <https://www.xataka.com/seleccion/todas-pulseras-smartwatch-sensor-spo2-para-medir-saturacion-oxigeno-sangre>
- Texas Instruments. (2015). INA126 MicroPower Instrumentation Amplifier Single and Dual Versions. Dallas, Texas, Estados Unidos de América. Obtenido de <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina126.pdf?ts=1635460286292>
- UNIT ELECTRONICS. (2021). ESP32 38 Pines ESP WROOM 32. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/esp32-38-pines-esp-wroom-32/>

Ventura, V. (2015). Principio de funcionamiento del oxímetro para monitorización del pulso. Granada, Granada, España. Obtenido de Principio de funcionamiento del oxímetro para monitorización del pulso: <http://polaridad.es/monitorizacion-sensor-pulso-oximetro-frecuencia-cardiaca/>

TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ZONAS VULNERABLES DE INUNDACIÓN, EN CUENCAS DE RÁPIDA CONCENTRACIÓN.

HUMBERTO RAYMUNDO GONZALEZ MORENO, OSCAR ALEJANDRO GARCIA TRUJILLO

Resumen

En la actualidad debido a los efectos del cambio climático, los cuales han causado un desequilibrio en variables de temporalidad climática, ha traído consigo condiciones atmosféricas favorables para el desarrollo de los fenómenos hidrometeorológicos. Estos han afectado a diferentes poblaciones del mundo, causando estragos socioeconómicos a su paso. En las últimas décadas, gracias al desarrollo de las tecnologías se ha podido implementar modelos de simulación meteorológicas para alertar a la población ante posibles fenómenos. Los modelos de simulación (métodos matemáticos y/o mediante el uso de las SIG para predecir fenómenos hidrometeorológicos), pueden ser usadas para mejorar la capacidad de evaluación del potencial de inundaciones repentinas en áreas urbanas o zonas agrícolas.

Abstract

At present, due to the effects of climate change, which have caused an imbalance in seasonal climatic variables, it has brought with it favorable atmospheric conditions for the development of hydrometeorological phenomena. These have affected different populations around the world, wreaking socioeconomic havoc in their wake. In recent decades, thanks to the development of technologies, it has been possible to implement meteorological simulation models to alert the population to possible phenomena. Simulation models (mathematical methods and/or through the use of GIS to predict hydrometeorological phenomena) can be used to improve the ability to assess the potential for flash flooding in urban or agricultural areas.

Introducción

El proyecto consiste en una investigación tecnológica, la cual pretende alcanzar el patentamiento del proceso completo desde el estudio de campo, interconexión, desarrollo, así como mantenimiento de la app para la plataforma Android. Actualmente la tecnología exige invenciones que se acoplen a las necesidades, pero también a los alcances de la población, de acuerdo con estudios (ENDUTIH, 2019) cada individuo de una población en general cuenta con un teléfono inteligente, lo que ayudara a tener un mayor alcance para la interfaz y comunicación de alertas de emergencia de manera gratuita. La app será destina para la zona urbana de Miantla y sus zonas aledañas, en el caso de la zona urbana refiere a

una cantidad de 21,000 habitantes (INEGI, 2015), tomando en cuenta un rango de edades, de 15-61 años pueden tener o contar un teléfono inteligente. La aplicación será gratuita y el acceso a la misma solo dependerá de un registro inteligente a partir de un correo electrónico. El municipio tendrá injerencia al igual que Protección Civil en el proyecto una vez sea lanzado la aplicación móvil, así mismo la información con la cual se alimentará la app será mediante una red de estaciones meteorológicas que están localizadas en la cuenca del río Misantla. El desarrollo de un módulo para el sector agrícola será también una extensión con la cual se podrá analizar los cultivos que sean susceptibles a inundaciones en la cuenca y permitirá que los productores de los diferentes cultivos tengan un manejo de sus siembras y cosechas.

Planteamiento del problema

En México se presentan diferentes fenómenos naturales que causan desastres a su paso en diferentes áreas (López, 2018). De acuerdo al estudio preliminar de The Emergency Events Database (EM-DAT), el 50% de los eventos están relacionados con inundaciones, el 22% con las tormentas, esto con base a todos los eventos naturales presentados en el año 2016; los cuales son causantes del 71% de las muertes en relación a los desastres naturales (Vega, 2017). Se ha estudiado que el estado de Veracruz continuamente se ve afectada por fenómenos hidrometeorológicos proyectado desde distintas áreas ciclogénicas. En los Océanos Atlántico y Pacífico, se presentan 6 regiones matrices o de generación de ciclones tropicales, 4 de estos son relevantes en el país; ubicadas en el Golfo de Tehuantepec, porción sur del Golfo de México, Región Oriental del Mar Caribe y la Región Oriental del Atlántico, esto enema al desarrollo de avenidas máximas que por consiguiente provoca desastres naturales a su paso.

La ciudad de Misantla, pertenece a los municipios que presentan afectaciones en el estado de Veracruz por daños ocasionados a causa fenómenos hidrometeorológicos (A. Galvez, 2016). Uno de los más importantes ocurridos el 20 de octubre de 1995 fue el huracán "Roxanne" quien dejó a su paso numerosos daños en la ciudad. Los eventos de avenidas máximas que ocurren en la cuenca del río Misantla deben de tener un estudio adecuado, ya que a causa de las inundaciones los sectores sociales, ambientales y económicos se ven perjudicados. De acuerdo a las estadísticas durante los años 2000, 2011 y 2012, los riesgos por fenómenos hidrometeorológicos abarcaron el 92% del total de pérdidas económicas nacionales. Adicionalmente tan solo en el mismo periodo en el estado de Veracruz según estudios, el 91.5% del total de desastres ocurridos se debieron a los fenómenos hidrometeorológicos.

Por otro lado, los daños a la infraestructura, como carreteras y caminos, en comparación con las zonas agrícolas rara vez son mencionados. Sin embargo, para que una metodología proporcione estimaciones realistas de los daños es

importante la selección adecuada de los parámetros del riesgo por inundación. Además de que el sector agrícola en México es uno de los más vulnerables en las áreas antes mencionadas, debido a los riesgos hidrometeorológicos que pueden presentarse ante una inundación, causantes de grandes pérdidas, que afectan a los residentes y pequeños y grandes productores agrícolas; lo cual desfavorece a la economía familiar y conlleva a una pérdida en las inversiones, tanto en la ciudad como del municipio. También pueden generar daños a la economía regional y nacional por la interrupción del ciclo productivo, reducción de los ingresos, desempleo y desabasto de alimentos. De esto conlleva su importancia para la implementación de estudios probabilísticos meteorológicos y el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para brindar una mejor descripción específica las variables a la que esté sujeta, y una posible disminución en pérdidas tanto económicas, así como también salvaguardar vidas humanas (Moreno, 2016).

Objetivos

Desarrollar una aplicación móvil para la plataforma Android a fin de obtener un análisis de interfaz de variables climatológicas en tiempo real, alerta ante inundaciones y designación de albergues (para brindar prevención, seguridad y protección a la población en riesgo). Construyendo infraestructuras resilientes promoviendo la industrialización inclusiva y sustentable y fomentar la innovación en la cuenca del Río Misantla, Veracruz, México. Además de realizar apartado piloto en la aplicación de pronóstico de clima para eficiencia en la agricultura, así logrando que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, de acuerdo a la agenda 2030 de la ONU (Organización de las Naciones Unidas). En los objetivos de PRONACES, Conocimiento y gestión de cuencas del ciclo socio-natural del agua, para el bien común y la justicia socio-ambiental.

Desarrollo

La ciudad de Misantla, pertenece a los municipios que presentan afectaciones en el estado de Veracruz por daños ocasionados a causa fenómenos hidrometeorológicos (A. Galvez, 2016). Uno de los más importantes ocurridos el 20 de octubre de 1995 fue el huracán "Roxanne" quien dejó a su paso numerosos daños en la ciudad. Los eventos de avenidas máximas que ocurren en la cuenca del río Misantla deben de tener un estudio adecuado, ya que a causa de las inundaciones los sectores sociales, ambientales y económicos se ven perjudicados. De acuerdo a las estadísticas durante los años 2000, 2011 y 2012, los riesgos por fenómenos hidrometeorológicos abarcaron el 92% del total de pérdidas económicas nacionales. Adicionalmente tan solo en el mismo periodo en el estado de Veracruz según estudios, el 91.5% del total de desastres ocurridos se debieron a los fenómenos hidrometeorológicos.

Por otro lado, los daños a la infraestructura, como carreteras y caminos, en comparación con las zonas agrícolas rara vez son mencionados. Sin embargo, para que una metodología proporcione estimaciones realistas de los daños es importante la selección adecuada de los parámetros del riesgo por inundación. Además de que el sector agrícola en México es uno de los más vulnerables en las áreas antes mencionadas, debido a los riesgos hidrometeorológicos que pueden presentarse ante una inundación, causantes de grandes pérdidas, que afectan a los residentes y pequeños y grandes productores agrícolas; lo cual desfavorece a la economía familiar y conlleva a una pérdida en las inversiones, tanto en la ciudad como del municipio. También pueden generar daños a la economía regional y nacional por la interrupción del ciclo productivo, reducción de los ingresos, desempleo y desabasto de alimentos. De esto conlleva su importancia para la implementación de estudios probabilísticos meteorológicos y el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para brindar una mejor descripción específica las variables a la que esté sujeta, y una posible disminución en pérdidas tanto económicas, así como también salvaguardar vidas humanas (Moreno, 2016).

Con base a los datos anteriormente obtenidos, se elaboraron las siguientes representaciones en las cuales se ilustran las afectaciones a causa de avenidas máximas históricamente en la ciudad de Misantla, Ver., Mex.

El objetivo de los mapas fue zonificar los niveles de susceptibilidad a inundaciones por manzanas, en la cuenca del Río Misantla, en el estado de Veracruz; mediante el procesamiento de modelos de curvas de nivel, desde 260 hasta los 340 msnm y la implementación de SIG.

Resultados

El resultado obtenido considera como alta susceptibilidad a inundaciones todas las manzanas teñidas de azul cielo, que se encuentra localizado en los límites del Río Misantla, mismo que será desplegado en la App que se está desarrollando, y será una opción de visualización de mapas de zonas susceptibles a inundaciones.

Referencias

- (ENDUTIH). “Instituto Nacional de Estadística y Geografía” 2019. ENCUESTA NACIONAL SOBRE DISPONIBILIDAD Y USO DE TECNOLOGIA DE LA INFORMACION EN LOS HOGARES: INGE (1-18).
- Lopez Ortiz, L. (2018). Modelo integral de prevención de riesgo (p. 54).
- Ghizzoni, T. Roth, G., Rudari, R., 2010. Multivariate skew-t approach to the design of accumulation risk scenarios for the flooding hazard. *Adv. Water Resour.*, 33, 1243-1255.
- Vega Serratos, B. E., (2017). Metodología para la cuantificación del riesgo por inundaciones fluviales. Caso de aplicación en Campeche, México. (p. 155). <http://132.248.9.195/ptd2017/junio/0760358/Index.html>
- Gálvez., (2016). Impacto socioeconómico por fenómenos hidrometeorológicos en el Estado de Veracruz y sus municipios (1999-2015). (Trabajo de maestría en economía ambiental). Universidad Autónoma de Veracruz
- Moreno Palacios, C., (2016). Análisis del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG para la cuenca del Río Quito. [Tesis de especialidad, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2896?show=full>

CAPÍTULO 2

BIOTECNOLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTORES

ABIMAE LAGUNES CASTRO, ALEJANDRA RAMÍREZ MARTÍNEZ, ALMA PATRICIA MURILLO BRENIS, ANDRÉS CASTAÑEDA MORALES, ARLETH CASTRO GARCÍA, ARTURO GARCÍA SALDAÑA, BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN, BENIGNO ORTÍZ MUÑIZ, BERENICE ÁNGEL HERNÁNDEZ, BEXIDIU ANAI PINEDA CASTILLO, CARLOS POOT DELGADO, CARLOS QUIROZ APARICIO, CAROLINA BARRIENTOS SALCEDO, CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ, CLARA IVONNE RUIZ REYES, ERNESTO FRANCISCO RUBIO CRUZ, ESLI VÁZQUEZ-NAVA, EUTIMIO SOSA SILVA, FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA, FABIOLA LANGO REYNOSO, FIDELIO CASTILLO ROMERO, FRANCISCO OSORIO ACOSTA, GABRIELA ATHIE ESPARZA DÍAZ, GABRIELA PÉREZ OSORIO, GLORIA ITZEL VALDIVIA CABRAL, GUADALUPE DOLORES GUTIÉRREZ SAMPIERI, HANS CHRISTIAN CORREA AGUADO, HUGO PÉREZ PASTENES, ISABEL ARACELI AMARO ESPEJO, ITZEL GALAVIZ VILLA, JOSÉ ARMANDO LOZADA GARCÍA, JOSÉ ISAAC ZAMORA MORALES, JULIO CANDELA PÉREZ, KATYA GUADALUPE OLAN REYES, LAURA RUELAS MONJARDÍN, LUIS ENRIQUE GARZOTA TECALCO, MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO, MANUEL SUSUNAGA MIRANDA, MARCO ANTONIO GARZÓN ZÚÑIGA, MARÍA CASTAÑEDA CHÁVEZ, MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ, MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ QUEZADA, MARÍA HERNÁNDEZ BERRIEL, MARIANA DE LA MIYAR LOZA, MARIO RAFAEL AGUILAR RODRÍGUEZ, MIGUEL AGUILERA FLORES, MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ RAMÍREZ, MIGUEL ÁNGEL VALERA PÉREZ, MIGUEL MAURICIO AGUILERA FLORES, MIGUEL PÉREZ VASCONCELOS, MIRIAM DANIELA ROGEL CASTRO, NAHUM MEDELLÍN CASTILLO, OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO, OMAR DE JESÚS MOTA SANGABRIEL, OSCAR ROBLES RAMÍREZ, OSWALDO EMMANUEL ROBLES MIRANDA, OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ, PATRICIA CERVANTES ACOSTA, PAULA ZÚÑIGA RUIZ, PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ, REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ, ROCÍO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ, RODOLFO CANSECO SEDANO, ROSA GÓMEZ DOMÍNGUEZ, ROSA MARÍA ARIAS MOTA, SARA NÚÑEZ CORREA, SERGIO ALBERTO DÍAZ BARAJAS, SHIRLEY HERNÁNDEZ MORALES, VERÓNICA ÁVILA VÁZQUEZ, VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ, VIVIANA PATRICIA DEL RIVERO PONCE, WADI ELIM SOSA GONZÁLEZ, YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO, YOLANDA LAGUNES PAREDES

EMISIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EN ASADEROS AMBULANTES EN BOCA DEL RÍO, MÉXICO

ARLETH CASTRO GARCÍA¹, ARTURO GARCÍA SALDAÑA², FABIOLA LANGO REYNOSO³, PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ⁴, MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO⁵

Resumen

Uno de los gases generados por la combustión de madera y carbón es el monóxido de carbono (CO). Se estima que el 60 % del CO proviene de la combustión de biomasa, tabaco y combustibles fósiles. El CO es un contaminante atmosférico que tiene como principal consecuencia el deterioro de la calidad de vida en los seres humanos. Las parrillas comerciales o asaderos son fuentes de este contaminante. Se monitoreó la concentración de CO aplicando la metodología del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). El método de muestreo utilizado fue automático. Se tomaron siete puntos de muestreo mediante la técnica de muestreo no probabilística a juicio o por asignación, con una escala de representatividad micro. Se obtuvieron seis datos/ hora por punto de muestreo y se realizaron dos repeticiones, entre semana y fin de semana. El objetivo de este trabajo fue analizar la dispersión de CO producido por los asaderos ambulantes y establecer la relación que existe entre las emisiones y el número de asaderos.

Palabras clave: Monitoreo, calidad del aire, sensores, microfuentes

Abstract

One of the gases generated by the combustion of wood and coal is carbon monoxide (CO). It is estimated that 60 % of CO comes from the combustion of biomass, tobacco and fossil fuels. CO is an atmospheric pollutant whose main consequence is the deterioration of the quality of life in human beings. Commercial grills or barbecue pits are sources of this contaminant. The concentration of CO was monitored by applying the methodology of the National Air Quality Information System (SINAICA). The sampling method used was automatic. Seven sampling points were taken using the non-probabilistic sampling technique on trial or by

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. asaldana@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

assignment, with a micro representativeness scale. Six data / hour were obtained per sampling point and two repetitions were carried out, during the week and at the weekend. The aim of this work was to analyze the dispersion of CO produced by mobile grills and establish the relationship between emissions and the number of grills.

Keywords: Monitoring, air quality, sensors, micro sources

Introducción

El CO es un gas inodoro, incoloro e insípido que no puede ser detectado por el ser humano de forma natural. Se forma por la combustión incompleta de material orgánico en presencia deficitaria de oxígeno (Téllez y Rodríguez, 2006). Es el gas tóxico y mortal más común. Los niveles de CO en el ambiente se presentan por una mala combustión en cocinas que utilizan leña, hornos, calentadores, chimeneas, automóviles y calderas (Vega, Lagos, y Salgado, 2017).

Pese al impacto que tiene el CO en la calidad de vida de los seres humanos por sus efectos nocivos conocidos, la normatividad actual se encuentra muy limitada en la regulación de las emisiones para las diversas fuentes existentes. En México, la NOM-021-SSA1-1994 (1993) establece que el valor permisible de CO no debería rebasar las 11 ppm en 8 horas móviles.

Por otra parte, aunque las fuentes emisoras de este contaminante atmosférico son varias, únicamente la NOM-042-SEMARNAT-2003 (2005) establece los límites máximos permisibles de CO proveniente del escape de los automóviles. Los vehículos automotores son considerados la principal fuente emisora de este contaminante. Sin embargo, existen otras fuentes conocidas como micro fijas, que no se encuentran reguladas en los municipios y que podrían representar un daño importante para las personas y el ambiente. Tal es el caso de las parrillas o asaderos comerciales ambulantes que utilizan la biomasa como combustible principal. Conocer la tendencia y/o dispersión de este contaminante podrá servir como precedente para establecer acciones que permitan regular los asaderos ambulantes como fuentes de emisión y así mitigar los efectos de estos contaminantes sobre el ambiente y la salud humana. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar la dispersión de CO producido por los asaderos y la relación con el funcionamiento de estos establecimientos.

Materiales y Métodos

Cerca de los asaderos pueden localizarse otros locales de alimentos que utilizan otro tipo de combustibles para la cocción de los diversos platillos que elaboran. Además, generalmente son establecimientos que se encuentran ubicados en lugares muy transitados por el flujo vehicular. Por tanto, estas fuentes móviles se consideran fuentes de emisiones. Por ello, fue necesario realizar una investigación de campo que, permitió involucrarse directamente con el área geográfica, mediante

recorridos a pie y en automóvil a fin de identificar los asaderos ambulantes que se localicen en la zona.

Por otra parte, se decidió adoptar, para el desarrollo de la investigación, el modelo teórico pragmático. La postura pragmática pertenece a la línea Galileana. Bajo esta postura fue necesario en su totalidad la práctica, es decir, se tornó una investigación experimental. Dicha postura, menciona que obtiene las teorías de la práctica para posteriormente aplicarlas a nuevas prácticas (Engel, 2011). Así bien, con base en el conocimiento de las fuentes contaminantes y, que ya se han realizado estimaciones de la cantidad de emisiones que existen en estos negocios, fue posible llevar a cabo la experimentación. A partir de la observación y monitoreo, se efectuó el análisis de dichas emisiones de los asaderos ambulantes.

Área de estudio.

Este trabajo se llevó a cabo en el municipio de Boca del Río, Veracruz, México. Se localiza en la zona centro costera del estado, en las coordenadas 19° 07' latitud norte y 96° 06' longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte y noroeste la ciudad de Veracruz; al este con el Golfo de México, al sureste con Alvarado, al sur con Medellín (Figura 1). Tiene una superficie de 37.24 Km², cifra que representa un 0.06 % del total del estado de Veracruz. Su clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 25 °C; su precipitación pluvial media anual es de 1 694 mm (CEIEG, 2016).

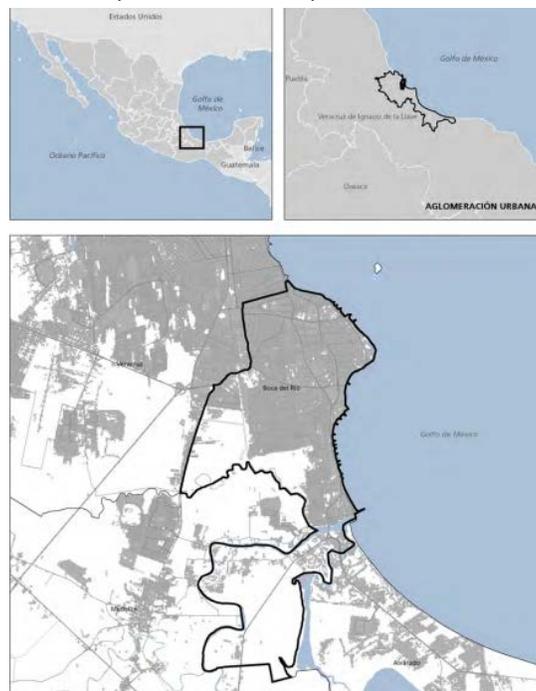


Figura 1. Macrolocalización de la ciudad de Boca del Río (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2015).

Identificación de los asaderos ambulantes

Para la identificación de los asaderos ambulantes se realizaron recorridos en automóvil a una velocidad moderada y a pie en el municipio de Boca del Río, durante los meses de noviembre 2020 a enero 2021.

Durante los recorridos, se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada asadero con la aplicación para dispositivos móviles Map Marker versión 2.19. Inicialmente, en esta aplicación se crearon dos carpetas, una que correspondía a los asaderos establecidos y otra para asaderos ambulantes (Figura 2).

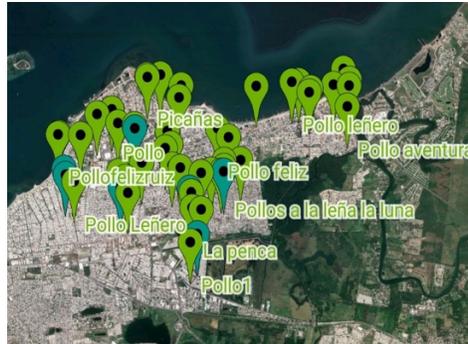


Figura 2. Asaderos ambulantes y establecidos ubicados en Map Marker 2.19

Terminado el recorrido, se exportaron las coordenadas de cada asadero en un archivo de Microsoft® Excel. Finalmente se utilizó la plataforma ArcMap para importar la base de datos de Excel y geolocalizar los asaderos en un mapa de Boca del Río. Se localizaron 48 asaderos en el municipio; donde 41 corresponden a asaderos establecidos y 7 a asaderos ambulantes (Figura 3).

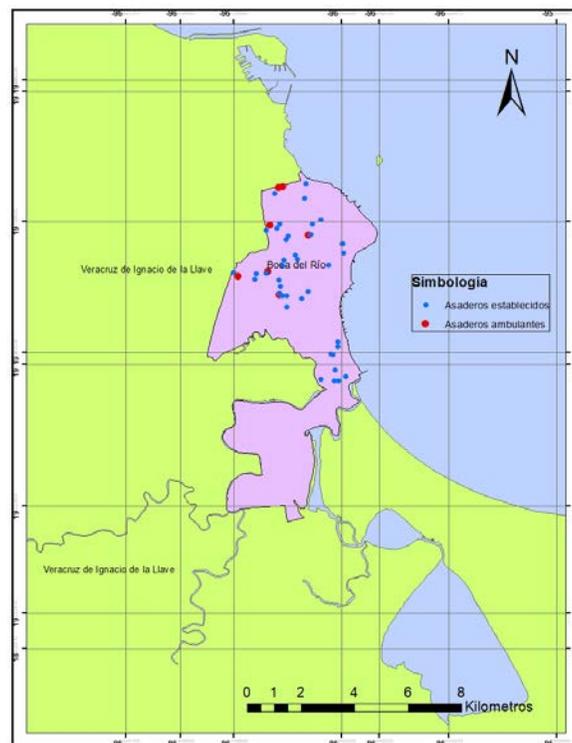


Figura 3. Asaderos ambulantes y establecidos

Determinación de las emisiones de CO

Para determinar las emisiones de este contaminante se consideraron los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Se utilizó el método automático con un dispositivo de monitoreo de CO, diseñado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, a una altura de 2 metros (Figura 4). Este método permite la obtención de las emisiones del contaminante de manera continua en determinado tiempo. Este dispositivo utiliza sensores MQ7(CO). Se conecta a una computadora a través de un cable Ethernet, los datos obtenidos se almacenan cada 2.5 minutos en un archivo de Excel.

Relación entre la dispersión de CO y el funcionamiento de los asaderos

Para determinar si existe una relación entre la dispersión de CO con el funcionamiento de los asaderos se llevó a cabo el análisis estadístico de los datos utilizando el software Minitab versión 18.



Figura 4. Dispositivo de medición de CO, diseñado en el Instituto Tecnológico de Boca del Río,.

Diseño experimental

La escala de representatividad es micro, de acuerdo con el SINAICA (2019), pues entre más pequeña sea la distancia de la fuente puntual de contaminación al equipo de monitoreo, más específico y limitado será el objetivo de la medición. Por lo que el dispositivo de medición se colocó a una distancia de entre 10 a 100 m de los asaderos.

Se utilizó como técnica de muestreo, el muestreo no probabilístico a juicio o por asignación, debido a que previamente se localizaron los asaderos ambulantes en el municipio que correspondían a siete sitios donde se realizará la medición.

Para la obtención de datos, se consideró lo especificado por el SINAICA (2019), donde, menciona que se deben obtener al menos tres datos por cada hora en cada punto de muestreo. Tomando en cuenta que el equipo realiza una medición cada 2.5 minutos, se obtuvieron 24 datos / hora por cada punto de muestreo de los cuales se utilizaron seis mediciones con un intervalo de diez minutos entre cada uno (Figura 5). Se realizaron dos repeticiones una entre semana y otra en fin de semana. Es decir, se obtuvieron 42 datos / repetición considerando los siete asaderos ambulantes localizados.

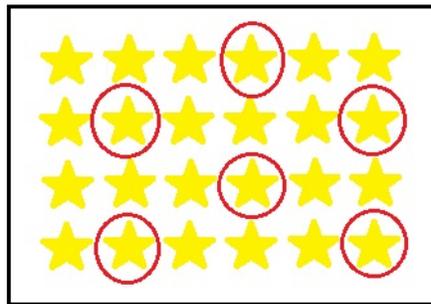


Figura 5. Selección de datos muestreados en una hora.

Captura de los datos

Los datos de las emisiones atmosféricas del contaminante fueron obtenidos según la metodología para la medición de la calidad del aire basada en los manuales del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Se realizó mediante un dispositivo de monitoreo de calidad del aire utilizando el sensor MQ7, este equipo trabaja con el método automático, el cual contempla la toma de datos de forma continua determinando la contaminación de CO en la atmósfera. Se realizó el muestreo en fin de semana y entre semana. Los datos fueron almacenados en una memoria SD para posteriormente importarlos como una hoja de Excel y realizar su análisis con el software Minitab® versión 18.

Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico se realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Una prueba de normalidad.
- Gráfica de cajas para conocer la distribución y variabilidad de los datos.
- Prueba t student para 2 muestras independientes con 95 % como intervalo de confianza donde se comparó la concentración de CO en días donde aumentó el número de asaderos (fin de semana) respecto a días donde disminuyó (entre semana).

Resultados y Discusión

Se realizó un muestreo durante una hora en cada asadero ambulante entre semana obteniendo 24 datos en una hora, de los que fue seleccionado un dato cada diez minutos.

Con base en la prueba de normalidad obtenida de los valores de la concentración de CO entre semana (Figura 6) se observa que existe una distribución normal entre los datos.

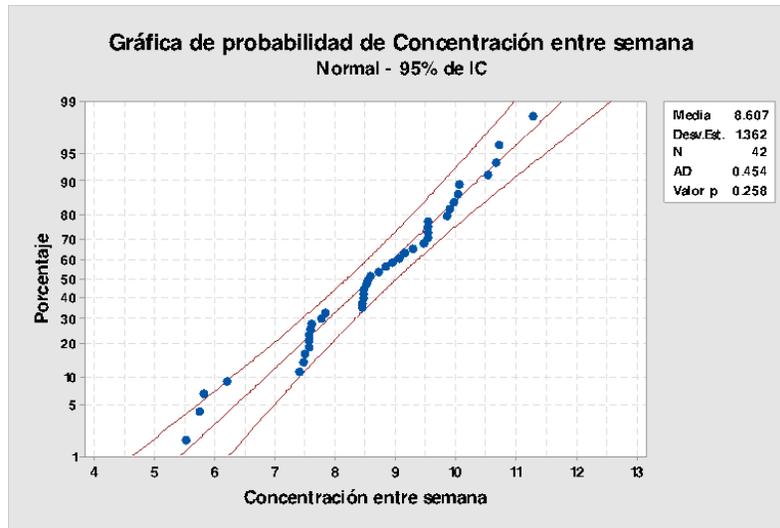


Figura 6. Distribución de la concentración de CO entre semana.

Con base en la prueba de normalidad obtenida de los valores de la concentración de CO en fin de semana (Figura 7) se observa que existe una distribución normal entre los datos.

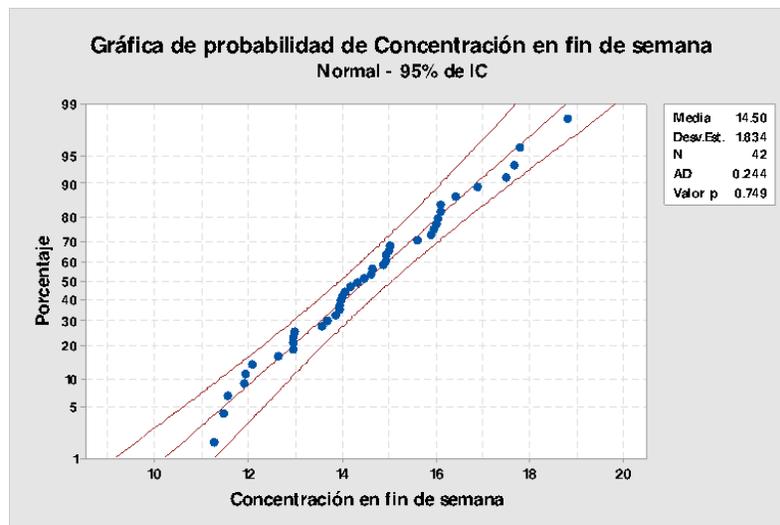


Figura 7. Distribución de la concentración de CO en fin de semana.

De acuerdo con la gráfica de cajas de cada grupo de datos, se observó que existe una variación importante entre la concentración obtenida entre semana respecto a la obtenida en fin de semana como se observa en la Figura 8.

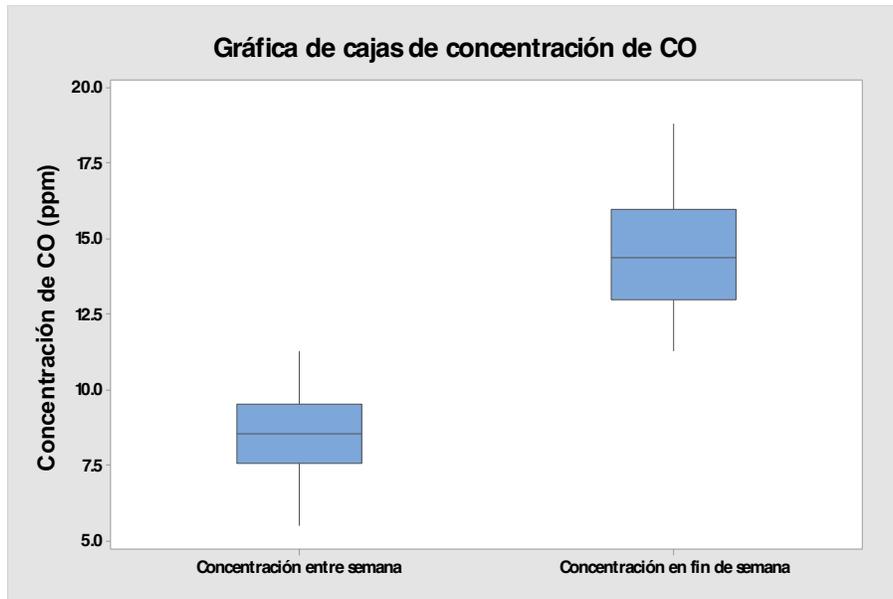


Figura 8. Diferencia de las concentraciones de entre semana y en fin de semana.

Prueba t de muestras de la concentración entre semana y en fin de semana

Se obtuvo la media de la concentración de CO de los asaderos ambulantes entre semana que correspondía a 8.61 ppm con una desviación estándar de 1.36. También se obtuvo una media de 14.50 ppm correspondiente a la concentración en fin de semana con una desviación estándar de 1.83. Se obtuvo el valor de la diferencia entre ambas muestras de concentración donde la diferencia con un nivel de significancia del 5 % fue diferente a 0, Al presentarse un valor p inferior al nivel de significancia se muestra que existen diferencias significativas entre ambos tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estimación de la diferencia entre tratamientos.

Diferencia	Desviación estándar agrupada	IC de 95% para la diferencia
-5.893	1.615	(-6.594, -5.191)

La diferencia existente en la media de las concentraciones puede atribuirse al funcionamiento de los asaderos, reflejado entre semana y en fin de semana. (Cuadro 2),

Cuadro 2. Resultados de la prueba t de Student. Diferencia entre tratamientos.

Valor T	GL	Valor p
-16.72	82	0.000

Conclusión

Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que la concentración de CO observada en los siete puntos de muestreo cercanos a los asaderos ambulantes aumentó en fin de semana respecto a la concentración entre semana. El análisis estadístico comprobó que existen diferencias significativas entre las concentraciones obtenidas en cada caso. Por lo anterior, se concluye que el funcionamiento de los asaderos ambulantes afecta proporcionalmente la concentración de CO; es decir, a mayor cantidad de asaderos, mayor será la concentración de CO presente en la zona. Dicho incremento se puede atribuir a los asaderos analizados en la zona de estudio. Se concluye además que pueden representar un peligro potencial para las personas que laboran en estos establecimientos por el tiempo que permanecen en el sitio expuestas al contaminante, y personas cercanas a éstos.

Referencias

- CEIEG. (2016). Sistema de Información Municipal, Cuadernillos Municipales, Boca del Río. Retrieved from <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Boca-del-R%C3%ADo.pdf>
- Engel, P. (2011). Intrusión pragmática y valor epistémico. *Areté*, 23(1), 25-52.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, I. (2015). Marco Geoestadístico Nacional v6.2, México
- NOM-021-SSA1-1994. (1993). NORMA Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1994, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-042-SEMARNAT-2003. (2005). NORMA Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diesel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.
- SINAICA. (2019). Manual 3 Redes, estaciones y equipos de medición de la calidad del aire Retrieved from <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/3 - Redes, Estaciones y Equipos de Medici%C3%B3n de la Calidad del Aire.pdf>
- Téllez, J., & Rodríguez, A. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de salud pública*, 8, 108-117. doi:10.1590/S0124-00642006000100010
- Vega, L. J. I., Lagos, A. M. A., & Salgado, G. G. (2017). Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(18), 73-83. doi:10.17163/ings.n18.2017.09

ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR ANTIBIÓTICOS DEL AGUA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COTZALA USANDO EL MODELO DPSIR

BERENICE ÁNGEL HERNÁNDEZ¹, GABRIELA PÉREZ OSORIO², MIGUEL ÁNGEL VALERA PÉREZ³.

Resumen

La presencia de antibióticos en los diversos cuerpos de agua representa un problema de salud global. Sin embargo, actualmente los procesos de tratamiento de aguas no son capaces de eliminar por completo los residuos de antibióticos existentes en el agua debido a su persistencia.

Por tal motivo, este trabajo aborda la problemática ambiental asociada a la presencia de antibióticos en el agua residual y superficial de la subcuenca del Río Cotzala, utilizando el marco de referencia DPSIR (por sus siglas en inglés, Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses). El trabajo se centra en una identificación y evaluación preliminar de los indicadores antes mencionados.

Los indicadores se identificaron siguiendo las líneas del marco DPSIR, para cada elemento de este y se complementaron con estrategias sobre cómo recolectar la información necesaria. La aplicación de este modelo proporcionó la identificación de algunas presiones causantes del cambio de estado debido a la contaminación por antibióticos de los ecosistemas hídricos de la región. No obstante, es necesaria más investigación sobre estos cuerpos de agua para llenar los vacíos existentes en el conjunto de datos.

Palabras clave: Antibióticos, Contaminación de agua, Modelo DPSIR, Tratamiento de aguas residuales

Abstract

The presence of antibiotics in various bodies of water represents a global health problem. However, currently water treatment processes are not capable of completely eliminating antibiotic residues in water due to their persistence.

For this reason, this work addresses the environmental problems associated with the presence of antibiotics in the residual and surface water of the Cotzala River sub-basin, using the DPSIR reference framework (for its acronym in English, Drivers, Pressures, State, Impacts, responses). The work focuses on an identification and preliminary evaluation of the aforementioned indicators.

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Av. San Claudio s/n 72592 Puebla, México. berenice.angelhdz@alumno.buap.mx

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Av. San Claudio s/n 72592 Puebla, México.

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Av. San Claudio s/n 72592 Puebla, México.

The indicators were identified along the lines of the DPSIR framework, for each element of it and were complemented with strategies on how to collect the necessary information. The application of this model provided the identification of some pressures that cause the change of state due to antibiotic contamination of the hydric ecosystems of the region. However, more research on these water bodies is needed to fill in the gaps in the dataset.

Keywords: Antibiotics, Water pollution, DPSIR model, Wastewater treatment

Introducción

El término de contaminantes emergentes (CE) se utiliza para referirse a compuestos de distinto origen y naturaleza química, que no están incluidos en el monitoreo actual de tratamiento de aguas, entre los que se encuentran compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes y aditivos industriales (Gil et al., 2012) (Patiño et al., 2014). En comparación con otros contaminantes emergentes, los fármacos pueden producir distintas reacciones en los seres vivos, tales como actuar como disruptores endocrinos, crear resistencia microbiana o producir alteraciones metabólicas en los organismos.

Entre los fármacos que más se han podido detectar en los diferentes compartimentos ambientales son los antibióticos (Gil et al., 2012) (Carbajo, 2013), y aunque se creía que estos compuestos eran biodegradables en el medio ambiente, debido a que podían metabolizarse y transformarse en gran medida en los seres humanos, estudios recientes han demostrado la persistencia de estos fármacos en el medio acuático (Frade et al., 2014).

En general, los antibióticos después de ser consumidas se metabolizan parcialmente en el hígado y se excretan en la bilis y la orina que contienen una alta concentración del fármaco (fármaco inalterado o metabolito activo) (Frade et al., 2014), llegando así al medio ambiente. Además, la disposición final de antibióticos no utilizados o vencidos es otro factor importante para que estos fármacos lleguen al ambiente debido a que son arrojados directamente a los inodoros o contenedores de basura y éstos terminan en la PTAR municipal, donde la eficiencia de eliminación de estos medicamentos se encuentra en el rango de 79-87% (Gothwal & Shashidhar, 2015). Por lo que analizar todos los elementos de un sistema tan complejo como este, es necesario para poder abordar la problemática de una manera integral que lleve tanto a la prevención como a la mitigación del problema. En ese sentido, el marco DPSIR, por sus siglas en inglés Driver-Pressure-State-Impact- Response, tiene como objetivo evaluar los problemas socio-ecológicos de los sistemas complejos sujetos a la influencia antropogénica, como lo son los sistemas hídricos (Timmerman et al., 2011) (Gari et al., 2015).

Sin embargo, esta evaluación de la calidad del agua se ha centrado en la contaminación provocada por industrias o por actividades económicas primarias como la agricultura y ganadería, dejando de lado el tema de la contaminación del agua por antibióticos. Por tal motivo, este trabajo aborda la problemática ambiental asociada a la presencia de antibióticos en el agua residual y superficial de la subcuenca del Río Cotzala, utilizando el marco de referencia DPSIR. El trabajo se centra en una identificación y evaluación preliminar de los indicadores antes mencionados

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

Esta subcuenca se encuentra ubicada en la zona centro oeste del estado de Puebla, dentro de la cuenca del Alto Atoyac.

Para poder delimitar la zona de estudio se utilizó el programa Arc Gis 10.5. y se realizó la delimitación de la región en función del nacimiento de los Ríos Santa Elena y Cotzala, hasta la unión de ambos con el Río Atoyac. Se realizó la estimación del cálculo del área y perímetro de la zona de estudio acuerdo con las mediciones obtenidas mediante el programa Arc Gis 10.5. Y se realizó la estimación de la población total que habita en la subcuenca con base en los datos del Censo de población y vivienda 2020, INEGI.

Modelo DPSIR

En el modelo DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impacts, Responses) las *Fuerzas motrices* de la sociedad llevan a *Presiones* antropogénicas, que generan un *Estado*, el cual da lugar a *Impactos* que, a su vez, provocan *Respuestas* que retroalimentan a cada uno de los otros tipos de indicadores. En particular este trabajo se centra en una identificación y evaluación preliminar de las fuerzas motrices y presiones sociales y económicas relacionadas con la problemática ambiental asociada a la presencia de antibióticos en el agua residual y superficial de la subcuenca del Río Cotzala, para lo cual se seleccionó un conjunto preliminar de indicadores para cada uno de sus componentes.

Para realizar el proceso de selección de los indicadores desarrollamos un sistema de 6 pasos que dieron paso a la identificación de los indicadores de cada categoría del marco de referencia DPSIR (Fig. 1). Los pasos de la metodología que se siguió se describen a continuación.

- Identificación de un marco conceptual actual con respecto a la problemática. Se hizo una exhaustiva revisión bibliográfica sobre la problemática a tratar dentro de la zona de estudio, para comprender el contexto en el que se estaba desarrollando e identificar lo que se había hecho o no al respecto
- Definir las necesidades de información. Se identificaron que áreas de información no se estaban considerando dentro de la bibliografía ya

existente y que eran primordiales para el entendimiento integral de la problemática. Además, se identificaron aquellos factores que, aunque ya estaban reportados era fundamental considerar para entender las interrelaciones de las categorías del marco DPSIR

- Seleccionar indicadores potenciales. De la información recolectada en los pasos anteriores se obtuvieron posibles indicadores estuvieran basados en representar y caracterizar el problema de manera lógica y secuencial para la comprensión del problema y encontrar posibles soluciones
- Evaluación de los indicadores potenciales con base en criterios de selección. Se identificaron los indicadores de las fuerzas impulsoras y sus presiones resultantes que influían potencialmente en el origen y desarrollo de la problemática de la presencia de antibióticos en aguas de la zona de estudio. Además, se indagó sobre la viabilidad de la recolección de la información para cada indicador.
- Recopilación de información de cada indicador. Se obtuvieron los datos necesarios para la cuantificación cada indicador, a través de bases de datos y bibliografía. Sin embargo, algunos indicadores de presión aún no están calculados debido a la indisponibilidad de los datos
- Identificar y evaluar los vínculos entre los indicadores. Se llevó a cabo el análisis de los datos recolectados en el paso anterior y se identificaron las interrelaciones entre ellos y el problema

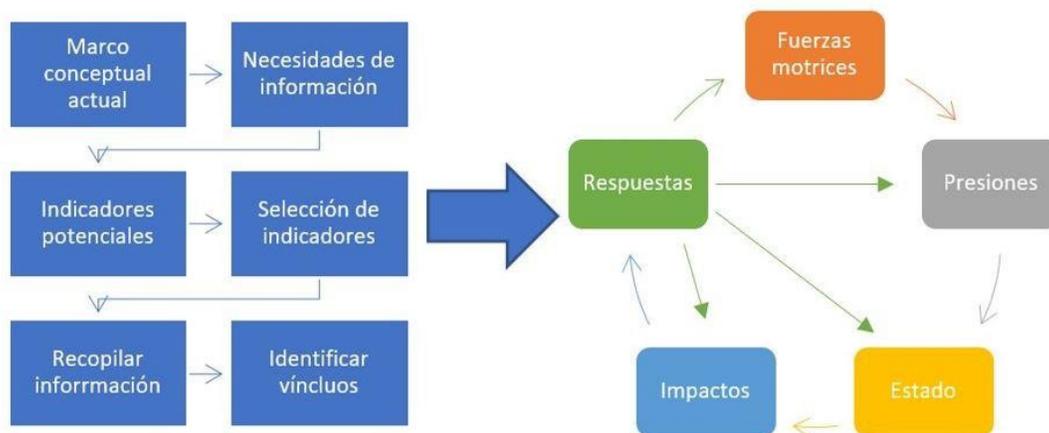


Fig. 1. Metodología para el desarrollo de los indicadores del marco DPSIR (Elaboración propia)

Resultados y Discusión

Descripción de la zona de estudio

A la zona delimitada se le asignó el nombre de Subcuenca Río Cotzala, dado que de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) las subcuencas se delimitan por un parteaguas en donde se

concentran los escurrimientos que desembocan en el curso principal de un río y que además abarca un territorio entre 5000 y 50 000 hectáreas,

La subcuenca del Río Cotzala cuenta con 137.34 Km² de área y 65 253.7 m de perímetro, de acuerdo con las mediciones obtenidas mediante el programa Arc Gis 10.5 (Fig.2). Dentro de la subcuenca se encuentran localizadas 14 localidades pertenecientes a los municipios de Chiautzingo, San Felipe Teotlalcingo, San Salvador el Verde y San Martín Texmelucan, del Estado de Puebla. El área cubierta por estas localidades representa el 12% del área total de la subcuenca, y el total de habitantes de la zona de estudio es de 45 912.



Fig. 2. Ubicación de la subcuenca Río Cotzala (delimitada por línea azul)

Modelo DPSIR

Los indicadores finales obtenidos después del proceso anterior se muestran en el cuadro 1, así como las estrategias para la recolección de datos de cada indicador. Las estrategias seleccionadas se basan en la recolección de datos a través de la consulta de las bases de datos ya existentes en las diferentes instituciones gubernamentales competentes, así como la normativa aplicable y entrevistas a la población y al sector salud y veterinario de la zona de estudio.

Cuadro 1. Indicadores del marco DPSIR para analizar la contaminación por antibióticos del agua de la subcuenca del Río Cotzala (Elaboración propia)

Componentes	Indicadores	Fuentes de Información
Fuerzas Motrices	Tamaño de la población	Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM) Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla (CEIGEP) Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos A.C. (SINGREM) Ley general para la prevención y gestión integral de residuos (LGPGIR) Diario Oficial de la Federación (DOF) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Puebla (CEIGEP) Bases de datos de los sistemas de salud Entrevistas
	Índice de desarrollo humano	
	Nivel educativo	
	Ocupación	
	Gobierno	
	Servicios de salud	
	Disponibilidad de agua potable	
	Infraestructura hídrica	
	Normativa para distribución de antibióticos	
	Normativa para desecho de antibióticos	
Presión	Cantidad de contenedores para desechos fármacos	
	Descargas municipales	
	Descargas industriales	
	Consumo de antibióticos	
	Disposición final de antibióticos	
	Población pecuaria	

Los indicadores seleccionados se consideraron como fundamentales para entender el contexto alrededor de la problemática de contaminación de aguas por antibióticos debido a que cada uno de los indicadores intervienen en el desarrollo del problema de manera importante y mantienen una correlación entre sí (Fig. 3).

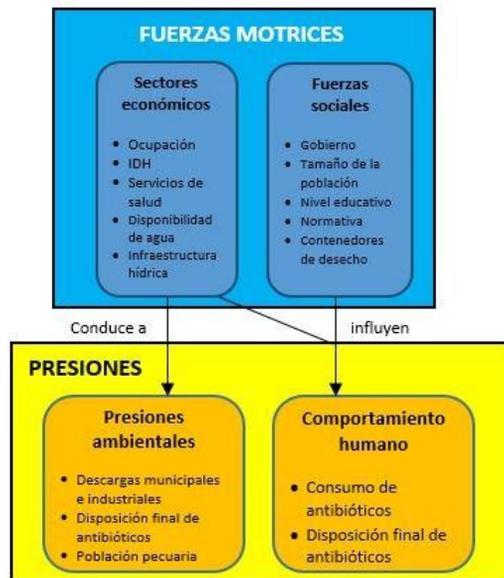


Fig. 3. Relación de los indicadores *Fuerzas motrices* y *Presiones* del marco DPSIR (Elaboración propia)

La descripción socioeconómica es una de las partes centrales de este trabajo debido a que es esencial para comprender el contexto en el que se está llevando a cabo la investigación. Es por esto, que los indicadores aquí presentados nos llevarán a indagar sobre las necesidades humanas que al satisfacerlas provocan impactos positivos o negativos en el medio ambiente.

Tamaño de la población

La interrelación entre la población, el medio ambiente y los recursos naturales es compleja y variada por lo que puede ser determinada por múltiples factores. La calidad del medio ambiente perturba la calidad de las variables asociadas con el nivel o la calidad de vida de la población, tanto directa como indirectamente. Estas, a su vez, afectan las variables demográficas; por ejemplo, el agua contaminada puede causar enfermedades que podrían significar una mayor incidencia de la mortalidad (Campaña, 1992).

Se ha determinado que este indicador estuviera presente debido a que una amplia comprensión de las interrelaciones entre el tamaño poblacional y el medio ambiente proporcionaría la información necesaria para formular medidas correctivas, políticas y otras actividades relacionadas que mejoren las condiciones ambientales y el bienestar de la población.

Índice de Desarrollo Humano

Se ha demostrado en diversas fuentes bibliográficas que cuanto más bajo es el estatus socioeconómico de una comunidad, como lo revela el Índice de Desarrollo Humano (IDH), mayor es la cantidad de contaminantes liberados al ambiente. Esto se relaciona con la falta de instalaciones sanitarias, con la falta de educación ambiental, con el grado de escolaridad, entre otros factores (Bidone & Lacerda, 2004). Por lo tanto, se puede concluir que las localidades de la zona de estudio tienen problemas ambientales asociados a la cantidad de contaminantes liberados.

Nivel educativo

“La educación en general y la ambiental en particular deben partir de la realidad del entorno local y de los sujetos sociales, de sus propios intereses, de la participación activa y de la organización como modo de vincular lo aprendido con la vida cotidiana para que desarrollen así las habilidades básicas que permitan su participación calificada en los procesos de transformación de las realidades” (Espejel Rodríguez & Flores-Hernández, 2012). En cuestión de contaminación del agua, y entrando en el contexto de este trabajo de investigación, se podría pensar que debido a que la población no tiene un alto grado de escolaridad o de educación en general, no se encuentran informados sobre la problemática ambiental que enfrentan y las posibles consecuencias de automedicarse con antibióticos o su forma de desechar los mismos, por lo que es importante analizar cuál es grado de

escolaridad de la población en cada municipio, y que porcentaje de la población representan las personas que cuentan con algún grado de educativo.

Ocupación

El agua y el empleo están inextricablemente unidos a varios niveles, ya sea que los consideremos desde una perspectiva económica, ambiental o social (UNESCO, 2016). Las principales actividades económicas que se desarrollan en los municipios de nuestra zona de interés entran en el rubro de la pesca, ganadería y agricultura, así como en el ramo de la industria y el comercio, por lo que es evidente que su necesidad de aprovechamiento del agua es de alto impacto.

Gobierno

Muchos autores reconocen que la insuficiencia en la regulación de los límites máximos permisibles de contaminantes generados en descargas de municipales e industrias se debe a que los gobiernos tienen como prioridad un rápido desarrollo económico por encima de cualquier costo ambiental. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, los sectores que promueven el crecimiento económico son los que ejercen más dominio sobre las decisiones ambientales, por lo que la política de la contaminación tiende a ser intervenida por las industrias y los grandes grupos agroalimentarios. Ciertos autores consideran que se trata del arraigamiento de la ideología neoliberal en las instituciones mexicanas, la cual encierra un racionamiento puramente mercantil de los bienes públicos (Rolland & Vega Cárdenas, 2008) (Pedrozo Acuña, 2020).

Servicios de Salud

Las consecuencias en la salud la sufren los países subdesarrollados, por falta de recursos económicos para hacer frente a los efectos en la salud que tienen los factores contaminantes, aunado a esto, la falta de desarrollo económico se ve también reflejado en el servicio de salud que la población pueda brindar (Organización Panamericana de la Salud, 2012). A mayor número de enfermedades y de pacientes mayor número de centros de salud deberían existir, sin embargo, en los países con un IDH de medio a bajo no suele ser así.

Disponibilidad de agua potable

La escasez de agua es un fenómeno natural, pero también un fenómeno inducido por los seres humanos y actualmente representa para muchos países el desafío más apremiante para el desarrollo socioeconómico y humano en general (UNESCO, 2015). Se debe agregar, que la cantidad de agua disponible en una zona es importante para efectos ambientales, debido a que una escasa cantidad de agua disponible se traduce en tener que reutilizar el agua, lo que la mayoría de las ocasiones no resulta confiable debido al tratamiento con la que fue

descontaminada. Otro rasgo importante por tratar es que, en los cuerpos de agua a menor cantidad del líquido, mayor concentración de los contaminantes.

Infraestructura hídrica

El suministro básico de servicios adecuados de agua, saneamiento e higiene en el hogar y el lugar de trabajo favorece el desarrollo de una economía fuerte, ya que contribuye a mantener la salud y productividad de la población y la fuerza laboral, alcanzando relaciones de beneficio-costos de hasta 7 a 1 en el caso de los servicios básicos de agua y saneamiento en los países en desarrollo. Por el contrario, las personas que tienen menos acceso al agua y saneamiento suelen ser las más propensas a tener poco acceso a una atención sanitaria y puestos de trabajo estables, alimentando así el ciclo de la pobreza (UNESCO, 2016).

Normativa para distribución y disposición final de antibióticos

En México la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) es el órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud quien a través de las diversas Comisiones que la integran autoriza la venta y distribución de medicamentos para uso humano a través de Registros Sanitarios, evalúa el apego a la normatividad sanitaria de las Buenas Prácticas de Fabricación de medicamentos conforme a la NOM-059-SSA1-2015 (CONAMED, 2018).

Cabe resaltar que anteriormente existía la NORMA Oficial Mexicana NOM-073-ECOL-1994, que establecía los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las industrias farmacéutica y farmoquímica, sin embargo, **actualmente ya no está vigente esa norma.**

Cantidad de contenedores para desecho de fármacos

De acuerdo con la base de datos del SINGREM actualmente sólo se cuentan con 2 contenedores para desecho de fármacos en la zona de nuestro interés. Sólo el municipio de San Martín Texmelucan cuenta con este tipo de contenedores, por lo que se infiere que la población de los otros municipios de nuestra zona de estudio (Chiautzingo, San Felipe Tleotlalcingo y San Salvador el Verde) tendrían que viajar hasta San Martín Texmelucan para poder darle una correcta disposición final a los medicamentos caducos o que no vayan a utilizar más. Esto demuestra que las medidas existentes no son suficientes en este rubro.

Descargas municipales y Descargas industriales

Después de la administración para los seres humanos y los animales, una parte significativa de los productos farmacéuticos, del 10 al 90%, se excretan en la orina y las heces en forma inalterada en las aguas residuales, y posteriormente ingresan en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, donde se tratan estos

compuestos junto con otros compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual (Frade et al., 2014). Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son consideradas como puntos de acceso y selección de bacterias resistentes. Albergan una alta densidad y diversidad de bacterias ambientales asociadas con humanos y animales (incluidos los patógenos), y tienen diversos factores de resistencia a antibióticos que pueden intercambiarse entre ellas (MARTÍNEZ-ORGÁNIZ et al., 2020)

Consumo de antibióticos

El uso de medicamentos por iniciativa propia sin ninguna prescripción por parte del médico sigue siendo una práctica frecuente en nuestra sociedad. Utilizamos medicamentos para el dolor de cabeza, para problemas gástricos, para relajarnos, para la tos, para la alergia, entre otros padecimientos cuando no deben utilizarse, y esto conlleva a riesgos, como, por ejemplo, promover una resistencia al antibiótico en las bacterias inofensivas de nuestro cuerpo, pero también en las que son perjudiciales (Secretaría de Salud, 2017).

Se ha evidenciado que el porcentaje de resistencia bacteriana aumenta en poblaciones de bajos recursos con problemas para acceder a un tratamiento médico, aunado a que no se cuenta con un apropiado manejo de los residuos de antibióticos en los centros de salud, las farmacias, la ganadería o la agricultura (CONAMED, 2018).

Por otra parte, los antibióticos también se usan en medicina veterinaria para prevenir infecciones y promover el crecimiento en animales de granja, siendo el humano el consumidor final de estas bacterias resistentes en dichos alimentos. De esta manera estas bacterias resistentes llegan a estar presentes en las personas, los animales y el medio ambiente (agua, suelo y aire) y pueden transmitirse de persona a persona o entre las personas y los animales, inclusive a través de la alimentación de origen animal (Finley et al., 2013).

Disposición final de antibióticos

Estudios recientes realizados en han demostrado que el tratamiento de los productos farmacéuticos en las plantas de tratamiento de aguas residuales es incompleto y terminan vertiéndose directamente a las aguas superficiales. Esto sin contar con el hecho de que la mayoría de estos productos farmacéuticos son solubles en agua y no son capaces de degradarse o transformarse (Andreozzi et al., 2003)(Chen et al., 2018).

Por otro lado, los antibióticos también pueden llegar al medio ambiente debido a una mala disposición final de ellos, una parte importante de estos residuos son los medicamentos caducos que provienen tanto de la industria como de los distribuidores de medicamentos, de hospitales y de casas habitación (Hernandez & Fernandez, 1995)

Población pecuaria

La población pecuaria es la población ganadera, incluyendo ganado bovino, porcino, ovino, caprino y aviar. Es la encargada de proveer alimentos y materias primas de origen animal, y dentro de nuestro país constituye una de las principales actividades económicas del sector primario. Sin embargo, la producción intensiva de animales domésticos genera grandes cantidades de estiércol que contamina los suelos y atenta contra la calidad de los cuerpos de agua superficiales, pues contiene nutrientes, materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados y hasta residuos de medicamentos que actúan como suplementos alimenticios (SIAP, 2020). Por lo tanto, la población pecuaria indica de manera indirecta la producción de estiércol y la concentración de contaminantes que se aportan por este medio.

Conclusión

En este trabajo se identificaron y se evaluaron indicadores pertenecientes a las categorías Fuerzas impulsoras y Presiones del marco DPSIR, metodología que, aunque ya es conocida permite la creación de enfoques metodológicos novedosos. Aunque solo se calcularon algunos resultados preliminares de los indicadores, esta información ya permite llevar a cabo una visualización de la relación causa-efecto y del contexto bajo el cual se desarrolla el problema de investigación, así como las partes involucradas y permite hacer una discusión de la información y entender las limitaciones de cada indicador.

Los indicadores establecidos aquí, para los diferentes niveles del marco DPSIR, probablemente podrían servir como marco referencial para su aplicación en regiones similares.

Para compensar la ausencia de datos entre las diversas categorías del marco DPSIR, es necesario realizar más investigaciones empíricas sobre las presiones que emanan de las actividades socioeconómicas y sobre el estado de las aguas residuales y superficiales de la subcuenca del Río Cotzala.

Referencias

- Andreozzi, R., Marotta, R., & Paxéus, N. (2003). Pharmaceuticals in STP effluents and their solar photodegradation in aquatic environment. *Chemosphere*, 50(10), 1319–1330. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00769-5](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00769-5)
- Bidone, E. D., & Lacerda, L. D. (2004). The use of DPSIR framework to evaluate sustainability in coastal areas. Case study: Guanabara Bay basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Regional Environmental Change*, 4(1), 5–16. <https://doi.org/10.1007/s10113-003-0059-2>
- Carbajo, J. (2013). Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO₂. Universidad Autónoma de Madrid.
- Chen, Y., Chen, H., Zhang, L., Jiang, Y., Gin, K. Y. H., & He, Y. (2018). Occurrence, distribution, and risk assessment of antibiotics in a subtropical river-reservoir system. *Water (Switzerland)*, 10(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/w10020104>
- CONAMED. (2018). Boletín Conamed. In CONAMED.
- Espejel Rodríguez, A., & Flores-Hernández, A. (2012). Educación ambiental escolar y comunitaria en el nivel medio superior, Puebla-Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(55), 1173–1199.
- Finley, R. L., Collignon, P., Larsson, D. G. J., Mcewen, S. A., Li, X. Z., Gaze, W. H., Reid-Smith, R., Timinouni, M., Graham, D. W., & Topp, E. (2013). The scourge of antibiotic resistance: The important role of the environment. *Clinical Infectious Diseases*, 57(5), 704–710. <https://doi.org/10.1093/cid/cit355>
- Frade, V. M. F., Dias, M., Teixeira, A. C. S. C., & Palma, M. S. A. (2014). Environmental contamination by fluoroquinolones. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 50(1), 41–54. <https://doi.org/10.1590/s1984-82502011000100004>
- Gari, S. R., Newton, A., & Icely, J. D. (2015). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean and Coastal Management*, 103, 63–77. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013>
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. 7(2), 52–73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gothwal, R., & Shashidhar, T. (2015). Antibiotic Pollution in the Environment: A Review. *Clean - Soil, Air, Water*, 43(4), 479–489. <https://doi.org/10.1002/clen.201300989>
- Hernandez, C. P., & Fernandez, G. (1995). Manual para el Tratamiento y Disposición final de Medicamentos. In Cenapred (Issue 1) http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/farm_med_cad.pdf

- MARTÍNEZ-ORGÁNIZ, Á., SAMPEDRO-ROSAS, U. G.-R. M. L., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, J., NAVA-FAUSTINO, G., & TORIBIO-JIMÉNEZ, J. (2020). Patotipos y resistencia a antibióticos de. *Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 957–966.
- Organización Panamericana de la Salud. (2012). Salud, ambiente y desarrollo sostenible: hacia el futuro que queremos. In *Seminarios de la OPS/OMS hacia Río+20*. [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/3472/Salud, ambiente y desarrollo sostenible hacia el futuro que queremos SDE.pdf](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/3472/Salud_ambiente_y_desarrollo_sostenible_hacia_el_futuro_que_queremos_SDE.pdf)
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordoñez, S. (2014). MICROCONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS: TIPOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 5(2),1–20.
- Pedrozo Acuña, A. (2020). La calidad del agua: un eje clave de política pública. *Perspectivas IMTA*, 1–3. <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2020-03>
- Rolland, L., & Vega Cárdenas, Y. (2008). La gestión de agua en México. *Polis* 2010, 6(2), 155–188.
- Secretaría de Salud. (2017). La automedicación no es opción (Issue 805).
- SIAP. (2020). No Title. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762>
- Timmerman, J. G., Beinat, E., Termeer, C. J. A. M., & Cofino, W. P. (2011). Developing transboundary river basin monitoring programmes using the DPSIR indicator framework. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(10), 2808–2818. <https://doi.org/10.1039/c1em10092k>
- UNESCO. (2015). Abordar la escasez y la calidad del agua. <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>
- UNESCO. (2016). Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y empleo.

EVALUACIÓN DE PENDIENTE COSTERA Y COMPOSICIÓN SEDIMENTARIA DE PLAYAS FOX-MORRO BOCA DEL RÍO, VERACRUZ EN TEMPORADAS LLUVIAS-ESTIAJE 2021

BEXIDIU ANAI PINEDA CASTILLO¹, VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ², ROCÍO DE GUADALUPE BERNAL RAMÍREZ³, ITZEL GALAVIZ VILLA⁴, ARTURO GARCÍA SALDAÑA⁵

Resumen

Las Playas Fox y El Morro, ofrecen recursos recreativos y económicos a la zona, sin embargo a alta susceptibilidad por eventos meteorológicos y antrópicos han ocasionado pérdidas importantes en su área; por ello resulta relevante implementar estrategias que conserven/restauren su condición óptima que les permitan cumplir con los servicios ambientales que brindan. El objetivo de la investigación consistió en la evaluación de la pendiente costera, mediante la técnica de levantamiento topográfico por nivelación diferencial y un análisis de la composición sedimentaria, Wentworth (1922) y los criterios propuestos por Folk y Ward con el programa GRADISTATv9.1 en

12 puntos distribuidos en el corredor Fox-Morro; para el análisis estadístico fue aplicado ANOVA al 95% (Minitab 18). Los valores de pendientes obtenidas se encuentran entre 4.49 a -3.26% sin diferencia significativa para los meses de muestreo. Los perfiles topográficos presentaron una constante en su morfología mensual, la variable más evidente fue en el área de la playa que dependió del pleamar y bajamar, así como de la rompiente del oleaje. El análisis sedimentario indicó que ambas playas fueron clasificadas como arenosas con un grupo textural de arena fina a muy fina y con pendientes mínimas.

Palabras clave: Pendiente costera, perfiles topográficos, composición sedimentaria, playa arenosa.

Abstract

The Fox and Morro Beaches offer recreational and economic resources to the area, however the high susceptibility to meteorological and anthropic events have caused significant losses in their area; therefore, it is relevant to implement strategies that

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. virginiaalcantara@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

preserve/restore their optimal condition that allow them to comply with the environmental services they provide. The objective of the research consisted of the evaluation of the coastal slope, using the technique of topographic survey by differential leveling and an analysis of the sedimentary composition, Wentworth (1922) and the criteria proposed by Folk and Ward with the GRADISTATv9.1 program in 12 points distributed in the Fox-Morro corridor; for statistical analysis, 95% ANOVA was applied (Minitab 18). The values of slopes obtained are between 4.49 to -3.26% without significant difference for the months of sampling. The topographic profiles presented a constant in their monthly morphology; the most obvious variable was for the beach area that depended on the high tide and low tide, as well as the breaking of the waves. Sedimentary analysis indicated that both beaches were classified as sandy with a textural group of fine to very fine sand well and with minimal slopes.

Keys words: coastal slope, topographic profiles, sedimentary composition, sandy beach.

Introducción

Las playas son un ecosistema muy dinámico por la interacción de diversos factores que se presentan en ellas, lo que permite que brinden servicios ambientales muy importantes (Martínez y Silva, 2013; Ortiz-Lozano et al., 2015; Silva et al., 2017). Estas interacciones también influyen en el ciclo de erosión-acreción de sedimentos y desarrollan conflictos como la erosión o pérdida de playas, aumento en la entrada de la línea de costa al continente y aumento en la vulnerabilidad de la zona ante eventos climáticos extremos e inundaciones (Pérez, M., & Linares, 2004; Ortiz et al., 2010; Aguilar Chacón et al., 2012; Ortiz-Lozano et al., 2015; ANIDE, 2013; Cataneo et al., 2019).

El evento meteorológico más reciente fue el Huracán Grace de categoría 3 que impactó las costas del estado de Veracruz en el mes de agosto 2021, en el municipio de Boca del Río se registraron rachas de viento de hasta 250 km/h y oleaje de 1m a 3m y hasta 6m como altura de ola máxima (Hmax), con un desplazamiento de la línea de costa de 10m (Ruiz Rivera, 2021). En lo particular, la zona representa un área de gran importancia para el estado ya que forma parte del corredor turístico en México ya que se desarrollan actividades económicas, turísticas y de pesca (Aguilar Chacón et al., 2012; Ortiz y Méndez, 2004; Ortiz-Lozano et al., 2015).

Para la propuesta de soluciones ante la pérdida de playas, es importante generar un diagnóstico que permita la correcta orientación y aplicación basada en las características específicas de la zona (Alfaro 2017; Cataneo 2017; Silva, 2019). La pendiente costera indica la inclinación de terreno y la susceptibilidad a los procesos de inundación marina y la composición sedimentaria, tiene relevancia en los procesos de transporte de sedimentos (Silva et al., 2014). Por lo que ambos

resultan variables muy importantes en el ciclo de erosión-acreción y se ven alteradas por las temporadas climáticas. Por lo anterior la presente investigación muestra los resultados del objetivo general que fue evaluar la pendiente costera y la composición sedimentaria de las playas Fox y el Morro de Boca del Río, Veracruz durante las temporadas lluvias y estiaje del año 2021.

Las teorías base para el desarrollo del proyecto son la teoría de los sistemas complejos de Ronaldo García (2006), la teoría del cambio de Taplin y Clarck (2012), ambas bajo el principio de la incertidumbre, las teorías centran y explican la relación y el flujo de energía que existe entre los sistemas ambientales, los factores que los componen y la influencia que tiene un cambio de los subsistemas en el sistema complejo, los cuales siempre pueden ser tener variaciones en su comportamiento y por ende en el efecto final.

Materiales y métodos

La investigación es de carácter observacional longitudinal, con estatus cuantitativo, está centrada en la medición de las variables pendiente costera y composición sedimentaria en dos temporadas climáticas del 2021, estiaje (marzo-mayo) y lluvias (junio-octubre).

Objetivo General

Evaluar la pendiente costera y composición sedimentaria de playas Fox-Morro Boca del Río, Veracruz en temporadas lluvias-estiaje 2021.

Objetivos particulares

Analizar la pendiente costera de playas Fox-Morro Boca del Río, Veracruz en temporadas lluvias-estiaje 2021.

Analizar la composición sedimentaria de playas Fox-Morro Boca del Río, Veracruz en temporadas lluvias-estiaje 2021.

Área de estudio

Playa Fox tiene una longitud aproximada de 1.15 km y está delimitada en la zona norte por una escollera de 85m de longitud que define la separación a playa “El Morro”, la playa termina en la desembocadura del río Jamapa limitado por un rompeolas de 250m de longitud y 3m de altura. Playa “El Morro”, tiene una longitud de 1.27 km, presenta nueve escolleras con una separación entre ellas que varía de 90m a 250m, dos de ellas definen los límites de la playa. El uso principal de ambas playas es para actividades deportivas y turísticas.

Pendiente costera

Se realizaron levantamientos topográficos en transectos perpendiculares a la línea de costa, con una separación promedio de 200m a lo largo de ambas playas (Figura

1), fueron consideradas las barreras naturales y artificiales que influyen en el transporte de sedimentos tal como lo sugiere Van Rijn, (2011).

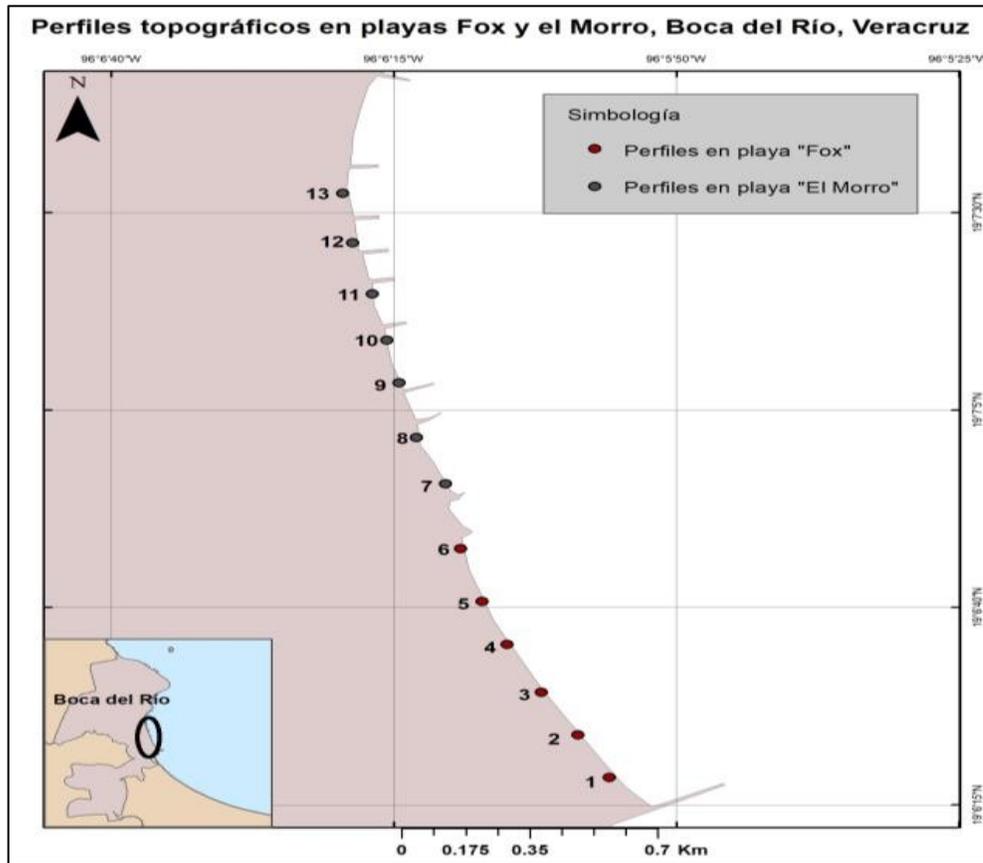


Figura 1. Ubicación geográfica de los perfiles topográficos en cada playa ubicados a una distancia de 200 m aproximadamente entre cada uno (Pineda Castillo, 2021).

La pendiente de playa se calcula a partir de la técnica *levantamiento topográfico por nivelación diferencial* en los transectos establecidos, se marcaron los puntos que presentaron variación topográfica visible, la marca de marea alta y marea baja, los puntos se establecieron con balizas y se midieron las distancias entre cada punto con una cinta de fibra de vidrio Trupper de 20m, para medir la elevación se utilizó un estadal APEX de 4m de altura y una adaptación de nivel topográfico manual con un nivel de hilo Trupper.

En playa Fox los datos de temporada de estiaje se registraron en los meses marzo-mayo y en abril-mayo para playa el Morro; los datos de la temporada de lluvias se obtuvieron en los meses de julio-agosto para ambas playas. A los resultados de todos los valores de las pendientes (en porcentaje), se les aplicó un análisis estadístico de varianza al 95% de confiabilidad, con el programa Minitab 18 para la identificación de diferencias significativas.

Composición sedimentaria

Durante los trabajos de campo en playa se realizaron muestreos de sedimentos superficiales en la zona límite de la bajamar con un nucleador artesanal de PVC de 1 kg de capacidad de muestra húmeda. Esto se realizó de manera simultánea con el levantamiento topográfico, lo que aseguró la correcta ubicación de las muestras. En el mes de marzo (temporada de estiaje) la muestra fue colectada en el primer transecto de cada playa; en el mes de julio (temporada de lluvias), las muestras se colectaron en los puntos 1, 3 y 6 de playa Fox y los puntos 7, 9 y 13 de playa el Morro.

Las muestras fueron colocadas en una bolsa de plástico, etiquetadas y sometidas a análisis granulométrico mediante el método de tamizado, la serie de tamices utilizados fueron (2, 1.19, 0.9, 0.5, 0.25, 0.063 mm), se colocaron en una Tamizadora horizontal Ro-Tap® RX-812. Los parámetros texturales obtenidos son: tamaño de grano, clasificación, asimetría y kurtosis además fue aplicada la escala de tamaños de Wentworth (1922) (figura 2) y los criterios propuestos por Folk y Ward (1974), mediante la extensión de Excel GRADISTATv9.1.

ESCALA DE TAMAÑO					
	Phi	(m.m)	Micras μ		
PEÑASCO					
GUIJARRO					
-8					
-7					
-6					
-5					
-4					
MATATENA					
-3					
-2					
-1					
GRÁNULO					
ARENA	MUY GRUESA	0	1	1000	GRAVA
	GRUESA	1	1/2	500	
	MEDIA	2	1/4	250	
	FINA	3	1/8	125.0	
	MUY FINA	4	1/16	62.5	
LIMO	GRUESO	5	1/32	31.3	ARENA
	MEDIO	6	1/64	15.6	
	FINO	7	1/128	7.8	
	MUY FINO	8	1/256	3.9	
	GRUESA	9	1/512	1.95	
ARCILLA	MEDIA	10	1/1024	0.98	LIMO
	FINA	11	1/2048	0.49	
	MUY FINA	12	1/4096	0.24	
					ARCILLA

Figura 2. Escala de Udden- Wentworth (1922)

Resultados

Pendiente costera

Las restricciones de salubridad de los meses de marzo y abril permitieron realizar los levantamientos topográficos de cada playa en el mes respectivo. En el punto 8, se registró modificación antrópica debido al agregado de material rocoso; lo que impidió el acceso los días de muestreo. En el mes de mayo fue restringido el acceso al perfil 1 por actividades de mantenimiento por parte del municipio.

Los valores de pendiente se registraron entre los valores de 4.49 a -3.26%, los datos presentaron una uniformidad entre los registros mensuales (Cuadro 1). El ANOVA con 95 % de confiabilidad indicó que no existe diferencia significativa en el valor de la pendiente entre los meses de registro. En la comparación entre perfiles el estadístico indicó que al menos uno de los perfiles registró una pendiente con diferencia estadística (Cuadro 2).

Cuadro 1. Promedio y desviación estándar (SD) de la pendiente costera de los datos obtenidos mensualmente para cada perfil topográfico

MESES	PENDIENTE COSTERA (%) PERFIL TOPOGRÁFICO												
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	
MEDIA	1.04	-1.45	1.97	2.03	1.84	1.46	3.82	2.72	1.28	1.98	2.44	1.70	
SD	0.30	1.80	0.82	0.80	1.00	0.94	0.76	0.68	2.92	0.89	0.59	0.86	

Cuadro 2. Análisis de Varianza (Minitab18)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
MES	4	10.898800	2.7247000	1.040064	0.277
PERFIL	11	69.233	6.294	4.27	0.001
Error	33	48.658	1.474		
Total	47	123.831			

Se realizó una comparación de medias mediante análisis del método LSD de Fisher y una confianza de 95%, esto indicó que el perfil 7 y el 2, mostraron diferencias significativas en sus valores de pendiente costera al resto de los perfiles.

En cuanto a la morfología de los perfiles topográficos, las gráficas mostraron variaciones morfológicas de forma mensual, lo que indicó un desplazamiento de la zona de rompiente, pleamar y bajamar en cada punto. En playa El Morro se registraron perfiles con distancias totales menores a 55m en cualquier mes. En agosto se presentó un retroceso de la línea de costa alargando la distancia de esta al límite de la playa con la zona urbana, sin embargo, es en el mes de Julio que se registró la longitud más larga en el perfil 1 de playa Fox con 83.8 m (figura 3).

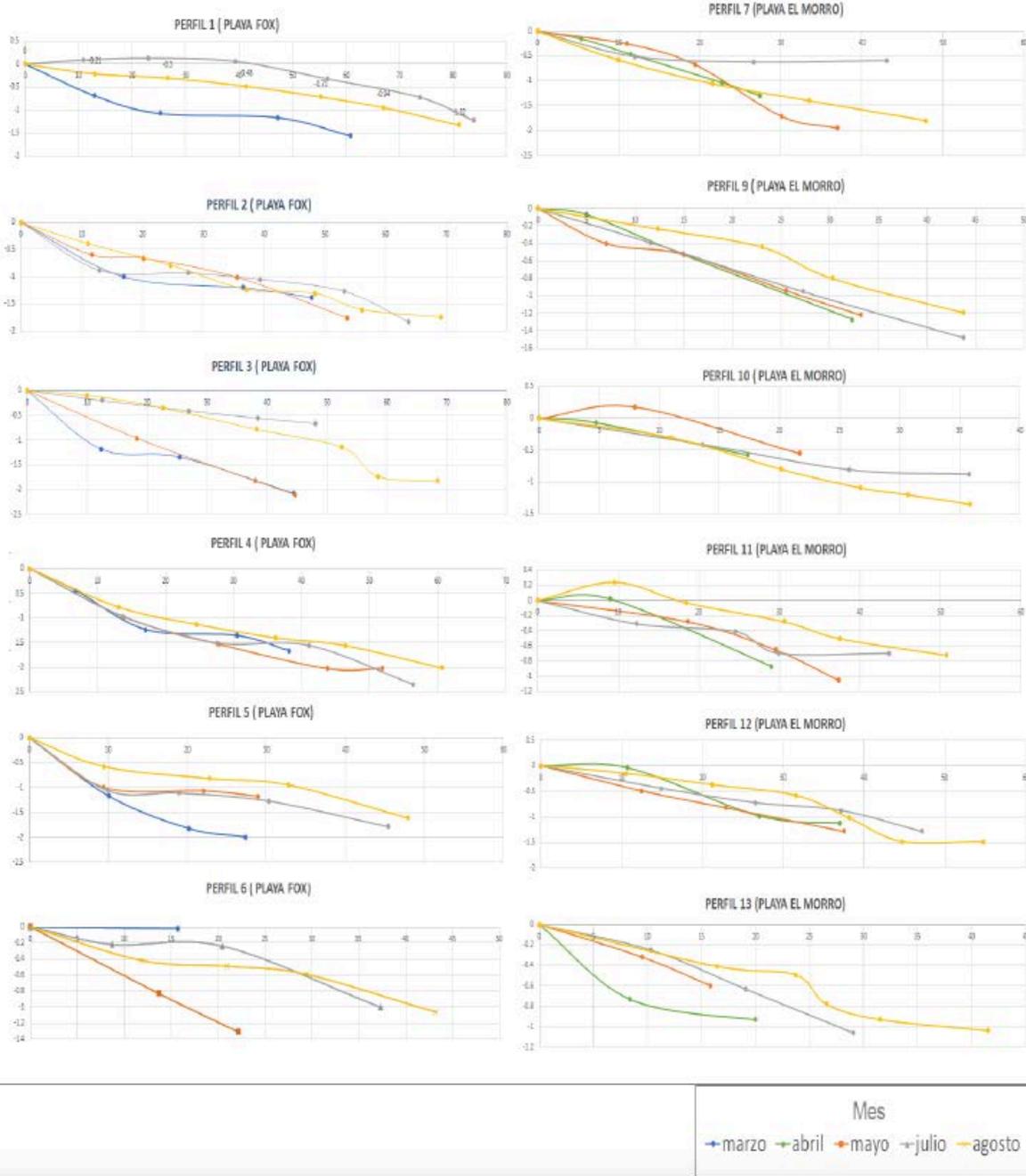


Figura 3. Morfología mensual de los perfiles topográficos. La cota esta referencia con el cero topográfico (0 m al nivel del mar) (representación gráfica sin escala real)

Análisis Sedimentario

Los puntos 1 y 7 conservaron su composición de la granulometría entre el mes de marzo y julio. Las muestras obtenidas en el mes de julio permiten identificar que el grupo textural se conserva en ambas playas y presentaron variaciones de asimetría y kurtosis en lo largo de su longitud, La composición de arena firme y uniforme se comparte en todos los puntos de análisis (cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros texturales de las muestras analizadas mediante el método de Folk y Ward mediante el programa GradistatV.

	Punto 1, Fox	Punto 7, Morro	Punto 1, Fox	Punto 3, Fox	Punto 6, Fox	Punto 7, Morro	Punto 9, Morro	Punto 13, Morro
Mes	marzo	marzo	julio	julio	julio	julio	julio	julio
Grupo textural	Arena ligeramente grava	Arena ligeramente grava	Arena	Arena	Arena	Arena	Arena ligeramente grava	Arena
Nombre del sedimento	Arena ligeramente muy fina grava muy fina	Arena ligeramente muy fina grava muy fina	Arena muy fina bien clasificada	Arena muy fina muy bien clasificada	Arena muy fina muy bien clasificada	Arena muy fina bien clasificada	Arena ligeramente muy fina grava muy fina	Arena muy fina muy bien clasificada
Media	3.708	3.715	3.697	3.726	3.718	3.717	3.689	3.724
Clasificación	0.424	0.411	0.445	0.161	0.166	0.395	0.466	0.163
Asimetría	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.4	0.387	0.0
Kurtosis	Muy leptocúrtico	Muy leptocúrtico	Muy leptocúrtico	Platicúrtico	Platicúrtico	Muy leptocúrtico	Muy leptocúrtico	Platicúrtico

Criterios de clasificación de sedimentos del método Folk y Ward 1974: Promedio (Grava: > de -1.0ϕ ; Arena: -1.0ϕ a 4.0ϕ ; Limo: 4.0ϕ a 8.0ϕ ; Arcilla: < de 8.0ϕ); Clasificación (Muy bien clasificado: < 0.35ϕ ; Bien clasificado: 0.35ϕ a 0.50ϕ ; Moderadamente bien clasificado: 0.51ϕ a 0.71ϕ ; Moderadamente clasificado: 0.72ϕ a 1.0ϕ ; Mal clasificado: 1.1ϕ a 2.0ϕ ; Muy mal clasificado: 2.1ϕ a 4.0ϕ ; Extremadamente mal clasificado: > 4.0ϕ); Asimetría (Muy asimétrico hacia finos: $+1.0$ a $+0.30$; Asimétrico hacia finos: $+0.31$ a $+0.10$; Casi simétrico: $+0.11$ a -0.10 ; Asimétrico hacia gruesos: -0.11 a -0.30 ; Muy asimétricos hacia gruesos: -0.31 a -1.0); Curtosis (Muy platocúrtico: < de 0.67 ; Platocúrtico: 0.68 a 0.90 ; Mesocúrtico: 0.91 a 1.11 ; Leptocúrtico: 1.12 a 1.50 ; Muy leptocúrtico: 1.51 a 3.0 ; Extremadamente leptocúrtico: > de 3.0).

Los resultados demostraron una constante en las características de los sedimentos a lo largo de ambas playas, esto se obvia con los datos de las medias y de clasificación de cada muestra. La media del tamaño gráfico indicó que todas las muestras están compuestas en su mayoría por arenas finas o muy finas y que el ambiente sedimentario presentó valores de energía cinética bajos-normales. Todas las muestras tienen una alta y muy alta uniformidad en su clasificación del tamaño de grano.

Los puntos 3, 6 y 13 del muestreo de julio tienen una distribución simétrica en el tamaño de las partículas, el resto de los puntos tienen una alta asimetría dirigida a sedimentos finos. Los valores de la asimetría registrados indicaron que las variaciones de la energía cinética media se inclinan hacia valores bajos.

Las muestras del perfil 1, 7 de ambos meses y el punto 9 están compuestas por sedimentos con tamaños de grano muy similares entre sí, esto es consecuencia de una situación prolongada de energía cinética media, que permite la deposición de esas partículas, con una buena clasificación.

Las muestras del punto 3, 6 y 13 se clasificaron como platicúrticas ya que se distingue una diferencia de tamaños entre los granos que las conforman lo que indicó que energéticamente se comportan contrario a los otros puntos.

Las muestras analizadas registran en su composición más del 90% de arenas principalmente finas, los limos y arcillas en conjunto representan menos del 0.3% en las muestras, indicando que todas tienen textura arenosa (figura 4).

Es importante mencionar que no se presentaron diferencias significativas entre las muestras del mes de marzo (estiaje) y el mes de julio (lluvias).

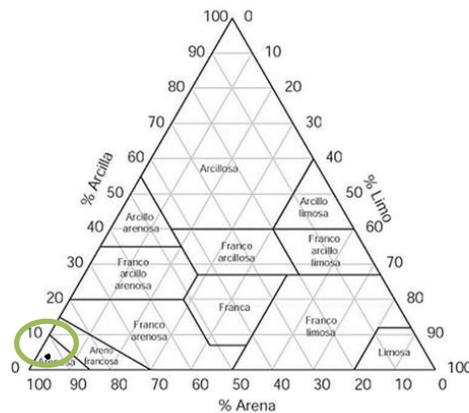


Figura 4. Clasificación de las muestras es textura arenosa según el Diagrama de textura de Shepard

Discusión

Los valores de pendiente y ancho de playa coinciden con los reportados por ANIDE (2013) que registra una pendiente de suave del 1 % en playa Fox con una amplitud máxima de 70 metros, Valadez (2013) registra una diferencia en el ancho de las playas de hasta el 50% y menciona que las playas registran pendientes sensibles al flujo de energía de otros sistemas. Ambos autores, así como Hidalgo et al., 2016 y Valadez y colaboradores (2018) concuerdan en que las modificaciones realizadas en torno a los ecosistemas costeros del puerto de Veracruz han interferido en el ciclo erosión/ acreción de la zona y como problema principal y más evidente se ha observado la pérdida de playas, ejemplo de esto es la disminución en el ancho de playa El Morro y playa Mocambo. Las playas presentan una gran resiliencia ya que absorben la energía de otros sistemas como el eólico y de oleaje que son impactos de interacción directa, sin embargo se ven modificados por la presencia de estructuras antrópicas como espigones y escolleras lo que ha cambiado la fuerza de oleaje y su dirección con efectos de refracción y difracción, lo que ha generado zonas de erosión y acreción ya que limita el transporte de sedimentos y provoca la diferencia de amplitud en ellas.

En 2016, Hidalgo y colaboradores mencionan que la clasificación de los sedimentos en una playa varía por las interacciones de los procesos morfológicos que se

hacen presentes en las playas por tener una influencia en el flujo de energía cinética sedimentaria y también se ven afectados por los usos de estas áreas, que interfiere en el transporte y erosión o compactación del sedimento, su investigación indica resultados para playa Mocambo (la cual colinda con playa “El Morro”) con grupo de sedimentos constituido texturalmente de arenas finas con una clasificación moderadamente ordenada y valor de la media menor a 3, mientras que ANIDE (2013) menciona que playa Fox y Mocambo presentan composición de arenas finas de composición mineralógica felsarenita. Los resultados del presente estudio permiten confirmar los resultados de las investigaciones antes mencionadas.

Existen pocos registros sobre las características morfológicas y sedimentarias de las playas Morro y Fox ya que los estudios del área están centrados en las playas que forman Parte del Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) o con menor cercanía a la urbanización, ejemplo municipio Antón Lizardo. El área del interés en esta investigación es pionera y de alta relevancia, por el papel que juega en el desarrollo económico y turístico, por los servicios ambientales principalmente de protección que brinda a las comunidades aledañas y por su cercanía a ecosistemas vulnerables o protegidos como los que se encuentran en PNSAV; sobre este último punto, Silva et al., 2018 mencionan que es importante conocer los parámetros de las zonas cercanas cuando se evalúa un sistema ya que existe un flujo de energía y materia entre los sistemas ambientales.

Conclusión

Las playas presentaron pendientes con valores constantes entre ambas temporadas.

En temporadas de lluvias la variación identificable fue en los puntos de pleamar y bajamar que marcaron el ancho de la meso-playa.

Ambas playas se clasificaron como playas arenosas con partículas muy finas, validados por los parámetros texturales.

No hay diferencias entre temporadas climáticas (estiaje y lluvias) en la caracterización sedimentaria de ambas playas.

Referencias

- ANIDE. (2013). Propuesta de programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático del sector turismo en Boca del Río, Veracruz. FONDO SECTORIAL SECTUR CONACYT.
- Aguilar Chacón A., Bahena Toribio R., Castro Pacheco M., Dávila Camacho C. Contreras Espinoza L., Nava Lima L., Severino Murolas M. & L. Ortiz-Lozano (2012). Propuesta de plan de manejo del Arrecife Ingeniero, Boca del Río, Veracruz. Informe Técnico, Manejo Integrado de Zonas Costeras, Maestría en Ecología y Pesquerías, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, México. 75p.
- Alfaro Chavarria H. (2017). Estudio de la dinámica del oleaje en el litoral pacífico de Costa Rica: metodologías de regionalización y avances en servicios relativos al clima marítimo (Tesis de maestría, Universidad de Cantabria). Repositorio institucional Universidad de Cantabria.
- Cataneo Nieto A. (2017). Diagnóstico ecológico de tres playas del corredor Turístico Veracruz- Antón Lizardo (Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Boca del Río). Repositorio Instituto Tecnológico de Boca del Río.
- Cataneo N., A, Arvizu C., K, Granados B. A., Castañeda C., M. & Bernal R., R. (2019).
- Cambios en el litoral de la zona metropolitana de Veracruz. En Lango-Reynoso. F, Botello A., Castañeda-Chávez, M. Temas selectos de vulnerabilidad costera en el estado de Veracruz. Universidad Autónoma de Campeche. 57-69.
- Hidalgo, G., Castañeda-Chávez, MR, Granados-Barba, A. y Brenda Elizabeth, BE (2016).
- Variabilidad ambiental de playas de arena tropical a lo largo de un gradiente antrópico: el caso del centro de Veracruz (suroeste del Golfo de México). Revista Internacional de Investigación Ambiental , 10 (4), 481-490.
- Martínez, M. & Silva, R. (2013). ¿Cómo proteger las costas? Instituto de Ecología. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/573-como-proteger-las-costas>.
- Pérez, M., & Linares, A. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y sus implicaciones en las costas bajas del Golfo de México y Mar Caribe. El Manejo Costero en México, Centro EPOMEX Universidad A. De Campeche, Campeche, México, 307-320.
- Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. d. L. (2010). Zona costera
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Espejel, I., Salas-Pérez, J., & González-Gándara, C. (2015). La zona costera de Veracruz a Antón Lizardo: un análisis sobre la vulnerabilidad de sus servicios ambientales. E-Bios, 2(8), 151-178.

- Ruiz Rivera I. (2021). Boca del Río mantiene en alerta ante efectos de Grace a su paso por las tierras veracruzanas. Diario de Xalapa. Recuperado de: <https://www.diariodexalapa.com.mx/local/boca-del-rio-se-mantiene-en-alerta-ante-efectos-de-huracan-grace-a-su-paso-por-tierras-veracruzanas-afirmo-el-presidente-municipal-humberto-alonso-morelli-7110371.html>
- Silva R. (2019). Curso Criterios para la implementación de infraestructura verde en zonas costeras. Instituto de Ingeniería. UNAM.
- Silva, R., Lithgow, D., Esteves, L. S., Martínez, M. L., Moreno-Casasola, P., Martell, R. & Winckler Grez, P. (2017). Coastal risk mitigation by green infrastructure in Latin America. Paper presented at the Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Maritime Engineering.
- Silva, R., Villatoro, M., Ramos, F., Pedroza, D., Ortiz, M., Mendoza, E., & Cid, A. (2014). Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 118.
- Valadez Rocha, V. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad de las playas ante los efectos no deseados por la construcción de obras de protección costera en la Zona Metropolitana de Veracruz. . Tesis de Grado Instituto de Ciencias Marinas y Pesquería, Universidad Veracruzana, Boca del Río, México: 187.
- Valadez Rocha V., Salas Monreal D., Ortiz-Lozano L. (2018). Long Term Effects of Human Induced Shoreline Changes: Veracruz Metropolitan Zone an Example of Port and Tourism Development in the Tropics. *International Journal of Oceanography & Aquaculture*, 2(4), 1-10.

SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTUDIO DE MICROPLÁSTICOS EN MÉXICO

CLARA IVONNE RUIZ REYES¹, BELEM ANAHY ESTRELLA JORDAN², FABIOLA LANGO REYNOSO³,
OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ⁴.

Resumen

La contaminación por microplásticos (MPs) es un tema que ha cobrado relevancia los últimos años, su presencia en las diferentes esferas ambientales y su resistencia a la degradación los hacen objeto de investigación a nivel mundial, el objetivo de este trabajo fue revisar el estado actual de las investigaciones en México; se identificaron 29 estudios sobre el tema, dentro de los cuales la mayoría de las investigaciones se centran en identificar y caracterizar MPs en playas, seguido de estudios en especies, siendo los peces los que representan un mayor interés; también se identificó que los estudios se han incrementado considerablemente respecto al 2016, por lo que se espera que se abran nuevas líneas de investigación, orientándose hacia la interacción de MPs con otros contaminantes como los compuestos orgánicos persistentes, hidrocarburos totales del petróleo, microorganismos patógenos, así como estudios sobre degradación de MPs.

Palabras clave: Investigaciones, Contaminación marina, Fragmentos, Plásticos.

Abstract

Contamination by microplastics (MPs) is a topic that has become relevant in recent years, its presence in different environmental spheres and its resistance to degradation make it the subject of research worldwide, the objective of this work was to review the current state of the investigations in Mexico; 29 studies on the subject were identified, within which most of the research focuses on identifying and characterizing MPs on beaches, followed by studies on species, with fish representing the greatest interest; It was also identified that the studies have increased considerably compared to 2016, so it is expected that new lines of research will be opened, focusing on the interaction of PMs with other pollutants such as persistent organic compounds, total petroleum hydrocarbons, pathogenic microorganisms, as well as studies on PM degradation.

Keywords: Research, Marine pollution, Fragments, Plastics.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. m21990005@bdelrio.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Universidad Veracruzana. Av Universidad Veracruzana, C.P. 96538, Coatzacoalcos, Ver.

Introducción

En la actualidad el consumo de materiales plásticos se ha convertido en una parte indispensable de la vida humana (Ahmad et al., 2020); a nivel mundial se producen alrededor de 400 millones de toneladas de plásticos (Boll, 2019), los cuales son utilizados para elaborar diferentes productos, tales como utensilios, bolsas, ropa, botes, botellas, juguetes, muebles entre otros. El uso de estos materiales nos ha facilitado la vida en algunos aspectos, sin embargo, ingresan al ambiente como desechos, por lo que debido a su baja capacidad de degradación y su disposición final tienen como consecuencia una acumulación de estos en el medio ambiente, lo cual ha ocasionado distintos impactos ambientales que afectan negativamente los ecosistemas terrestres y marinos (Bollaín y Agulló, 2019).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) al menos 8 millones de toneladas de plástico acaban en los océanos anualmente; el plástico afecta a diversas especies marinas como las tortugas, peces, tiburones de las cuales se producen miles de muertes al año por asfixia, enredo o ingestión (Herrera et al., 2020).

Los plásticos poseen gran estabilidad física por lo que tardan décadas en descomponerse, pero con el tiempo se pueden ver sometidos a erosión física y química degradándose en fragmentos más pequeños: los microplásticos y los nanoplasticos (Bollaín y Agulló, 2019). Este trabajo abordará la problemática de los microplásticos, los cuales son partículas que miden <5 mm (UNEP, 2014); estos se clasifican en primarios y secundarios según su origen, los primeros son aquellos que de manera intencional fueron creados con ese tamaño, los cuales son comúnmente utilizados en la industria cosmética para su uso en exfoliantes, jabones, pasta de dientes entre otros, mientras que los secundarios son aquellos microplásticos que se derivan a partir de plásticos de mayor tamaño que han estado expuestos a condiciones ambientales como el oleaje, viento, la luz solar entre otros, estos factores los van fragmentando en partículas más pequeñas.

La contaminación por MPs puede ingresar a los sistemas acuáticos a través de escorrentía de las aguas pluviales, el desplazamiento del viento, las precipitaciones atmosféricas y las descargas de aguas residuales tratadas (Mason *et al.*, 2016; Cabrera, 2018), así como a las actividades antropogénicas circundantes, una vez que se encuentran en los ecosistemas marinos, los microplásticos son consumidos por un amplio rango de organismos afectando su metabolismo y desarrollo volviéndose presas más vulnerables a depredadores (Sarrilla & Gallo, 2016). Otro de los problemas de la contaminación por microplásticos se debe a su composición química ya que actúan como vectores de otros contaminantes bioacumulables y tóxicos como metales pesados y plaguicidas (Sánchez, 2018).

Materiales y métodos

El conocimiento de los posibles efectos de los microplásticos y su comportamiento en los diferentes ecosistemas se ha incrementado considerablemente a nivel mundial (Cole et al., 2011; Álvarez et al., 2020). El objetivo de este trabajo es identificar la situación actual de México en el estudio de microplásticos, la estrategia metodológica (López et al., 2017) será por medio de la búsqueda de trabajos de investigación, considerando artículos y tesis en fuentes primarias y secundarias, haciendo uso de buscadores como Scielo (<https://scielo.org/es>), SCOPUS (www.scopus.com), Science Direct (www.sciencedirect.com) y Google Académico (<https://www.google.com/scholar>).

La estrategia de búsqueda (Cutroneo et al., 2020) se enfocó en la selección de las siguientes palabras clave: “microplásticos”, “microplásticos México” y “microplásticos playas” y “microplastic” “plastic debris”. Los criterios para seleccionar los artículos fueron la ubicación del sitio de estudio dentro de la República Mexicana, la temática, calidad y si la información es compatible con la finalidad de este trabajo.

Resultados y discusión

Se identificaron 29 trabajos sobre MPS, de los cuales once abordan la problemática en playas, seis estudian su impacto en especies, tres la interacción de los microplásticos con otros contaminantes, cuatro en otros ecosistemas, dos artículos de revisión y otros dos se colocaron en la categoría de otros entre los cuales se encontraba un manual de técnicas y la metodología para caracterizar y cuantificar microplásticos (Figura 1). Las publicaciones aumentaron considerablemente de 2016 siendo este año en que se identificaron los primeros estudios a la fecha del presente trabajo como se observa en la Figura 2 y el 2021 es el año con más estudios reportados (10) lo que refleja un incremento en el interés de la problemática.

En México, los estados que tienen una mayor cantidad de estudios sobre MPs son Baja California (6), Campeche (6), Veracruz (6) y Oaxaca (5) en contraste con estados como: Aguascalientes, Chiapas, Durango, Querétaro, Tlaxcala, Zacatecas entre otros que no cuentan con ningún estudio reportado hasta la fecha de elaboración de este trabajo, los estados costeros han mostrado mas interés por la problemática.



Figura 1 Clasificación de estudios sobre MPs en México por temática



Figura 2 Número de artículos sobre MPs en México por año

Estudio de microplásticos en playas

Actualmente, uno de los problemas más graves que enfrentan las playas mexicanas es la contaminación por residuos sólidos de los cuales, los residuos plásticos se encuentran en mayor proporción (Vázquez et al. 2020), derivados de su uso excesivo, siendo los microplásticos de especial preocupación. Álvarez-Zeferino y Cruz-Salas, reportaron microplásticos en alrededor de 40 playas mexicanas tanto en el Océano Pacífico como en el Océano Atlántico encontrando mayor concentración de microplásticos en las playas del océano pacífico.

Ríos et al. (2021); Álvarez et al. (2018); Cruz et al., (2020) y Piñón et al., (2018) coinciden en que el mayor porcentaje de microplásticos en playas mexicanas pertenece a microplásticos secundarios obtenidos de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño.

Los estudios realizados en playas mexicanas concluyen que la mayor forma encontrada fueron los fragmentos rígidos, encontrándose mayoritariamente en colores claros (blanco, transparente), seguidos por el azul y el verde. Los tipos de

microplásticos varían de una playa a otra, pero se encontró que el tipo más común es el PET (Tereftalato de polietileno) en fragmentos de 1 a 5 mm.

Metodologías para muestreo y procesamientos de microplásticos

Debido a que aún no se cuenta con una técnica estandarizada para microplásticos, algunos autores han establecido diferentes metodologías para el muestreo y procesamiento de muestras en arena las cuales se pueden observar en el cuadro 1 donde además se resumen las técnicas de identificación más utilizadas.

Cuadro 1 Metodologías y técnicas de identificación utilizadas

Metodología de muestro de MPs en playas	Técnicas de identificación	Autor
--Transecto de 100 metros línea de pleamar. - Puntos de muestreo al azar. -Muestras tomadas con cilindros de PVC. - Secado y tamizado con mallas de 1.18 a 4.75mm. --Flotación con yoduro de sodio 1.6 g/ml	-Identificación visual (tamaño, color y forma) mediante microscopía. -Identificación con espectroscopia infrarroja (FT-IR).	-Beltrán-Villavicencio <i>et al.</i> 2019.
-Transecto de 100 metros línea de pleamar. - Puntos de muestreo al azar. -Muestras tomadas con cilindros de PVC. - Secado y tamizado con mallas de 1.18 a 4.75mm. -Flotación con CaCl ₂ con p≈1.6 g/ml	-Identificación visual (tamaño, color y forma) mediante microscopía. -Identificación con espectroscopia infrarroja (FT-IR).	-Álvarez-Zeferino <i>et al.</i> 2019. -Cruz-Salas <i>et al.</i> 2020. -Cruz-Salas, 2020. -Álvarez-Zeferino <i>et al.</i> 2020.
-Transecto de 100 metros línea de pleamar. - Puntos de muestreo al azar. - Cilindro de aluminio -Secado y tamizado con mallas de 1.1 mm a 5.1mm. -Flotación con solución de NaCl a 1.2 g mL ⁻¹ , agitar por 5 minutos y reposar por	-Identificación visual (tamaño, color y forma) mediante microscopía. -Identificación con espectroscopia infrarroja (FT-IR).	-Rios-Mendoza <i>et al.</i> 2021
Transecto de 300 metros línea de pleamar - Puntos de muestreo al azar. - Cilindro de aluminio -Secado y tamizado con malla de 1 mm. -Flotación con solución de NaCl a 1.2 g mL ⁻¹ , agitar por 5 minutos y reposar por 1 h.	Identificación visual (tamaño, color y forma) mediante microscopía. -Identificación con espectroscopia infrarroja (FT-IR).	Piñon <i>et al.</i> 2018.

Estudio de microplásticos en especies marinas

Los ecosistemas marinos se encuentran vulnerables a la contaminación por microplásticos, estos contaminantes se pueden encontrar en distintos entornos: la superficie de los océanos, la columna de agua, el fondo marino y las costas (FAO, 2017) por lo que se encuentran biodisponibles para ser consumidos por especies marinas, se ha reportado que los microplásticos pueden influir en el comportamiento y en la cadena alimenticia de los ecosistemas marinos. Diversos estudios han reportado la presencia de microplásticos en especies marinas (Cole et al., 2011).

Diversos estudios en México han reportado la presencia de microplásticos en peces y ostras (Lozano et al, 2021), en la figura 4 se pueden observar las especies con mayor contenido de MPs reportadas en los estudios identificados, de acuerdo a los resultados obtenidos por los diferentes autores se observó una mayor cantidad de MPs en la tilapia mexicana (*Ochrimomis niloticus*) con un total de 24 MPs/ individuo siendo las fibras los principales plásticos encontrados (Martínez et al., 2022). Por otro lado, Sánchez et al. (2020) revelaron que la especie con un mayor contenido de MPs fue *Centropomus pectinatus* con 8 MPs /individuo; Salazar et al., 2021 reportaron que *Mugil curema* fue la especie con mayor contenido de MPs con 6 contrastando con los 0.66 MP/Individuo que reporta Sánchez et al., 2020 para la misma especie, sin embargo, estas variaciones se pueden deber a la temporada o condiciones del sitio de muestreo.

Por otro lado, Borges et al., 2021 reportaron que la especie estudiada con mayor cantidad de MPs fue *Haemulon plumierii* (*Haemulidae*) mientras que la especie que reporta Jonathan fue *Paralabrax maculatofasciatus* con 1.5 MPs /individuo, e indicaron que la variabilidad del contenido de microplásticos en peces depende de los hábitos alimenticios de las especies, las condiciones de muestreo, la temporalidad y la contaminación por fuentes difusas como plantas de tratamiento, descargas de aguas residuales entre otros factores.

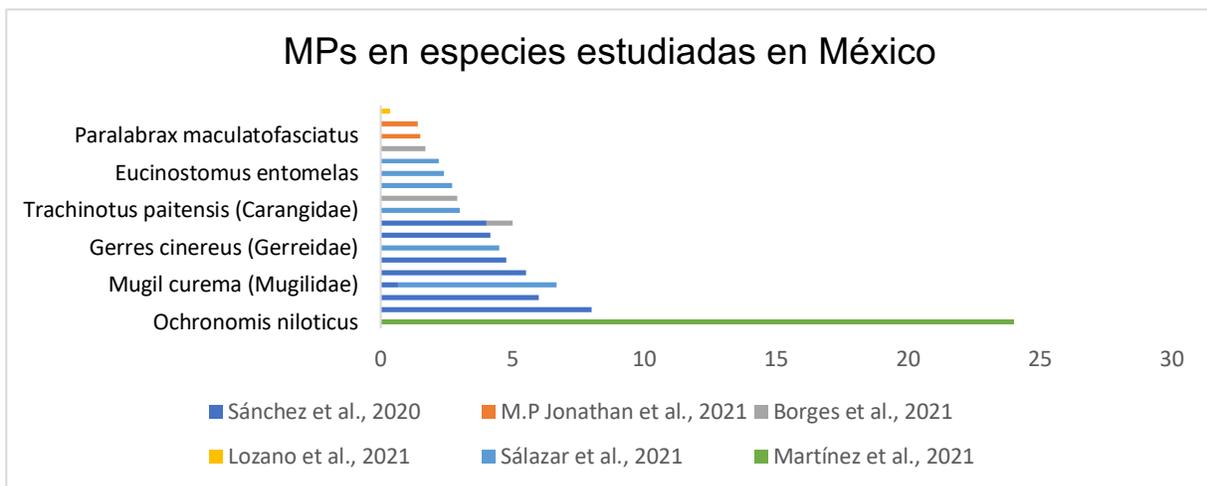


Figura 3 MPs en especies estudiadas en México

Interacción Microplásticos-Contaminantes

Otra problemática asociada a los MPs es la interacción que tienen con diversos contaminantes; estos pueden ser los mismos aditivos que se agregan en la fabricación de los plásticos (retardantes de flama, ftalatos, entre otros) o contaminantes que se encuentran presentes en el medio como los compuestos orgánicos persistentes (Cutroneo et al., 2020; Andrade, 2017) y metales pesados (Brennecke et al., 2016) que pueden ser cancerígenos, provocar alergias y daños en el sistema inmunológico, y alterar el sistema endocrino que controla la producción hormonal (Herrera et al., 2017).

Diversos estudios han reportado que los MPs interactúan y sorben fácilmente sustancias tóxicas en su superficie (Zou et al., 2020) e incluso que los MPS pueden actuar como sustrato de microorganismos patógenos (Castañeda et al., 2020) y varios autores los consideran como vector de transporte de contaminantes y patógenos (Campanele et al., 2020)

En el contexto nacional son pocos los estudios que se han enfocado en esta problemática, dentro de esta investigación se identificaron los realizados por Borges y col. (2020), quienes realizaron una correlación entre el contenido de MPs y ftalatos en sedimentos con la finalidad de identificar una posible asociación, los resultados que presentan fue una correlación positiva entre los MPs y los ftalatos ($r=0.4$ y $P 0.005$), concluyendo que los niveles de ftalatos encontrados representan un riesgo potencial para los organismos costeros.

Borges y colaboradores (2021) realizaron un estudio en los pellets evacuados por el buitre negro (*Coragyps atratus*), donde identificaron un total de 225 MPs (2019) y 164 MPs (2020), también encontraron un total de 35 compuestos químicos, los de mayor presencia fueron polietileno y poliamida (89-99%), con respecto al estudio de metales en todas las muestras de MPs encontraron Aluminio de $35.59 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (2019) y $15.82 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (2020); sobre los pesticidas organoclorados se identificaron en mayor porcentaje los dieldrinos $1.03 \pm 1.14 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (2019) y endosulfan $0.97 \pm 1.50 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ (2020), estudiaron también hidrocarburos aromáticos policíclicos encontrado al benzo-(a)-pireno en ambos años de estudio. Como puede observarse, es importante conocer y entender la problemática de la absorción de contaminantes en los MPs y su movilidad en el ambiente.

Otros estudios sobre Microplásticos

El interés por la problemática de microplásticos ha sido principalmente en ambientes costeros, sin embargo, se identificaron trabajos que han reportado su presencia en otros ecosistemas; Álvarez et al. (2020) realizaron la comparación de la concentración y distribución de MPs en diferentes ecosistemas: selva, sabana, plantaciones de pino y pastizales utilizados para el pastoreo de ganado en San Juan Cotzocon, localidad ubicada al Golfo de México, encontrado partículas de MPs

en todos los sitios estudiados, atribuyendo su origen a los tiraderos a cielo abierto ubicados a 1.5 km de distancia.

Por otro lado, Shruti et al., (2020) realizaron un estudio sobre microplásticos, sobre bebederos de agua potable dentro de 42 estaciones del metro de la CDMX, las variables de estudio fueron: forma, tamaño, abundancia, distribución y composición, observando una abundancia significativa de microplásticos, ya que estuvieron presentes en todas las muestras evaluadas, encontrando un promedio de 18 ± 7 microplásticos.

Conclusiones

El estudio de los MPs en México es un área de oportunidad, generalmente se enfoca en la presencia y caracterización del material particulado, sin embargo, hace falta conocer los impactos que pueden tener en los diferentes ecosistemas, su relación con otros contaminantes, su presencia en las especies de mayor consumo humano así como en estudios de degradación.

Por el momento es necesario estandarizar las técnicas de monitoreo con la finalidad de tener datos comparables con las investigaciones que han surgido alrededor del mundo. La mayoría de los estudios manifiestan una gran preocupación por el impacto que están causando los MPS en los ecosistemas acuáticos, por lo que deberán surgir nuevas normativas enfocadas en mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos, monitoreo y reducción de su uso.

Referencias

- Álvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C., & Morillas, A. V. (2020). Dataset of quantification and classification of microplastics in Mexican sandy beaches. *Data in brief*, 33, 106473.
- Álvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020). Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), 151-164.
- Álvarez-Lopezello, J., Robles, C., & del Castillo, R. F. (2021). Microplastic pollution in neotropical rainforest, savanna, pine plantations, and pasture soils in lowland areas of Oaxaca, Mexico: Preliminary results. *Ecological Indicators*, 121, 107084.
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 12-22
- Ahmad, M., Li, J., Wang, P., Hozzein, W., & Li, W. (2020). Environmental perspectives of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. *Marine Life Science & Technology* (2020) 2:414–430.
- Beltran, M., Mendoza, N., Vazquez, A., & Alvarez, J. (2017). Presencia de hidrocarburos en microplásticos de una playa mexicana. *Memorias del congreso nacional AMICA 2019*. Instituto de Ingeniería de la UNAM. 83-87.
- Boll, 2020. Atlas del Plástico. Disponible en <https://mx.boell.org/es/2020/12/06/atlas-del-plastico>
- Bollaín, C., & Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Rev Esp Salud Pública*, 93: 1 -10
- Borges-Ramírez, M.M., Dzul-Caamal, R., Rendón-von Osten, J., 2019. Occurrence and seasonal distribution of microplastics and phthalates in sediments from the urban channel of the Ria and coast of Campeche, Mexico. *Sci. Total Environ.* 672, 97–105
- Borges-Ramírez, M. M., Mendoza-Franco, E. F., Escalona-Segura, G., & Rendón-von Osten, J. (2020). Plastic density as a key factor in the presence of microplastic in the gastrointestinal tract of commercial fishes from Campeche Bay, Mexico. *Environmental Pollution*, 267, 115659.
- Borges-Ramírez, M. M., Escalona-Segura, G., Huerta-Lwanga, E., Iñigo-Elias, E., & Rendón-von Osten, J. (2021). Organochlorine pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, metals and metalloids in microplastics found in regurgitated pellets of black vulture from Campeche, Mexico. *Science of the Total Environment*, 801, 149674.

- Cabrera, M. (2018). Evaluación de la estación depuradora de agua residual (edar) el trocadero del municipio de puerto real como ruta de entrada de microplástico al medio acuático. Memoria para obtener el grado de Máster. Facultad de ciencias del mar y ambientales. Cádiz, España. Universidad de Cádiz. 65p.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V.F. 2020, A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(4), 1212.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 142-157.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- Cutroneo, L., Reboa, A., Besio, G., Borgogno, F., Canesi, L., Canuto, S., ... & Capello, M. (2020). Microplastics in seawater: sampling strategies, laboratory methodologies, and identification techniques applied to port environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 8938-8952.
- Cruz-Salas, A., Alvarez-Zeferino, J., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, M., Gutiérrez-Ortiz, M., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, 24(71), 3-21.
- Herrera, A., Liria Loza, A., Ostiategui, P., & Gómez, M. (2017). Los microplásticos: la amenaza de los ecosistemas marinos. *Okeanos*.
- Herrera, A., Martínez, I., & Gómez, M. (2020). Proyecto Plasmar. Bases para la planificación sostenible de áreas marinas en la macaronesia. *Revista de la sociedad atlántica de oceanógrafos. Okeanos. Okeanos.pdf* . 11p.
- Jonathan, M. P., Sujitha, S. B., Rodriguez-Gonzalez, F., Villegas, L. E. C., Hernández-Camacho, C. J., & Sarkar, S. K. (2021). Evidences of microplastics in diverse fish species off the Western Coast of Pacific Ocean, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 204, 105544.
- Kozak, E. R., Franco-Gordo, C., Mendoza-Pérez, J., Sánchez-Nuño, N., Martínez-Sánchez, X. A., Melo-Agustín, P., ... & Gómez-Gutiérrez, J. (2021). Surface layer microplastic pollution in four bays of the central Mexican Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112537.
- López-Barrera, Fabiola, Martínez-Garza, Cristina, & Ceccon, Eliane. (2017). Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(Supl. dic), 97-112.

- Lozano-Hernández, E. A., Ramírez-Álvarez, N., Mendoza, L. M. R., Macías-Zamora, J. V., Sánchez-Osorio, J. L., & Hernández-Guzmán, F. A. (2021). Microplastic concentrations in cultured oysters in two seasons from two bays of Baja California, Mexico. *Environmental Pollution*, 290, 118031.
- Lwanga, E. H. (2016). Microplásticos, insospechado problema ambiental. *Ecofronteras*, 26-28.
- Martinez-Tavera, E., Duarte-Moro, A. M., Sujitha, S. B., Rodriguez-Espinosa, P. F., Rosano-Ortega, G., & Expósito, N. (2021). Microplastics and metal burdens in freshwater Tilapia (*Oreochromis niloticus*) of a metropolitan reservoir in Central Mexico: Potential threats for human health. *Chemosphere*, 266, 128968
- Mason, S., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., & Rogers, D. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*. 218: 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.05>
- Mendoza Muñoz, N. (2018). Adsorción de contaminantes en microplásticos en ambientes marinos (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).
- Sánchez-Hernández, L. J., Ramírez-Romero, P., Rodríguez-González, F., Ramos-Sánchez, V. H., Montes, R. A. M., Rubio, H. R. P., ... & Jonathan, M. P. (2021). Seasonal evidences of microplastics in environmental matrices of a tourist dominated urban estuary in Gulf of Mexico, Mexico. *Chemosphere*, 277, 130261.
- Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., & Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla city, Mexico. *Science of the Total Environment*, 654, 154-163.
- ONU (2019) Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. Disponible en <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- Pelamatti, T., Fonseca-Ponce, I. A., Rios-Mendoza, L. M., Stewart, J. D., Marín-Enríquez, E., Marmolejo-Rodríguez, A. J., ... & González-Armas, R. (2019). Seasonal variation in the abundance of marine plastic debris in Banderas Bay, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 145, 604-610.
- Piñon-Colin, T., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E., & Wakida, F. T. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 131, 63-71.
- Quesadas-Rojas, M., Enriquez, C., & Valle-Levinson, A. (2021). Natural and anthropogenic effects on microplastic distribution in a hypersaline lagoon. *Science of the Total Environment*, 776, 145803.

- Ramirez, M. M. B., Caamal, R. D., & von Osten, J. R. (2019). Occurrence and seasonal distribution of microplastics and phthalates in sediments from the urban channel of the Ria and coast of Campeche, Mexico. *Science of the Total Environment*, 672, 97-105.
- Ramírez-Álvarez, N., Mendoza, L. M. R., Macías-Zamora, J. V., Oregel-Vázquez, L., Álvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F. A., ... & Navarro-Olache, L. F. (2020). Microplastics: Sources and distribution in surface waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of the Total Environment*, 703, 134838.
- Retama, I., Jonathan, M. P., Shruti, V. C., Velumani, S., Sarkar, S. K., Roy, P. D., & Rodríguez-Espinosa, P. F. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine pollution bulletin*, 113(1-2), 530-535.
- Rios-Mendoza, L. M., Ontiveros-Cuadras, J. F., Leon-Vargas, D., Ruiz-Fernández, A. C., Rangel-García, M., Pérez-Bernal, L. H., & Sanchez-Cabeza, J. A. (2021). Microplastic contamination and fluxes in a touristic area at the SE Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112638.
- Salazar-Pérez, C., Amezcua, F., Rosales-Valencia, A., Green, L., Pollorena-Melendrez, J. E., Sarmiento-Martínez, M. A., ... & Barletta, M. (2021). First insight into plastics ingestion by fish in the Gulf of California, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112705.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). Metro station free drinking water fountain-A potential “microplastics hotspot” for human consumption. *Environmental Pollution*, 261, 114227.
- UNEP - United Nations Environment Programme. 2014. Micro plastics. Nairobi, Kenia. 8p.
- Zou, J., Liu, X., Zhang, D., Yuan, X. 2020, Adsorción of three bivalent metals by four chemical distinct microplastics, *Chemosphere*, 248, 126064.

APLICACIÓN DEL MUCÍLAGO DE OPUNTIA ROBUSTA COMO BIOCOAGULANTE EN LA ETAPA DE CLARIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

GLORIA ITZEL VALDIVIA CABRAL¹, VERÓNICA ÁVILA VÁZQUEZ², HANS CHRISTIAN CORREA AGUADO³, MIGUEL MAURICIO AGUILERA FLORES⁴

Resumen

Actualmente el sulfato de aluminio es el coagulante mayormente utilizado para la clarificación de aguas residuales, éste está directamente relacionado con impactos negativos a la salud humana y al medio ambiente. Con el objetivo de buscar alternativas al uso de este agente químico, se evaluó la eficiencia de clarificación en muestras de agua residual doméstica del biocoagulante elaborado a partir del mucílago extraído de *Opuntia robusta*, con respecto al sulfato de aluminio. La extracción del mucílago se hizo mediante etanol como solvente. Se desarrolló un diseño experimental, cuyo factor numérico se asoció a la fracción y concentración del coagulante a utilizar (*Opuntia robusta* y/o sulfato de aluminio), en contrastes de 200, 400, 600 y 800 mg/L, definiendo como variable de respuesta el porcentaje de remoción de turbidez. Esto permitió definir 12 ensayos, correspondientes a la cantidad de pruebas de jarras a realizar. Durante las pruebas experimentales, las características fisicoquímicas del agua residual (pH, temperatura, conductividad y turbidez) fueron evaluadas antes y después de los ensayos de jarras. De los ensayos realizados, el tratamiento más efectivo fue el compuesto por *Opuntia robusta* y sulfato de aluminio en concentraciones de 66.6 y 133.4 [mg/L], respectivamente pues removió el 79.74% de la turbidez, con lo que se concluye que los resultados obtenidos sugieren la posibilidad de implementar sistemas duales en la clarificación de aguas residuales domésticas, además de indicar que el biocoagulante obtenido a partir de *Opuntia robusta* presentó debido a su alto contenido de ácido galacturónico.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, dosis óptima, tratamiento del agua.

¹ Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Ingeniería Ambiental (UPIIZ), Blvd. Del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. gvaldiviac1601@alumno.ipn.mx

² Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Ingeniería Ambiental (UPIIZ), Blvd. Del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México.

³ Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Ingeniería Ambiental (UPIIZ), Blvd. Del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México.

⁴ Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas, Ingeniería Ambiental (UPIIZ), Blvd. Del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. maguileraf@ipn.mx

Abstract

Currently, aluminum sulfate is the most widely used coagulant for wastewater clarification, it is directly related to negative impacts on human health and the environment. In order to find alternatives to the use of this chemical agent, the clarification efficiency in samples of domestic wastewater of the biocoagulant made from the mucilage extracted from *Opuntia robusta*, with respect to aluminum sulfate, was evaluated. Mucilage extraction was done using ethanol as solvent. An experimental design was developed, whose numerical factor was associated with the fraction and concentration of the coagulant to be used (*Opuntia robusta* and/or aluminum sulfate), in contrasts of 200, 400, 600 and 800 mg/L, defining as response variable the percentage of turbidity removal. This allowed defining 12 trials, corresponding to the number of jar tests to be carried out. During the experimental tests, the physicochemical characteristics of the wastewater (pH, temperature, conductivity and turbidity) were evaluated before and after the jar tests. Of the tests carried out, the most effective treatment was the one composed of *Opuntia robusta* and aluminum sulfate in concentrations of 66.6 and 133.4 [mg/L], respectively, since it removed 79.74% of the turbidity, with which it is concluded that the results obtained suggest the possibility of implementing dual systems in the clarification of domestic wastewater, in addition to indicating that the biocoagulant obtained from *Opuntia robusta* presented due to its high content of galacturonic acid.

Keywords: Domestic wastewater, optimal dose, water treatment.

Introducción

Una de las principales etapas en el tren de tratamiento de aguas residuales es la clarificación del agua, la cual consiste en la adición de coagulantes; sin embargo, estos últimos están directamente relacionados con impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Miller et al., 2008).

Durante los últimos años se han investigado los impactos negativos de los coagulantes utilizados para la clarificación de aguas residuales, específicamente la del sulfato de aluminio, el cual es fácilmente asimilado por el ser humano y causa varias afectaciones a la salud (Gurdián y Coto, 2011). Además, este coagulante genera lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos (Miller et al., 2008; Yin, 2010). Por tal motivo, en años recientes, ha existido un aumento en el desarrollo de alternativas al uso de coagulantes sintéticos como lo son los biocoagulantes, los cuales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal, que actúan de forma similar a los coagulantes sintéticos en el proceso de clarificación del agua residual (Vargas y Romero, 2006). Se ha demostrado que, los porcentajes de remoción de turbidez de los coagulantes naturales oscilan entre 64 y 91 %, para alcanzar estos rendimientos el biocoagulante debe ser empleado en concentraciones mayores a 45 mg/L (Flores, 2006; Meza et al., 2018).

Las especies vegetales utilizadas para la elaboración de biocoagulantes son aquellas que presentan alto contenido de mucílago, el cual es un conjunto de carbohidratos complejos con gran capacidad de absorber agua y considerados fuente potencial industrial de hidrocoloides; contiene L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico. Este complejo viscoso de hidratos de carbono se ha estudiado ampliamente como coagulante natural, siendo atractivas para estos fines aquellas especies con una alta densidad poblacional (Nazareno y Padrón, 2011).

Por tal motivo en el presente estudio, se hizo uso del mucílago extraído de nopal camueso (*Opuntia robusta*) para la fabricación del biocoagulante; utilizado para la clarificación de agua residual doméstica, la cual solo requirió un tratamiento a nivel primario basado en la coagulación-floculación-sedimentación. Además, la eficiencia del biocoagulantes se comparó con la del sulfato de aluminio, por lo que los resultados obtenidos permiten ofrecer alternativas en el uso de biocoagulantes o sistemas duales en la clarificación de aguas residuales domésticas.

Materiales y métodos

La extracción del mucílago se realizó mediante la metodología propuesta por Sáenz et al. (2006). La corteza de las pencas de *Opuntia robusta* fue retirada, después de lavaron con agua del grifo. Una vez lavadas y cortadas, las pencas se molieron en una licuadora doméstica utilizando agua destilada en proporción 1:2 (p/v). A la mezcla obtenida se le realizó un tratamiento térmico a $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$ durante 1 h. Finalizada esta operación se procedió a centrifugar la suspensión a 3,500 rpm durante 10 min. El sedimento se desechó y al sobrenadante se le agregó etanol en proporción 1:4 (v/v), se dejó reposar durante 24 h en refrigeración a 4°C . Después, la mezcla fue filtrada al vacío, y el sólido obtenido se dejó secando a temperatura ambiente durante 24 h. Una vez seco el mucílago, se trituró en un mortero. El producto obtenido se almacenó en un frasco de vidrio con tapa a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La muestra de agua residual doméstica se recolectó en una descarga de agua residual municipal ubicada en el municipio de Zacatecas (Zacatecas, México). Se recolectaron 9 L de agua residual, siguiendo el método establecido en la NMX-AA-003-1980 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1980), el cual consiste en enjuagar el recipiente muestreador en tres ocasiones antes de recolectar la muestra, después éste se introdujo en la descarga de agua residual y se tomó el volumen necesario, colocándolo dentro de un bidón con tapa para permitir su transporte. La muestra se analizó dentro las 24 h posteriores a su recolección.

Se realizaron 12 ensayos de prueba de jarras por duplicado. Cada ensayo de jarras consistió en la adición de la mezcla correspondiente de coagulantes (de 200 a 800 mg/L) a 500 ml de agua cruda. Las muestras se agitaron a una velocidad de 150 rpm durante 5 minutos. Transcurrido el tiempo, se añadió 1 ml de floculante comercial al 0.1% previamente preparado, después se retomó la agitación a 50 rpm

durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, las muestras se dejaron reposar 60 minutos para permitir que los flóculos sedimentaran.

Los parámetros que se evaluaron para la determinación de la calidad del agua residual doméstica que se sometió a tratamiento, antes y después, son: pH por el método del potenciómetro establecido en la NMX-AA-008-SFCI-2016 (Secretaría de Economía, 2016); conductividad por el método que establece la NMX-AA-093-SCFI-2018 (Secretaría de Economía, 2018); turbidez por el método del turbidímetro establecido en la NMX-AA-038-SCFI-2001 (Secretaría de Economía, 2001); sólidos suspendidos totales (SST) por el método que establece la NMX-AA-034-SCFI-2015 (Secretaría de Economía, 2015). Para realizar las mediciones anteriores, se utilizaron 50 ml de la superficie de cada muestra evitando tomar flóculos, con ese volumen se midió pH, conductividad y turbidez, mientras que para SST se utilizaron 30 ml.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1, se observan los gramos de coagulante obtenido por cada 100 g de *Opuntia robusta*, así como la cantidad necesaria para la realización de las 12 pruebas de jarras por duplicado, en donde se requirieron 3.00 g de biocoagulante.

Cuadro 1. Rendimiento de *Opuntia robusta*

Cantidad obtenida de mucílago en g por cada 100 g	Cantidad de especie vegetal requerida en g para las pruebas de jarras
0.408	735.29

Por otra parte, una de las principales propiedades cualitativas que presentó el biocoagulante obtenido fue la consistencia viscosa, la cual es consecuencia de la composición química del mucílago, además de un color particular, debido a los pigmentos de la especie vegetal (Stuppner et al., 2002; Nazareno y Padrón, 2011). Como se observa en la Figura 1 el biocoagulante extraído *Opuntia robusta* presentó una tonalidad café clara.



Figura 1. Mucílago extraído de *Opuntia robusta*.

En cuanto a la muestra de agua residual doméstica cruda, en el Cuadro 2 se muestran los valores de pH, conductividad, turbidez y SST correspondientes.

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica cruda

pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (UNT)	SST (mg/L)
7.69	1213	51.06	63.33

La NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT, 2003) establece como límite máximo permisible una concentración de SST de 125 mg/L cuando el agua residual es descargada en suelo. En el agua residual doméstica muestreada se obtuvo un valor de 63.33 mg/L para este parámetro, por lo tanto, se encuentra dentro de lo establecido en la NOM anterior. Sin embargo, parte de la población en México utiliza agua residual para satisfacer sus necesidades, con fin de evitar impactos negativos en la salud humana el agua debe cumplir con los parámetros dispuestos en la NOM-127-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1996), en donde se establece un rango de pH de 6.5 a 8.5, por lo que el valor obtenido en la muestra de agua residual doméstica cumple con este parámetro; contrario a la turbidez, pues la muestra de agua presentó 51.06 UNT y la norma marca como límite máximo permisible 5 UNT. Además, los altos niveles de turbidez también afectan al medio ambiente por lo que es necesaria su remoción, pues las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que el agua se caliente y así reduzca la concentración de oxígeno en el agua; por otra parte, se dispersa la luz, de esta forma decrece la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún (SEMARNAT, 2014).

El Cuadro 3 muestra los valores promedios de pH, conductividad, turbidez y SST obtenidos del agua residual doméstica después de haber sido tratada con sulfato de aluminio, y el biocoagulante obtenido de *Opuntia robusta*, correspondientes a las 12 pruebas de jarras realizadas.

Cuadro 3. Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua residual después del tratamiento

Corrida	Concentración [mg/L]			pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (UNT)	Remoción de turbidez (%)	SST (mg/L)
	<i>Opuntia robusta</i>	Sulfato de aluminio	Total					
1	0	200	200	7.08	1229	13.26	74.03	ND
2	533.4	266.66	800	7.48	1261	49.50	3.05	45
3	800	0	800	7.70	1274	52.99	-----	48.66
4	266.6	533.4	800	6.89	1276	17.06	66.58	ND
5	200	0	200	7.63	1230	39.07	23.48	33.33
6	133.4	66.6	200	7.19	1129	33.22	34.09	ND
7	66.6	133.4	200	7.32	1227	10.34	79.74	ND
8	0	800	800	6.19	1432	38.70	24.21	ND
9	280	120	400	7.38	1195	32.02	37.28	ND
10	120	280	400	7.24	1263	29.04	43.12	ND
11	180	420	600	7.02	1271	28.03	45.12	ND
12	420	180	600	7.23	1223	28.99	43.22	ND

[ND] No Detectable

En el Cuadro 3 se muestra que la corrida 7 representó al tratamiento más efectivo, pues removió el 79.74% de la turbidez, seguido de la corrida 1, donde se removió el 74.03% de turbidez. Estos resultados se deben a que se utilizaron concentraciones cercanas a las óptimas de ambos coagulantes (Barrenechea, 2004; Tayron et al., 2017). En la corrida 4, se disminuyó la turbidez en un 66.59%. Por su parte, la corrida 3 se realizó en su totalidad con *Opuntia robusta*, la cantidad utilizada confirió mayores niveles de turbidez al agua residual cruda.

En general, se observa que las pruebas en donde se empleó sulfato de aluminio removieron más turbidez del agua residual que el coagulante natural por sí solo. Asimismo, es posible observar que el mucílago extraído de *Opuntia robusta* ofrece una alternativa en el uso de sistemas duales de tratamientos de agua residual doméstica, esto se debe a que esta especie vegetal contiene una gran variedad de carbohidratos particularmente de ácido galacturónico (Nazareno y Padrón, 2011; Custodio, 2020).

En cuanto a los SST, no fue posible obtener los datos de este parámetro de todas las corridas realizadas debido a interferencias en el procedimiento, sin embargo, en las pruebas 2, 3 y 5 se observa que a medida que la turbidez disminuye, la concentración de SST lo hace junto con ésta, ya que ambos parámetros están directamente relacionados, pues son los sólidos presentes en el agua los que le otorgan la turbidez. Lo mismo sucede con la conductividad, pues cuanto mayor es la cantidad de SST, mayor es el valor de la conductividad eléctrica porque éstos forman parte del material que es capaz de conducir la electricidad en el agua (Olivero et al., 2013).

En el Cuadro 3 se muestra que el valor más alto de conductividad corresponde a la corrida 9, el cual fue de 1,432 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto se debe a que el sulfato de aluminio es un coagulante metálico, muy sensible al pH y a la alcalinidad y es posible que se solubilice el aluminio, incrementando la conductividad eléctrica y la reducción del pH (Hernández et al., 2013), lo que podría explicar el aumento de la conductividad y la disminución del pH en las pruebas donde se utilizó una mayor cantidad del coagulante inorgánico.

Conclusión

Se realizó la extracción del mucílago de *Opuntia robusta*, y por cada 100 g de esta especie vegetal se obtuvieron 0.839 g de coagulante. Por consiguiente, se procesaron 735.29 g de esta especie vegetal para completar las 12 pruebas de jarras.

Al emplear 66.6 mg/L de coagulante de *Opuntia robusta* y 133.4 mg/L de sulfato de aluminio en la misma corrida se obtuvo una remoción de turbidez del 79.74%, lo cual representa el tratamiento con mayor eficiencia debido a que las concentraciones utilizadas se encuentran dentro de las óptimas de ambos coagulantes.

La *Opuntia robusta* ofrece una alternativa al uso de coagulantes sintéticos en sistemas duales para la clarificación de aguas residuales domésticas, debido a su composición química.

Referencias

- Barrenechea, M. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. *Tecnologías de coagulación*, 174(2), 196-198.
- Custodio, R. (2020, 03 de noviembre). Plantas medicinales, uña de gato. *Información de Salud Natural*. <https://www.casapia.com/blog/plantas-medicinales/plantas-medicinales-utiles-en-el-tratamiento-de-afecciones-osteoarticulares-articulo-informativo.html>
- Flores, A. (2006). Evaluación preliminar de la reserva del nopal (*Opuntia spp*) en la región Laguna-Chihuahua. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, (2), 191-196.
- Gurdián, R. y Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 16 (2), 12-22.
- Hernández, I., Gonzales, R., Arriaga, M., Aranda, J. y Barra, G. (2013). Clarificación de agua del arroyo el Hueleque de Poza Rica, Ver, utilizando cal, sulfato de aluminio e hidroxocloruro de aluminio. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9 (1), 1-10.
- Meza, M., Riñaos, K., y Mercado, I. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104.
- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J. and Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia ssp.* as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12), 4274- 4279.
- Nazareno, M. y Padrón, C. (2011). Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1), 202-238.
- Olivero, E., Mercado, I., y Montes, I. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción más limpia*, 8 (1), 19-27.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, J., Galletti L. y García, V (2006). Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 14 (2), 4.5.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1980). Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas residuales.- Muestreo. *Diario Oficial de la Federación*: 11 de febrero de 1980, México.

- Secretaría de Economía (2001). Norma Mexicana NMX-AA-039-SCFI-2015 Análisis de agua.- Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación: 01 de agosto de 2001, México.
- Secretaría de Economía (2015). Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI Análisis de agua.- Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación: 16 de febrero de 2015, México.
- Secretaría de Economía (2016). Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016 Análisis de agua.- Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- método de prueba. Diario Oficial de la Federación: 05 de julio de 2016, México.
- Secretaría de Economía (2018). Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018 Análisis de agua.- Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación: 26 de junio de 2018, México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación: 23 de abril de 2003, México.
- Secretaría de Salud (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación: 18 de enero de 1996, México.
- SEMARNAT (2014). Sólidos suspendidos totales y turbidez. En Agua, informe 15. Consultado el 09 de enero de 2021.
- Stuppner, H., Sturm, S., Geisen, G., y Zillian, U. (2002). Plantas Medicinales. Supplement Issue, 132(7), 8-12.
- Tayron, A., Guzman, L., y Barros, I. (2017). Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. Orinquia, 12 (1), 73-75.
- Vargas, M. y Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Tecnología en Marcha, 19 (4), 37-41.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry, 45 (9), 1437-1444.

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CAFÉ Y CAÑA DE AZÚCAR Y SU POTENCIAL COMO PLÁSTICOS BIOBASADOS

GUADALUPE DOLORES GUTIÉRREZ SAMPIERI¹, ITZEL GALAVIZ VILLA², MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO³

Resumen

Los residuos agroindustriales tienen su origen en los cultivos y no son aprovechados para el consumo humano; aquí se incluyen materiales como: tallos, hojas, cáscaras y semillas, provenientes de cereales, frutas, verduras, entre otros. Se generan aproximadamente 3,045 millones de toneladas por año de residuos agroindustriales. Estos residuos son fuente principal de componentes estructurales como la lignina, celulosa y hemicelulosa; que se emplean en la elaboración plásticos biobasados. Ya que provienen de la naturaleza, se originan en los diversos procesos agrícolas de alta demanda que se desarrollan en cada región del mundo. Por lo anterior, el presente proyecto tiene el objetivo en determinar las características físico-químicas de la celulosa extraída de los residuos agroindustriales del café (*Coffea* spp.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp.), los cuales no son aprovechados para el consumo humano y son fuente principal de lignina, celulosa y hemicelulosa. El desarrollo de esta investigación se realiza por medio de tratamientos químicos por blanqueo, hidrólisis álcali y acida para la extracción de celulosa de dichos residuos. Se realizó una caracterización físico-química de los residuos, y se obtuvieron altos porcentajes de celulosa de alta pureza de la cascarilla de café (88.80 %), y del bagazo de caña de azúcar (83.28 %). La cual tiene el potencial de ser aprovechada en varias aplicaciones industriales; y por sus propiedades mecánicas, en la fabricación productos bioplásticos cuyas características podrían generar beneficios tanto al medio ambiente, disminuyendo el impacto ambiental provocado por los plásticos convencionales; como en la sustentabilidad de la actividad agrícola.

Palabras clave: Residuos agrícolas, celulosa, cascarilla de café, bagazo de caña de azúcar, bioplásticos.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, (ITBOCA), Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, (ITBOCA), Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. m20990013@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, (ITBOCA), Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Abstract

Agroindustrial residues originate from crops and are not used for human consumption; This includes materials such as: stems, leaves, shells and seeds, from cereals, fruits, vegetables, among others. Approximately 3,045 million tons per year of agro-industrial waste are generated. These residues are the main source of structural components such as lignin, cellulose and hemicellulose; that are used in the production of biobased plastics. Since they come from nature, they originate in the various high-demand agricultural processes that are developed in each region of the world. Therefore, this project has the objective of determining the physical-chemical characteristics of the cellulose extracted from the agro-industrial residues of coffee (*Coffea* spp.) and sugar cane (*Saccharum* spp.), which are not used for consumption. and are the main source of lignin, cellulose and hemicellulose. The development of this research is carried out through chemical treatments by bleaching, alkali and acid hydrolysis for the extraction of cellulose from said residues. A physical-chemical characterization of the residues was carried out, and high percentages of high-purity cellulose were obtained from coffee husks (88.80%), and from sugar cane bagasse (83.28%). Which has the potential to be exploited in various industrial applications; and for its mechanical properties, in the manufacture of bioplastic products whose characteristics could generate benefits for the environment, reducing the environmental impact caused by conventional plastics; as in the sustainability of agricultural activity.

Keywords: Agricultural waste, cellulose, coffee husk, sugarcane bagasse, bioplastics.

Introducción

Los residuos agroindustriales provienen de los cultivos los cuales no son aprovechados para el consumo humano; incluyen elementos como: tallos, hojas, cáscaras y semillas, provenientes de cereales, frutas, verduras, entre otros (Nigam y Pandey, 2009). La producción mundial de residuos agroindustriales procedentes de los cultivos y procesos agrícolas genera 3,045 millones de toneladas por año (Badrán, Ocampo, Cruz, Trejo, y Gutiérrez, 2019).; son fuente principal de lignina, celulosa y hemicelulosa (Cabrera, Muñoz, Martín, Caro, Curbelo y Díaz, 2014). En el caso especial de México se generan aproximadamente 70 millones de toneladas al año de estos residuos (Vega, Brizuela, Togo, y Rodríguez, 2019).

Actualmente el café es considerado como uno de los principales cultivos industriales en México (López, Escamilla, Zamarripa, y Cruz, 2016). Veracruz, es el segundo estado con mayor producción, representando el 24 % de la producción nacional (Figueroa Hernández, Pérez Soto, y Godínez Montoya, 2015). Sin embargo, genera diversos residuos que se obtienen como desechos, destacando la cascarilla, la boza y el mucilago (Ramalakshmi y Raghavan, 2003). La cascarilla es una capa gruesa de la cereza del café, que representa cerca del 43 % de su

peso en fruto (Arias y Meneses, 2016); y contiene entre un 24.5 % y 51 % de celulosa (Murthy y Naidu, 2012).

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*), es el cultivo con mayor producción a nivel mundial. El principal productor es Brasil; sin embargo, en 2019 México ocupó la séptima posición produciendo, 6.4 millones de toneladas (Olivares y García, 2019). En Veracruz se encuentran 18 de los 51 ingenios en el país (Pérez Sánchez, 2017). Aporta el 39.7 % del total de la superficie cosechada y cerca de un 40 % del azúcar producida a nivel nacional (Aguilar Rivera, 2014; CONADESUCA, 2019). La caña de azúcar representa únicamente el 24 % del valor comercial, y el 76 % son residuos resultantes de la fabricación de azúcar, destacando; hojas, pajas, bagazo, melaza y cachaza (Lagos y Castro, 2019). Se generan aproximadamente 250 kg de bagazo de caña por cada tonelada de tallos (Cury, Aguas, Martínez, Olivero, y Ch, 2017). El cual, contiene entre 45 y 55 % de celulosa (García Vargas, 2017). Los plásticos biobasados son aquellos que provienen de diferentes hidratos de carbono como la celulosa y la lignina, provenientes de fuentes naturales y renovables, principalmente de origen vegetal, tal como los residuos agroindustriales del café y la caña de azúcar.

La composición química de la cascarilla de café (*Coffea spp.*) y el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) dependen generalmente de las condiciones de cosecha, de la variedad, uso de agroquímicos, entre otros; sin embargo la problemática ambiental que generan requiere de alternativas de solución y aprovechamiento (Cury et al., 2017). Por lo anterior, el presente proyecto tiene el objetivo determinar las características físico-químicas de la celulosa extraída de los residuos agroindustriales del café (*Coffea spp.*) y caña de azúcar (*Saccharum spp.*), para la elaboración de compuestos bioplásticos.

Materiales y métodos

Pretratamiento general

Se inicia con el pretatamiento de los residuos de cascarilla de café (*Coffea spp.*) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), los cuales fueron recolectados del Beneficio de café “Acatepec” ubicado en km 2.4 Carretera Colonia Manuel González, Huatusco Ver; y del Ingenio Grupo Azucarero San Pedro S.A. De. C.V ubicado en Camino Vecinal Lerdo de Tejada, Saltabarranca, Ver. Dicho pretratamiento consiste en un lavado y enjuague con agua destilada, secado al sol por tres días, triturado y tamizado por clasificación de fracciones, con tamices de 900 y 2000 micras.

*Caracterización de los residuos**Contenido de Humedad*

Se determinó la humedad presente en los residuos después del lavado y secado por medio del método gravimétrico AOAC 925.10 (INTERNATIONAL, 1990).

Para determinar el porcentaje de humedad de las muestras se aplica la siguiente ecuación 1:

$$\% \text{ humedad} : \frac{H_2 - H_3}{H_2 - H_1} * 100 \quad (1)$$

Contenido porcentual de celulosa

Se realizó empleando el método modificado de Licitra, Hernandez, y Van Soest (1996) y se calculó mediante la ecuación (2):

$$\% \text{ Celulosa: } \frac{(\text{material A}) - (\text{material B})}{\text{Peso de la muestra utilizada}} * 100 \quad (2)$$

Extracción y grado de pureza de la celulosa

El tratamiento experimental para la cascarilla de café (*Coffea* spp.) se llevó a cabo por el método de hidrólisis alcalina modificado de Cazaurang, Peraza, y Cruz (1990). Y se aplicó un método de blanqueo e hidrólisis ácida, siguiendo el método propuesto por Sung, Chang, y Han (2017). El método empleado para la extracción de celulosa del bagazo de caña es el propuesto por Cazaurang et al. (1990).

El contenido de humedad de la celulosa extraída se obtuvo por el método gravimétrico 925.19 de la AOAC (2019). La determinación del porcentaje de cenizas se llevó a cabo por el método 923.03 (AOAC, 2019), y la siguiente ecuación (3):

$$\% \text{ Cenizas: } \frac{P_f}{P_i} * 100 \quad (3)$$

Para determinar el grado de pureza de la celulosa extraída de ambos residuos, se aplicó el método propuesto en la norma TAPPI T 203m 58, a partir del contenido de alfa celulosa (Flores y Del Carmen, 2016). A través de la ecuación (4):

$$\text{Contenido de celulosa } \% : \frac{W_2}{W_1} * 100 \quad (4)$$

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se observan los resultados obtenidos de la caracterización físicoquímica de los residuos agroindustriales de cascarilla de café (*Coffea* spp.) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Cuadro 1. Caracterización fisicoquímica de los residuos agroindustriales cascarilla de café (*Coffea* spp.) y bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).

Muestra	Humedad inicial (%)	Celulosa (%)	Humedad de la celulosa (%)	Cenizas (%)	α -celulosa (%)
Bagazo de Caña (<i>Saccharum</i> spp.)	8.35±0.23	33.30±0.008	4.16±1.42	0.74±0.08	83.28
Cascarilla de café (<i>Coffea</i> spp.)	10.54±0.36	24.75±0.61	3.62±1.23	2.0±0.98	88.80

Los valores de humedad en la celulosa extraída del bagazo de caña (4.16%) son ligeramente menores (6.1%) al obtenido por Flores y Del Carmen (2016). De acuerdo con Barros (2009), es importante que el porcentaje de humedad de la celulosa no sea mayor al 7 % ya que, químicamente, este compuesto es inerte y su aplicación como elemento aditivo se limita a la retención de humedad, siendo importante mantener valores bajos de la misma. De igual forma, el bajo contenido de humedad reduce la posibilidad del crecimiento microbiano y su rápida actividad metabólica, impidiendo su deterioro y cambios físico-químicos (Borah, Balasubramanian, Kaur, Kaur, Sukhija y Balasubramanian, 2019; Azmin y Nor, 2020).

El porcentaje de cenizas en la celulosa del bagazo de caña de azúcar, es similar al obtenido por (Barros, 2009; Flores y Del Carmen, 2016); los cuales oscilan entre 0.5 y 3.92 %. En la cascarilla de café se obtuvieron valores superiores a los reportados por Collazo-Bigliardi, Ortega-Toro, y Boix (2018), entre 0.49 y 0.19%. De acuerdo con (Aquino, Rodríguez, Méndez, y Hernández, 2012) este alto contenido de minerales se asocia a la longevidad de los residuos. Así mismo, la presencia o ausencia de cenizas contenidas en las fibras se modifica de acuerdo a la especie vegetal, condiciones de suelo y de cultivo.

El contenido de α -celulosa de la cascarilla y el bagazo de caña de azúcar se refiere a la celulosa micro cristalina despolimerizada y purificada. Este elemento corresponde a la fracción sólida de bajo peso molecular, resistente a la hidrólisis ácida; que genera como producto final un polvo blanco, fino, inodoro, libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos; insoluble en agua, solventes orgánicos y ácidos diluidos, pero soluble de forma parcial en soluciones alcalis (García, Bordallo, Dopico, y Cordero, 2013).

Conclusión

Aplicando tratamientos químicos de blanqueo, hidrólisis álcali y acida par a los residuos agroindustriales de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) y cascarilla de café (*Coffea* spp.), se logró extraer de forma experimental celulosa de alta pureza, encontrándose un mayor porcentaje en la celulosa proveniente de la cascarilla de café (88.80 %), cuyo elemento es libre de contaminantes orgánicos e

inorgánicos. Las propiedades físico-químicas de la celulosa obtenida del bagazo de caña de azúcar, se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura. La celulosa extraída de los residuos agrícolas tiene el potencial de ser aprovechada en varias aplicaciones industriales, destacando la industria farmacéutica, alimenticia, removedor de contaminantes; así como, por sus propiedades mecánicas, en la fabricación productos bioplásticos cuyas características podrían generar beneficios tanto al medio ambiente, disminuyendo el impacto ambiental provocado por los plásticos convencionales; como en la sustentabilidad de la actividad agrícola.

Referencias

- Aguilar Rivera, N. (2014). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova scientia*, 6, (12), 125-161 Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v6n12/v6n12a7.pdf>
- Aquino, L.,Rodriguez, J.,Mendez, A. y Hernandez, S. (2012). Extraction and characterization of nopal (*Opuntia ficus indica*) fiber. *Naturaleza y desarrollo*, 10, 46-63
- Arias, O., Rosa Angélica y Meneses, C., Juan Daniel. (2016). Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/3793>
- Azmin, S. N. H. M. y Nor, M. S. M. (2020). Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5, (4), 248-255
- Badrán, I. M. R.,Ocampo, I. L.,Cruz, J. S.,Trejo, J. F. G. y Gutiérrez, C. A. (2019). Biocombustibles sólidos: una alternativa económica y sostenible para la generación de energía eléctrica en México. *DIGITAL CIENCIA@ UAQRO*, 12, (2), 61-66 Retrieved from <http://ciencia.uaq.mx/index.php/ojs/article/view/44>
- Barros, C. (2009). Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso: Editorial Visión Libros.
- Borah, A.,Balasubramanian, S.,Kaur, A.,Kaur, J.,Sukhija, S. y Balasubramanian, S. (2019). Thermal and microbial characteristics of barley pasta as affected by moisture content. *Our Herit*, 67, 300-314
- Cabrera, E.,Muñoz, M. J.,Martín, R.,Caro, I.,Curbelo, C. y Díaz, A. B. (2014). Alkaline and alkaline peroxide pretreatments at mild temperature to enhance enzymatic hydrolysis of rice hulls and straw. *Bioresource technology*, 167, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.103>
- Cazaurang, M., MN,Peraza, S., SR y Cruz, R., CA. (1990). Dissolving grade pulps from hennequen fiber. *Cellulose Chemistry and Technology*, 24, (5), 629-638
- Collazo-Bigliardi, S.,Ortega-Toro, R. y Boix, A. C. (2018). Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. *Carbohydrate polymers*, 191, 205-215
- CONADESUCA. (2019). Reporte Final de Producción de Caña y Azúcar. Retrieved from <https://www.gob.mx/conadesuca/>.

- Cury, K., Aguas, Y., Martínez, A., Olivero, R. y Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 9, (S1), 122-132. doi:<https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>
- Figueroa Hernández, E., Pérez Soto, F. y Godínez Montoya, L. (2015). Importancia de la comercialización del café en México. In S. C. ECORFAN-México (Ed.), *Ciencias Sociales: Economía y Humanidades*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11799/41277>.
- Flores, B. y Del Carmen, V. (2016). Envoltura comestible a base de celulosa microcristalina de bagazo de caña de azúcar. (INGENIERIA AGROINDUSTRIAL), Ibarra, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5313>
- García, G., Lucia, B., Bordallo, L., Eduardo, Dopico, R., Daisy y Cordero, F., Dolores. (2013). Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47, (1), 57-63 Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223126409008>
- García Vargas, C. C. (2017). Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico. (Ingeniería Ambiental), UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, LIMA – PERÚ. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3533>
- Official methods of analysis of AOAC International, (1990).
- Lagos, B., Elizabeth y Castro, R., Edwin. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*, 30, (3), 917-934. doi:<https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>
- Licitra, G., Hernandez, T. y Van Soest, P. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 57, (4), 347-358
- López, G., Francisco Javier, Escamilla, P., Esteban, Zamarripa, C., Alfredo y Cruz, C., J Guillermo. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39, (3), 297-304
- Murthy, P. S. y Naidu, M. M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and recycling*, 66, 45-58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Nigam, P. S.-N. y Pandey, A. (2009). Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: utilisation of agro-residues. In Springer Science & Business Media (Series Ed.), A. P. Poonam Singh-Nee Nigam (Ed.), (pp. 466).
- Olivares, L. Y. L. y García, N. M. (2019). Producción de azúcar a partir de sorgo dulce; una alternativa ambiental y económica para la agroindustria mexicana. *Revista Ingeniantes*, 1, (2)

- Pérez Sánchez, S. L. (2017). Agroindustria de la caña de azúcar en Veracruz: Análisis del deterioro productivo. In E. F. F. Pérez, L. Godínez R. Salazar (Ed.), Ciencias de la Economía y Agronomía. Texcoco de Mora, Mexico, 2017: ECORFAN.
- Ramalakshmi, K. y Raghavan, B. (2003). Coffee: a perspective on processing and products. HANDBOOK of postharvest technology; cereals, fruits, vegetables, tea and spices..
- Sung, S. H., Chang, Y. y Han, J. (2017). Development of polylactic acid nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals derived from coffee silverskin. Carbohydrate polymers, 169, 495-503
- Vega, C. A., Brizuela, N. Y. M., Togo, J. S. S. y Rodríguez, M. V. (2019). Revalorización de los residuos agroindustriales. In Universidad Juárez del Estado de Durango (Ed.), Cadenas de valor e innovación (pp. 304).

NAIN TECH (SUAVIZANTE DE TELAS CON EFECTO REPELENTE)

JOSÉ ISAAC ZAMORA MORALES¹, OMAR DE JESÚS MOTA SANGABRIEL², MARÍA DEL CARMEN MARTÍNEZ QUEZADA³, ALMA PATRICIA MURILLO BRENIS⁴

Resumen

En los últimos años se han realizado fumigaciones en diversos sectores del Estado de Veracruz buscando la prevención y control de algunos vectores causantes del Dengue, Zika y Chinkungunya. Como contribución para dicho fin, se decidió crear un suavizante de telas con efecto repelente de mosquitos, siendo viable económicamente, menos tóxico y que no cause daños perjudiciales, tanto para la salud de las personas, como del medio ambiente.

Para la elaboración del suavizante de telas marca **Nain Tech**, se utilizó una infusión de agua salada, con hojas de Neem y una pasta que está conformada por alcohol isopropílico, glicerina, conservador, además se utilizaron dos semillas del árbol de Neem, y gotas del aceite esencial de Neem.

El resultado obtenido, fue que el suavizante de telas **Nain Tech**, posee capacidades repelentes, que en consecuencia alejan no sólo mosquitos, sino también a insectos que se encuentran en el ambiente. El aceite de Neem conserva cualidades del árbol que junto con la infusión de las hojas del árbol Neem, potencializan los beneficios. Cabe mencionar, que se recomienda realizar más investigaciones y pruebas, con un número mayor de regiones, para analizar la efectividad del suavizante de telas, en distintas condiciones medio ambientales, ya que la fórmula ha sido probada en distintas partes del municipio de Zentla, Veracruz y teniendo como parámetro de investigación el tiempo de efecto repelente en distintas zonas. Se contempla para esta investigación tres tratamientos con cinco repeticiones cada uno.

Palabras clave: Insecticida natural, mutación de mosquitos, medio ambiente, objetivos de desarrollo sostenible, suavizante de telas, efecto repelente

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH), C. 25 Ote. Reserva territorial, C.P94106, Huatusco, Ver. jzamoram@huatusco.tecnmx.mx jozamo_81@hotmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH), C. 25 Ote. Reserva territorial, C.P94106, Huatusco, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH), C. 25 Ote. Reserva territorial, C.P94106, Huatusco, Ver.

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco (ITSH), C. 25 Ote. Reserva territorial, C.P94106, Huatusco, Ver.

Abstract

In recent years, fumigations have been carried out in various sectors of the State of Veracruz seeking the prevention and control of some vectors that cause Dengue, Zika and Chinkungunya. As a contribution to this end, it was decided to create a fabric softener with a mosquito repellent effect, being economically viable, less toxic and that does not cause harmful damage to both the health of people and the environment.

For the preparation of the Nain Tech brand fabric softener, an infusion of salt water was used, with Neem leaves and a paste that is made up of isopropyl alcohol, glycerin, preservative, in addition two seeds of the Neem tree were used, and drops of Neem essential oil.

The result obtained was that the Nain Tech fabric softener has repellent capabilities, which consequently drive away not only mosquitoes, but also insects found in the environment. Neem oil preserves qualities of the tree that, together with the infusion of the leaves of the Neem tree, enhance the benefits.

It is worth mentioning that it is recommended to carry out more research and tests, with a greater number of regions, to analyze the effectiveness of fabric softener, in different environmental conditions, since the formula has been tested in different parts of the municipality of Zentla, Veracruz. and having as research parameter the time of repellent effect in different areas. Three treatments with five repetitions each are contemplated for this investigation.

Keywords: Natural insecticide, mosquito mutation, environment, sustainable development goals, fabric softener, repellent effect

Introducción

El calentamiento global, los cambios en el medio ambiente y las nuevas demandas de cuidados a la salud, son problemas que necesitan soluciones efectivas, tal es el caso del mosquito *Aedes aegypti*, el cual es un vector de distintas enfermedades sanitarias como el dengue, zika y chikungunya, al que la mitad de la población del mundo está expuesta y podría contraerlo, agregando que no hay vacuna o medicamento específico para tratarlo. (McGrath, 2019)

El árbol Neem (*Azadirachta indica*) conocido en muchas partes del mundo en y Latinoamérica, Asia África, es un árbol con un potente efecto repelente para mosquitos, ya que genera anti-nutrientes para el desarrollo de los mosquitos de forma natural, y su uso no afecta al ambiente. (Sagrera, 2004)

Huatusco, Veracruz, es un municipio de la zona central montañosa que cuenta con más de 78 localidades, y tiene una población mayor de 50,000 personas, tiene un clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (INEGI, 2019). Es una región que ya ha tenido casos sobre estos mosquitos, y tiene probabilidades de aumentar, si no se hace algo al respecto, tan sólo en el año 2019 se registraron 10,902 casos de dengue en Veracruz. (Salud, 2019).

Se tomaron en cuenta esas necesidades humanas, ya que, debido a estos factores de cambio, se crea una cuestión de salud a resolver. Los mosquitos y las enfermedades que portan, se han vuelto un problema que afecta a los lugares más vulnerables del estado y el país.

Se busca entonces, ofrecer un nuevo producto, que adopte las medidas urgentes que se necesitan actualmente.

Justificación

El presente trabajo se enfoca en una investigación para la prevención y protección contra el actual problema de salud pública, respecto al mosquito del dengue, Zika y chikungunya. Se ha pensado en los potentes efectos del árbol Neem, para resolver la problemática actual, dándole uso en un nuevo producto. El aceite esencial del árbol, además de conservar sus capacidades curativas, contiene capacidades repelentes, y amplios usos en varios campos como la agricultura, cosmética, medicina, etc., (Ecoagricultor, 2020) que pueden tener un impacto positivo frente a la salud del ser humano sin afectar el medio ambiente.

La implementación de un suavizante de telas con efecto repelente podrá ser adaptada, ya que además de ofrecer una mirada al desarrollo sustentable da paso también a la resiliencia social.

Planteamiento del problema

El dengue es una infección vírica, hay cuatro serotipos de virus (DEN 1, DEN 2, DEN 3 y DEN 4). El dengue grave es una complicación potencialmente mortal porque cursa con extravasación de plasma, acumulación de líquidos, dificultad respiratoria, hemorragias graves o falla orgánica. (OMS, 2020)

No hay tratamiento específico del dengue, zika y el chikungunya, pero la detección oportuna y la asistencia médica adecuada disminuyen las tasas de mortalidad debajo de 1%. Los mosquitos normalmente habitan en climas tropicales distribuyéndose a muchos lugares, debido al calentamiento global, los mosquitos emigran a lugares propicios para poder sobrevivir. (OMS, 2020)

Huatusco, Veracruz, es una ciudad con clima templado, rodeada de montañas con climas que oscilan entre 19 y 26 °C en primavera y verano, en días irregulares llegan a registrarse hasta 38 °C.

Por otra parte, Zentla, Veracruz es un municipio que se encuentra en la parte central del estado sobre la Sierra Madre Oriental, a treinta minutos de Huatusco, su clima es semi-cálido con una temperatura promedio de 26°C, (INEGI, 2019)

Al estar tan cerca y al tener climas similares, los mosquitos *Aedes Aegypti* pueden propagarse a los municipios colindantes, entre ellos, Zentla.

Esta situación debe ser tomada en cuenta, debido a las características particularmente agresivas que tienen los mosquitos al evolucionar, demanda un gran esfuerzo para su control y acciones para su protección, tanto en Huatusco, como en sus alrededores.

Hipótesis a comprobar

La creación de un suavizante de telas, que logre tener un efecto repelente de los mosquitos *Aedes aegypti* a partir de un activo natural, es una gran solución para tratar la problemática en la región de la zona estudiada.

La metodología y el proceso de fabricación del producto, es amigable con el medio ambiente, su base es un árbol, y contiene también recursos que no son escasos, ni tiene un alto costo.

La pregunta central, es: ¿Se puede lograr un buen resultado con el árbol *Azadirachta indica*? A base del árbol Neem, se han creado muchos productos, que han resultado un éxito, incluyendo el aceite esencial, que mantiene sus propiedades, beneficiando así, a los consumidores, es por ello que el nuevo uso que se le da, traerá consigo una solución a al problema central que afecta y podría afectar a la población de Huatusco, Zentla y sus alrededores.

Marco teórico

El árbol Neem (*Azadirachta indica*, del persa “Azad-Darakth” que significa “árbol libre”) es un árbol milenario, con gran importancia por los descubrimientos en sus grandes propiedades, conocido con otros nombres como Nim, nimbo, Lila india o Margosa, posee más de 2000 investigaciones y 50 patentes. Es originario de la India y de Birmania, forma parte de la familia *Meliaceae*, género *Azadirachta* y especie *Azadirachta indica*, su componente o principio activo más importante, como insecticida, es la azadirachtina. (Pineda, 2020)

La eficacia terapéutica del Neem y la utilización industrial de su aceite en la fabricación de jabones y otros productos empezó a investigarse a fondo durante la II Guerra Mundial. Más tarde, en 1963, CR Mitra, con los auspicios del Instituto Tecnológico del Aceite en la India, publicó un libro que contenía toda la información existente en la época sobre la obtención del aceite de Neem, su composición química y su utilización farmacológica e industrial. En la década siguiente, gracias a los esfuerzos de la Neem Mission y de otros organismos, el jabón de Neem empezó a entrar con fuerza en los hogares, en la industria farmacéutica y agrícola, para fertilizar los cultivos y para incrementar la eficiencia de los abonos nitrogenados. (Sagrera, 2004)

Tabla 1. Principales componentes activos del neem

Componente	Acciones
Asubactina	Repelente, antiparasitario y antifúngico de insectos plagas y antiprotocista (contra <i>Trypanosoma cruzi</i> , agente de la enfermedad de Chagas, y probablemente contra <i>T. parvum</i> y <i>T. brucei</i>)
Compuestos triterpénicos de la corteza (ácido gálico, 1,6-galactogalactina, 1,6-galactogalactina y 1,6-galactogalactina)	Antidiarreico y inmunomodulador
Colicina	Vasodilatadora, anestésica (por acción sobre la clonazepam) y antihistamínica
Máximoquina	Antimicrobiana
Mangosín, ácido	Desinfectante de infecciones cutáneas y antifúngico
Neemolol	Repelente de insectos plagas
Nemolol	Antimicrobiana
Nemolol	Antibacteriana, antifúngica, analgésica, anestésica, antidiarreico, antihistamínica, antiparasitaria y para el tratamiento de la psoriasis
Nemolol	Antidiarreico
Nemolol de sodio	Antidiarreico y anestésico
Nemolol	Antidiarreico, antiparasitario y antipéptico
Nemolol	Antidiarreico, antiparasitario, antihistamínica y antihistamínica
Nemolol de sodio	Durante, espermicida y antihistamínica
Nemolol	Antidiarreico
Nemolol	Antidiarreico
Nemolol	Antidiarreico (eficacia de <i>Microsorum falcatum</i>)
Policarboxilato de la corteza	Antimicrobiana, inmunomoduladora y antidiarreico
Quercetina	Antiprotocista (contra <i>Trypanosoma</i>), antihistamínica
Salmolol	Repelente de insectos plagas

Ilustración 1 Componentes activos

En cuanto al aceite esencial del árbol Neem, que es extraído de sus semillas, tiene un color marrón y un olor contundente que puede ser incluso algo desagradable. El aceite de Neem se aplica de forma externa, para uso interno, se puede tomar el extracto o tintura, o en infusión de sus hojas y flores. Este aceite tiene acción bactericida, antihistamínica, analgésico, vasodilatadora, vermífuga, espermicida, febrífuga, antiinflamatoria, hidratante, inmunoestimulante, antifúngica, antivírica y repelente. (Sagrera, 2004)

Materiales y métodos

Dado que el estudio central de la investigación es analizar las capacidades del aceite esencial del árbol Neem, en un suavizante de telas, se recurrió a un diseño experimental que se aplica de manera longitudinal, considerando los antecedentes, la información que se tiene y algunas pruebas con la sustancia resultante. En la siguiente tabla, se exponen cada una de las características, técnicas, instrumentos necesarios, materiales, junto con el proceso de análisis de datos. Se recurrió a un diseño experimental para su análisis.

De acuerdo con:	Esquema de investigación:	Descripción:	Aplicación en la investigación:
La finalidad de la investigación	Aplicada	El propósito de la investigación, es observar los problemas que afectan a la comunidad, sin intervenir en su desarrollo.	Se tomará en cuenta una problemática central de la comunidad, como lo es el mosquito del dengue, Zika y chikungunya, se optará por una solución resiliente, a partir del aceite esencial del árbol de Neem.
El enfoque de la investigación	Mixto	Es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en una misma investigación, también puede ser sistemático, empíricos y críticos.	Se implementó el aceite esencial de Neem, de la marca NEEM ERFRE 100% puro sin diluir. Los instrumentos que se utilizaron, fueron pruebas basadas en el tratamiento, para luego, obtener datos e interpretación, por medio de técnicas cuantitativas

Fuentes de información	De campo y documental	De campo: se apoya de información que proviene de entrevistas, y observaciones. Documental: se apoya de documentos en cualquier especie como la consulta de libros, artículos, ensayos, periódicos y archivos	Para llevar a cabo la investigación, se buscaron antecedentes, aplicaciones del árbol Neem, y formas de obtención de aceites esenciales, procesos de elaboración de suavizantes. Además de utilizar trabajo de campo y observaciones en el ambiente.
Lugar donde el estudio de campo es llevado a cabo:	"In situ"	Se utiliza para designar un fenómeno observado, una manipulación, etc. en el lugar estudiado	Huatusco, Veracruz
Diseño:	Experimental	Estudios donde se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable.	Se analizó la problemática de la región, respecto a los mosquitos y se planteó solución: suavizante de telas con efecto repelente, con los siguientes materiales: Una pasta suave, como base del suavizante de telas: <ul style="list-style-type: none">  Glicerina  Alcohol isopropílico  Conservador  Fijador  Aceite de coco  Dimeticona  Fragancia. Para las pruebas, se implementó el uso de ovitrampas: <ul style="list-style-type: none">  Botella de refresco  Tijeras  Pintura acrílica negra  Aro de PVC 4 pulgadas Químico atrayente para vector <ul style="list-style-type: none">  Exacto para corte  Silicón
Alcance de la investigación:	Correlacional	Identificar relación entre dos o más variables, estableciendo hipótesis, variable y vinculación entre variables; probando o no la hipótesis.	Se define el problema y los objetivos planteados en base a los resultados encontrados, de acuerdo a: las ovitrampas, y el suavizante. Por medio de un producto sostenible, se resolverá el problema central.

Para la elaboración del suavizante, se utilizó una infusión de agua salada (como modelo sustituto del agua de mar) con hojas y semillas de Neem, la pasta y gotas del aceite esencial de Neem, y la fragancia



Ilustración 1. Planificación.



Ilustración 2. Extracción de aceite



Ilustración 5. Mezcla final



Ilustración 3. Materiales



Ilustración 4. Creación del Suavisante



Ilustración 5. Materiales de experimentación



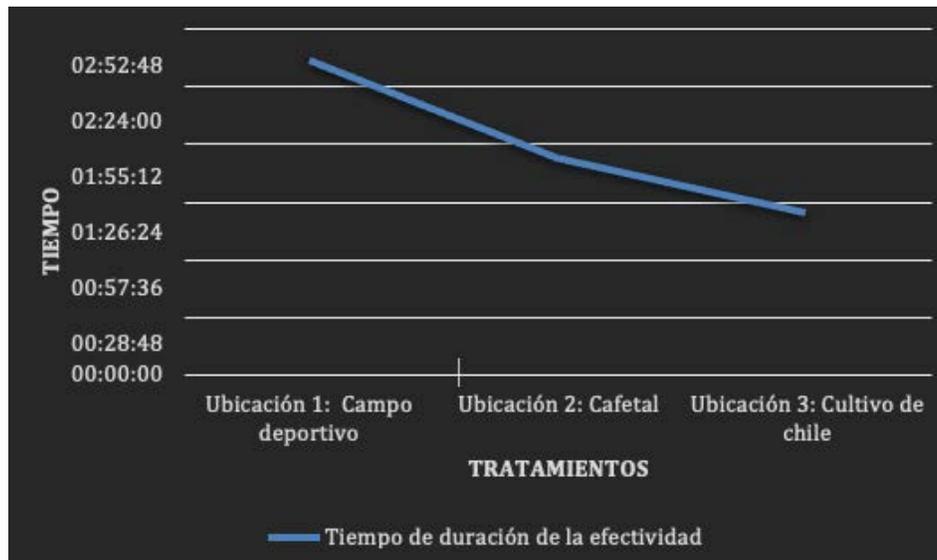
Ilustración 7. Pruebas de campo

La experimentación se realizó con tres tratamientos de cinco repeticiones cada uno, teniendo en total 15 unidades experimentales, realizándose in situ, en el municipio de Zentla a 30 minutos de Huatusco, ya que es el clima predominante en esta área de influencia fue más húmedo que Huatusco, además de que se contempló como posible lugar vulnerable con presencia de insectos y mosquitos del género *Aedes aegypti*, para una mejor evaluación. Como tratamientos, se tomaron en cuenta tres ubicaciones diferentes de la región, para exponer el suavizante a diferentes contextos, en los que se usaron cinco prendas de algodón con el suavizante de telas Nain Tech y se implementaron ovitrampas para atraer a los mosquitos, teniendo como parámetro de investigación, el tiempo de efecto en el suavizante.

Resuyltados y discusión

La siguiente tabla muestra los resultados observados en las pruebas:

Ubicaciones (Tratamientos)	Tiempo de duración de la efectividad (hrs.)	Tiempo total de observación(hrs.)
Ubicación 1: Campo deportivo	2:37:13	3:00:00
Ubicación 2: Cafetal	1:48:00	2:00:00
Ubicación 3: Cultivo de chile	1:20:34	3:00:00



Gráfica1 resultados obtenidos

El tiempo promedio del efecto repelente del suavizante de telas fue el siguiente:

115.15 minutos

Al analizar los resultados, se encontró que, durante el tiempo de observación no existió contacto con algún mosquito en las prendas con el suavizante, es decir, que las ovitrampas funcionaron correctamente y algunos de los mosquitos si quedaron atrapados dentro de las ovitrampas, pero no se acercaron a las prendas, en los tiempos definidos anteriormente en la tabla.

Los resultados indican que el suavizante de telas Nain Tech, posee capacidades repelentes, el aceite de Neem conserva cualidades del árbol que junto con la infusión de las hojas del árbol Neem, potencializan los beneficios.

Cabe mencionar, que se necesitan más investigaciones en distintas zonas para aplicar el suavizante de telas NainTech, que confirmen el efecto del suavizante de telas Nain Tech, ya que la prueba se desarrolló en tres tratamientos distintos con cinco repeticiones, y se recomienda hacer más.

Conclusión

Se obtuvo como una media de 115.15 minutos en el tiempo del efecto repelente del suavizante de telas, de acuerdo a las pruebas realizadas. Se creó un suavizante de telas a base del aceite esencial del árbol Neem capaz de repeler mosquitos. Se obtuvo un nuevo producto con el aceite esencial de Neem, y se cumplen dos objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas:

-  Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
-  Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible.

Referencias

- Ecoagricultor. (Febrero de 2020). Aceite del árbol Neem. Recuperado el Agosto de 2020, de <https://www.ecoagricultor.com/aceite-neem-nim-propiedades-usos-medicinales/>
- INEGI. (21 de Junio de 2019). Sistema de información municipal. Recuperado el Agosto de 2020, de http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2019/06/Huatusco_2019.pdf
- McGrath, L. C. (Abril de 2019). BCC News / Mundo. Recuperado el Agosto de 2020, de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_salud_enfermedades_mosquitos_gtg#:~:text=La%20mitad%20de%20la%20poblaci%C3%B3n,ende%20est%C3%A1%20presente%20en%20Brasil.
- OMS. (Junio de 2020). Dengue. Recuperado el agosto de 2020, de <https://www.who.int/topics/dengue/es/>
- Pineda, J. (2020). Encolombia. Recuperado el Agosto de 2020, de <https://encolombia.com/salud-estetica/medicina-alternativa/caseros/neem-propiedades-y-beneficios/#:~:text=Este%20%C3%A1rbol%20maravilla%20posee%20cantidades,como%20un%20gran%20purgativo%2C%20tratamiento>
- Rodríguez, R. (2004). Significados . Recuperado el Diciembre de 2020, de [https://www.significados.com/troquelado/#:~:text=Troquelado%20tambi%C3%A9n%20designa%20el%20proceso,car%C3%B3n%2C%20papel%2C%20etc.\)&text=El%20troquelado%20es%20el%20resultado,l%C3%A1mina%20con%20una%20forma%20determinada.](https://www.significados.com/troquelado/#:~:text=Troquelado%20tambi%C3%A9n%20designa%20el%20proceso,car%C3%B3n%2C%20papel%2C%20etc.)&text=El%20troquelado%20es%20el%20resultado,l%C3%A1mina%20con%20una%20forma%20determinada.) Sagrera, J. E. (2004). El Neem. *Offarm*, 11-175.
- Salud, S. d. (Junio de 2019). Panorama del Dengue en México. Recuperado el agosto de 2020, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/524262/Pano_dengue_52_2019.pdf

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA TOMA DE DECISIONES EN EL ÁMBITO DEPORTIVO

KATYA GUADALUPE OLAN REYES¹, EUTIMIO SOSA SILVA², MIGUEL PÉREZ VASCONCELOS³,
FIDELIO CASTILLO ROMERO⁴, ROSA GÓMEZ DOMÍNGUEZ⁵

Resumen

Los desarrolladores han orientado sus diseños al ámbito deportivo, describiendo las tecnologías incorporadas y enfoques con los que se le han dado uso para realizar actividades por medio de diferentes herramientas de hardware y software. El uso de nuevas herramientas y la optimización de las mismas, además de la incorporación de herramientas open-source, ayudan a la agilización de tareas y recopilación de datos, para posteriormente analizar la información con un propósito en específico, ayudando a los participantes correspondientes de los eventos deportivos a llevar a cabo decisiones estratégicas y fundamentadas.

Palabras clave: Deporte, Hardware, Sistemas de información, Software, Tecnología.

Abstract

The developers have oriented their designs to the sports field, describing the incorporated technologies and approaches with which they have been used to carry out activities through different hardware and software tools. The use of new tools and their optimization, in addition to the incorporation of open-source tools, help streamline tasks and data collection, to later analyze the information with a specific purpose, helping the corresponding participants of sporting events to carry out strategic and informed decisions.

Keywords: Sport, Hardware, Information Systems, Software, Technology

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, (ITVH), Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86010. kattyolan95@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, (ITVH), Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86010

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, (ITVH), Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86010

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, (ITVH), Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86010

⁵ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, (ITVH), Carretera Villahermosa - Frontera Km. 3.5 Ciudad Industrial Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86010

Introducción

Las disciplinas deportivas es una pasión aclamada por sus fieles seguidores, no solo apoyando desde las gradas, sino también creando instrumentos para comprender el curso de juego de estas disciplinas deportivas, dirigido al público en general. Un elemento importante son los reglamentos que en general, son manuales donde se plasman los pormenores de cada disciplina. Estos manuales de reglamentos deportivos se han modificado a lo largo de los años con la finalidad de asegurar que el juego, en cuestión, sea justo y con instrucciones que permitan decidir de forma concreta a el ganador.

El aporte de estos manuales, no son los únicos, los veteranos de deportes han creado organizaciones, grupos, ligas o clubes para llevar a cabo toda la gestión deportiva y brindarle al público fiel, juegos entretenidos y accesibles. Gran parte del personal administrativo han sido jugadores de estas disciplinas deportivas, cuya visión y conocimiento del mismo, es de ayuda para la parte administrativa, dado que cuenta el conocimiento para conocer qué datos requieren recabar para darle el uso necesario.

Por supuesto, para llevar a cabo una buena gestión de estos juegos, se consideran diferentes partes, dado que la gestión no es solo es organizar los juegos sino lugares, tiempo, equipos, personas, entre otros. Una buena organización depende mucho de los instrumentos a utilizar. Y con la llegada de la tecnología, la forma de trabajar de todos estos deportes fue cambiando, realizando tareas rudimentarias de formas más sencillas y rápidas, a diferencia de la forma tradicional manual. Gracias al internet, la información es compartida y accesible para el público en general, por lo que, manuales de reglamentos o de juegos sobre un deporte en específico son fáciles de buscar en la red. La tecnología dio paso a la creación de herramientas con la finalidad de dar solución a las necesidades que se presentaban diariamente se realizaban dentro y fuera del campo de juego, principalmente en la administración de los deportes.

Y es aquí donde el termino sistemas de información hace su aparición, en las ciencias computacionales se consideran como una ayuda para administrar, recolectar, procesar, almacenar y distribuir datos necesarios para los procesos de una organización. Podemos decir, que un sistema de información es un conjunto de datos que interactúan entre sí con un propósito común y su importancia es la de correlacionar efectivamente la gran cantidad de datos ingresados a través del proceso diseñado con el fin de brindar información efectiva para la toma decisiones.

Materiales y métodos

Marco teórico

LAS PRIMERAS HERRAMIENTAS DE TRABAJO

En sus inicios, la forma de recabar la información de cada juego, era mediante el uso del lápiz y papel, en donde toda esta información se registraba para determinar al ganador de un partido. Posteriormente, la información recabada era procesada para llevar a cabo análisis estadísticos más detallados de los participantes (sea por jugadores individuales o por equipo) en el transcurso de una temporada de juegos hasta el final de la misma.

Fue así como las hojas de anotaciones fueron incorporadas a todas las reglas y controles de juego en una sola hoja para su manejo, proporcionando la base para registrar los logros de los individuales y por equipo en una tabla de posiciones al mando de una persona encargada. Estas hojas lograban mostrar una imagen más vívida sobre la forma de juego en cada deporte, lo que facilita su lectura al momento de recabar la información registrada.

El uso de tableros de puntuación fue un complemento a las hojas de anotación, en los cuales el público podría visualizar la puntuación de cada equipo durante el transcurso de un juego. Estos tableros se dividían en secciones numéricas que iban desde el 0 al 9, en donde se marcaba una puntuación para para cada equipo. En un inicio los tableros fueron realizados de materiales, tales como; madera, plástico, hasta pizarrones de tiza. Poco a poco estos tableros fueron automatizándose electrónicamente en donde se agregaron más datos en específicos y relevantes, para mantener informado a sus espectadores de sucesos ocurridos durante un juego.

TECNOLOGÍA APLICADA AL SECTOR DEPORTIVO

La tecnología en las disciplinas deportivas fue incorporándose con el desarrollo de nuevas ideas a lo largo del tiempo. La prensa escrita permitió conocer los resultados de un evento, aunque sus sucesos ocurrieron en el otro extremo del mundo. La radio permitió escuchar la narración de los acontecimientos de un partido en directo. Finalmente, la televisión facilita presenciar en tiempo real, los principales eventos deportivos, además de que permitió que estos fueran grabados primero en video casete, luego en discos ópticos de DVD. Los computadores permitieron gestionar la documentación de los sucesos de los partidos por medio de diferentes softwares administrativos, para almacenar información, realizar cálculos y documentos oficiales. Incluir un chip en las pelotas para capturar la información de movimiento durante un juego, la distancia recorrida, la fuerza de golpe del jugador, los efectos de cada movimiento.

Cada día se intentan perfeccionar la forma de implementación de la tecnología en el ámbito deportivo, para mejorar muchos aspectos del mismo. En especial, para mejorar la calidad deportiva, la precisión del registro de marca y la medición de

resultados que se recaban; con los cuales se mide la efectividad individual y grupal, y se utilizan para realizar predicciones para futuros juegos o como retroalimentación para mejorar el rendimiento de los equipos, la capacidad de recuperación después de una lesión, la resistencia o desgaste de los materiales deportivos, etc. [1]



Figura 1. Tecnología en el deporte

En las últimas dos décadas, se han desarrollado herramientas tecnológicas que resuelven las necesidades de los deportes de alto rendimiento, con el objetivo de obtener ventaja sobre el oponente en la competencia, brindar información útil para monitorear y controlar la carga de información. De los avances tecnológicos que han surgido con el fin de beneficiar el campo del deporte podemos hacer mención de los siguientes:

-Video-arbitraje (VAR).

Es posible la toma de decisiones más eficaces y precisas por medio de sistemas de cámaras superlentas, circuito de videos cerrados o el video-arbitraje (VAR). Este es un apoyo para el árbitro de un partido, con el cual puede determinar el curso del juego con una simple decisión. La visión humana no es perfecta e infalible y los detalles del juego pueden perderse a causa de la más mínima distracción, por lo cual decisiones erróneas pueden llevarse a cabo cuando solo se tiene como sustento lo que logro captar el ojo del árbitro en su momento. El video-arbitraje captura en video el transcurso de un partido en el campo de juego, desde diferentes ángulos y si el árbitro (o el asistente de video, quien informa de algún detalle al árbitro) detecta que se han incumplido las normas del partido o se solicita la revisión de una jugada para tomar una decisión solida sin cuestionar su veracidad.[3]

-Retroalimentación biométrica.

La retroalimentación biométrica en el deporte se ha enfocado en el sector de la salud de los deportistas, monitoreando el estado de salud en tiempo real, con los cuales evitan problemas derivados por sobreesfuerzos en el campo de juego durante un entrenamiento o partido. Existe una amplia variedad de dispositivos portátiles y fáciles de utilizar, sin causar molestias ni obstruir la rutina de los jugadores, que permiten recopilar los datos biométricos de los

jugadores. Recopilando un sinfín de datos, como: medidas antropométricas (peso, altura), fisiología (frecuencia cardíaca, fuerza, potencia, velocidad, sueño, variabilidad de la frecuencia cardíaca), biomecánica (aceleración, salto, caída), psicología (ansiedad, vitalidad, fatiga) y comportamiento (dieta, actividad física), etc. [6] Al analizar la frecuencia cardíaca y respiratoria, partes fundamentales para determinar lo que sucede en el cuerpo de un deportista, también se establece el nivel de competitividad y los resultados esperados que se pueden obtener en competencia. Asegurando la mejor condición física de los jugadores al regresar al campo de juego en un estado más óptimo. [1]

-Termografía.

Esta otra tecnología se ha enfocado hacia la condición física de los deportistas, la termografía se utiliza para la protección y seguridad de los jugadores, previniendo todo tipo de lesiones al poder ser detectado con tiempo. La termografía infrarroja permite la visualización de calor irradiado en el cuerpo humano, por medio de un equipo especializado, logrando evaluar las respuestas fisiológicas de los usuarios por medio de la temperatura de la piel e identificado problemas en su condición física ligados a tipos de dolores musculares, intervenciones cardíacas, deficiencias vasculares, etc. Detectando estos problemas, que pueden tardar de diagnosticar, se llevan a cabo las decisiones necesarias para evitar lesiones o problemas de la salud en los deportistas. Por medio de esta técnica empleada, se obtiene información sobre el estado de la deportista actualizada, evitar lesiones y se planifican entrenamientos o rehabilitaciones personalizadas para los deportistas que, sufrieron lesiones imposibles de prevenir. El factor humano siempre será una variable casi imposible de predecir en cualquier sistema. [7]

La tecnología también, ha permitido que el número de aficionados al deporte se múltiple, al permitir que los eventos deportivos se puedan compartir mediante medios audio-visuales o por artículos accesibles al público en cualquier parte del mundo por medio de internet. De igual forma, las redes sociales nos permiten seguir una competencia de segundo a segundo, ya sea en formato escrito, de vídeo o de audio.

HERRAMIENTAS ENFOCADAS A LA ORGANIZACIÓN DEPORTIVA.

El software de gestión cuenta con todas las características necesarias para llevar a cabo una administración deportiva. El uso de estas herramientas nos brinda una optimización al máximo, administrando todos los factores necesarios para la organización de los eventos deportivos, aprovechando todos los recursos que

cuentan las organizaciones, reduciendo el trabajo administrativo y hasta reduciendo costos con una organización bien planificada.

La gestión del deporte en la parte administrativa, es de gran importancia, es mediante esta que se llevan a cabo exitosamente los eventos deportivos. Organizando los horarios, lugares, participantes, gastos y otros recursos necesarios a utilizar para los acontecimientos deportivos puedan llevarse a cabo sin altercados.



Figura 2. Gestión administrativa

Existen varios gestores administrativos en el sector deportivo, algunos que en lo personal recomiendo para su uso, por los beneficios que brinda a las organizaciones, grupos o clubes.

-El software de gestión Playtomic, optimiza los horarios y organización de eventos, permitiendo hasta completar más de 40 horas diarias con eventos deportivos organizados. Este sistema ofrece a sus clientes una regulación eficaz deportiva, incrementar ingresos con la máxima ocupación de las instalaciones. Este sistema de gestión ha sido desarrollado con la experiencia de exjugadores, entrenadores y dueños de organizaciones para ofrecer la mejor guía sobre cómo se debe organizar los eventos deportivos.[4]

-Clupik, es otro sistema que recomiendo, este sistema de gestión centraliza el manejo de herramientas y comunicaciones entre todos los miembros, se puede utilizar desde diferentes dispositivos web o móvil. La base de datos es actualizada en todo momento, dado que los usuarios trabajan sobre la misma herramienta sin problemas de accesibilidad. También permite la realización de envío de notificaciones.[8]

-Otra una herramienta que está concebida para centros deportivos es Gestclub. Facilita el manejo de control de horarios de acceso, frecuencias e ingresos, además de hacer un estudio demográfico. Por otra parte, este sistema de gestión proporciona la posibilidad de facturar, controlar la contabilidad y remesas bancarias. Muy pocos sistemas de gestión te permiten el control del estado de tu negocio, por lo que GestClub, es una

buena opción para aquellos clubes deportivos que necesiten mantener una regulación financiera. [9]

-El sistema de gestión GPA Sport no solo permite llevar la administración deportiva de las actividades y estadísticas, tiene un control de acceso de las instalaciones y sistemas de identificación para el personal gracias a un carnet virtual en lector de código QR. Además, cuenta con un control de taquilla, en el cual se gestionan los tickets por ventas de operador, ventas al contado y control de stocks. Es una gran herramienta integral para la gestión de centros deportivos. [2]

Los sistemas de gestión deportiva ofrecen una solución específica para entidades deportivas, adaptándose al entorno de trabajo de cada organización, disminuyendo la carga de trabajo y organizando de una forma más estandarizada la forma de trabajar.

Conclusión

La tecnología ha impactado de manera importante el deporte en todos los sentidos, brindando grandes beneficios para todos los participantes, por medio de aplicaciones enfocados en diferentes áreas del deporte, con la ayuda de herramientas de software y hardware. Los beneficios que ofrece han hecho que las actividades administrativas a realizar sean fáciles y rápidas de realizar. Con la implementación de cámaras lentas o VAR es posible llevar a cabo decisiones con evidencia más precisas e incuestionable en el campo de juego. Al igual que el seguimiento de condición física permitió la toma de las mejores decisiones sobre la planeación de entrenamientos para los jugadores.

Estas tecnologías han permitido obtener resultados con un fin en específico, debido a lo cual, la implementación de los sistemas de información es una estrategia de gran aporte en el sector deportivo al momento de tomar decisiones.

Referencias

- Portafolio. (24 de julio de 2018). www.portafolio.co/. Obtenido de El rol de la ciencia, la tecnología y la innovación en el deporte: www.portafolio.co/innovacion/el-rol-de-la-ciencia-la-tecnologia-y-la-en-el-deporte-519376
- GPASport |. (2021). Gpasport.com. Obtenido de GPASport: <https://gpasport.com/>
- FIFA. (2018). football-technology.fifa.com/. Obtenido de Tecnología Del Fútbol: <https://football-technology.fifa.com/es/media-tiles/video-assistant-referee-var/>
- Playtomic. (29 de marzo de 2021). Playtomic.com. Obtenido de Home B2B: playtomic.com/b2b/
- EVO (2019). W12latam.com. Obtenido de Sistema de gestión para gimnasios, estudios y boxes: https://w12latam.com/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=search-google&gclid=Cj0KCQjwppSEBhCGARIsANIs4p4WPq4fQeJEfmqQS4wg3_d-42scbMVZ9HYmN0_h339_mX4sAuPrunAaArGJEALw_wcB
- Moncada Jiménez, J., Salicetti Fonseca, A., Carazo Vargas, P., & Morera Siércovich, P. L. (2020). Obtenida de La recolección, utilización y almacenamiento de datos biométricos sensibles en deportistas: insumos para la carrera de Educación Física: <https://doi.org/10.15517/revedu.v45i1.41607>
- Marins, J. C. B.; Fernández-Cuevas, I.; Arnaiz-Lastras, J.; Fernandes, A. A.; Sillero-Quintana, M. (2015). Obtenido de Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/669154>
- Clupik. (19 de mayo de 2021). Obtenido de Herramienta de gestión de clubes: <https://clupik.com/>
- TD Sistemas. (2021). Obtenido de GESTCLUB. <https://softwaregestiondeportiva.com/>

HELMINTOS PARÁSITOS BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN PLAYAS DE LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO

MAGNOLIA SALCEDO GARDUÑO¹, CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ², ITZEL GALAVIZ VILLA³,
MARÍA CASTAÑEDA CHÁVEZ⁴

Resumen

Las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río cuentan con un amplio litoral costero, que hace posible que los asentamientos humanos disfruten y realicen actividades con los servicios ambientales referentes al uso de las playas por los residentes y turistas; estas actividades generan divisas importantes y colocan a la zona Conurbada en constante desarrollo económico. Sin embargo, el inadecuado manejo de heces fecales de animales y actividades antropogénicas, ponen en riesgo de parasitación y contaminación del ambiente. El objetivo de este estudio fue evaluar la presencia de helmintos en arenas de playas turísticas en la zona Conurbada Veracruz- Boca del Río como indicador del grado de contaminación fecal. El estudio se realizó durante la temporada de lluvias y se analizaron 40 muestras de arena de seis playas. El grado de contaminación se determinó con base a la escala Vizcaya (2013). El análisis helmintológico de las muestras se realizó con las técnicas floración de Willis y sedimentación en copa. Así mismo se caracterizaron las playas de acuerdo a las actividades antropogénicas. El 30% de las muestras de arena presentaron positividad a helmintos, se identificaron larvas de *Ancylostoma* y huevos de helmintos Anquilostomídeos patógenos para el hombre. Se determinaron grados bajos y medios de contaminación en cinco playas. Se concluye que existe un riesgo potencial para los usuarios de las playas analizadas de contraer infecciones parasitarias. La presencia y distribución de larvas y helmintos se encuentra influenciado por factores ambientales.

Palabras clave: Arena de playa, Calidad ambiental, Parásitos, Playas turísticas.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. magnoliasalcedo@bdelrio.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Abstract

The beaches of the Veracruz-Boca del Río conurbation area have a wide coastline, which makes it possible for human settlements to enjoy and carry out activities with environmental services related to the use of beaches by residents and tourists; These activities generate important foreign exchange and place the Conurbada zone in constant economic development. However, the inadequate management of animal faeces and anthropogenic activities, put at risk of parasitization and contamination of the environment. The objective of this study was to evaluate the presence of helminths in the sands of tourist beaches in the Veracruz-Boca del Río metropolitan area as an indicator of the degree of fecal contamination. The study was carried out during the rainy season and 40 sand samples from six beaches were analyzed. The degree of contamination was determined based on the Vizcaya scale (2013). The helminthological analysis of the samples was carried out with the Willis flowering and cup sedimentation techniques. Likewise, the beaches were characterized according to anthropogenic activities. 30% of the sand samples were positive for helminths, *Ancylostoma* larvae and eggs of Ankylostomid helminths pathogenic for man were identified. Low and medium degrees of contamination were determined on five beaches. It is concluded that there is a potential risk for the users of the analyzed beaches of contracting parasitic infections. The presence and distribution of larvae and helminths is influenced by environmental factors.

Keywords: Beach sand, Environmental quality, Parasites, Tourist beaches.

Introducción

Los geohelminthos son helmintos parásitos presentes en el suelo principalmente en lugares del trópico y subtrópico. La presencia de estos parásitos de importancia zoonótica indica contaminación fecal y el riesgo de transmisión parasitaria. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades de importancia zoonóticas parasitarias aumentan en personas que asisten a lugares recreativos como playas, balnearios, plazas públicas y centros recreativos, la población más vulnerable son los niños y turistas (Luzio et al., 2017).

Diversos estudios han registrado la presencia y prevalencia de parásitos que parasitan a los caninos en heces y suelos de lugares públicos, los más reportados son el *Toxocara canis* y el *Ancylostoma* (Rocha et al., 2011; Guerrero-De Abreu et al., 2020). La contaminación de suelos por heces fecales de caninos, suelen ser un problema importante de salud pública, sin embargo, estudios específicos sobre la contaminación del ambiente por geohelminthos en suelos de playas costeras han sido escasos; a pesar de resultar un problema a la salud mundial (Rocha et al., 2011).

Para Manjarrez et al. (2019), las playas son centros de recreación turística, pero además contienen gran cantidad de biomasa microscópica con diferentes especies. Existen diversos agentes patógenos infecciosos presentes en la arena de las playas, con altas probabilidades de contagio por el contacto directo y malos hábitos de higiene de los usuarios y residentes. “Los monitoreos que generalmente se realizan en playas turísticas, incluyen como indicadores de calidad sanitaria a coliformes totales, coliformes fecales y en algunos casos a enterococos, excluyendo la búsqueda de parásitos como parte de los parámetros que definen el estado sanitario de las playas”.

La presencia de geohelminetos en playas es una oportunidad con potencial para realizar investigaciones, que permitan correlacionar la presencia de estos parásitos con la calidad ambiental sanitaria de las playas e identificar el riesgo que constituye para los usuarios (Manjarrez et al. 2019). Por tanto, este estudio tiene como objetivo evaluar la presencia de helmintos en arenas de playas turísticas en la zona Conurbada Veracruz- Boca del Río como un indicador del grado de contaminación fecal, así como caracterizar los sitios de estudio con base a las actividades antropogénicas.

Materiales y Métodos

Selección y descripción del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en las playas de la zona Conurbada Veracruz- Boca del Río, la cual se encuentra ubicada en la región Sotavento de Veracruz entre los paralelos 19° 03' y 19° 16' de latitud norte y los meridianos 96° 06' y 96° 21' de longitud oeste. El clima que prevalece en esta zona es de tipo cálido subhúmedo o semihúmedo con lluvias en verano. La temperatura en promedio anual es de 23.3 °C con una máxima de 28.8 °C y una mínima aproximada de 17.8°C, con rango de precipitaciones anual entre 1548.6 mm de acuerdo al hidrograma de CONAGUA 2020.

Selección de los sitios de muestreo

Se realizó un recorrido por las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río y se identificaron los sitios propuestos para la toma de muestras de arena. Los criterios de selección de los sitios de muestreo fueron: playas turísticas con mayor frecuencia de visitantes locales y turistas nacionales e internacionales, presencia de drenajes pluviales, afluencia de mascotas y presencia de heces fecales. Se seleccionaron seis playas en las que se ubicaron diferentes sitios de muestreo, localizados de norte a sur: la playas Villa del Mar, Martí, La Bamba, Pelicanos, Los Arcos, y Vicente Fox Quesada; en las cuales se re diferentes actividades antropogénicas (Cuadro 1 y Figura 1).

Recolección y conservación de muestras

Se realizó un muestreo mensual (julio y agosto del 2021), considerando la temporada de lluvias. En cada sitio se colectó dos muestras (A y B) que corresponden por área seca y húmeda. En total se colectaron 20 muestras de arena por muestreo

Cuadro 1. Sitios de muestreo en seis playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río y actividades antropogénicas registradas en las zonas.

Clave del sitio	Coordenadas		Ubicación	Actividades antropogénicas
	Longitud (N)	Longitud (W)		
PV-1A PV-1B	19.182377	-96.123676	Playa Villa del Mar	Restaurantes, palapas, hoteles, balnearios, comercios, hoteles, desagüe de aguas pluviales con basura, presencia de bañistas.
PM-1A PM-1B	19.174026	-96.119789	Playa Martí	Comercios, restaurantes, hoteles, áreas recreativas para descansar y hacer ejercicio, zonas deportivas
PB-1A PB-1B	19.164361	-96.105069	Playa la Bamba	Hoteles, hospital, palapas, restaurantes, bares y comercios, desagües pluviales, presencia de bañistas y mascotas
PP-1A PP-1B	19.14813	-96.094457	Playa Pelicano	Plazas comerciales, edificios, condominios y departamentos, hoteles y comercios ambulantes. baños públicos cerca de la playa, desagües pluviales y aguas residuales, presencia de abundantes usuarios y mascotas
PP-2A PP-2B	19.147828	-96.094786		
PA-1A PA-1B	19.122143	-96.105161	Playa Arcos	Hoteles, restaurantes, plazas comerciales y comercios, condominios, desagües pluviales, asentamiento de indigentes, paseos de mascotas
PA-2A PA-2B	19.125026	-96.105384		
PA-3A PA-3B	19.12634	-96.105489		
PF-1A PF-1B	19.109509	-96.101464	Playa Vicente Fox	Centros recreativos, descargas de aguas pluviales, palapas, restaurantes, comercios, residencias, condominios y paseos de mascotas
PF-2A PF-2B	19.106571	-96.099839		

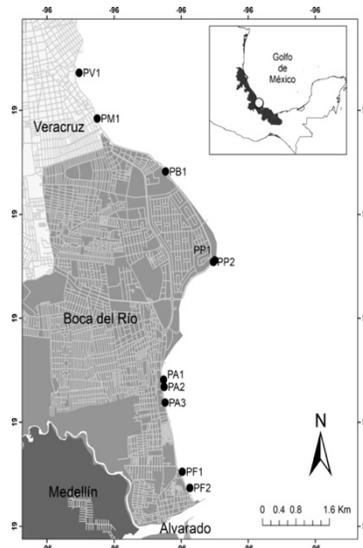


Figura 1. Sitios de muestreo de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

En las playas más extensas se ampliaron los puntos de muestreo aproximadamente cada 250 m de distancia. Los muestreos se realizaron por la mañana entre las 6:00 am y 08:30 am, se tomó *in situ* la temperatura y pH con el medidor para suelos marca Oem, se determinó el porcentaje de humedad en las muestras de arena. Además, se registró la presencia de derrames de aguas pluviales, bañistas, mascotas, heces fecales y basura en hojas de registro marcando la presencia o ausencia de éstos.

Se colectaron 500 g de arena húmeda y seca, a la orilla del mar y a 14 m aproximadamente de la misma, respectivamente. Se utilizó un tubo de PVC de 10 cm de diámetro, el cual fue sumergido en la arena a 15 cm de profundidad, y con una pala de plástico se procedió a recolectar la muestra. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas herméticas para su transporte y análisis en el laboratorio en un tiempo no mayor a 72 horas posterior a su colecta (Guerrero de Abreu et al., 2015).

Procesamiento y análisis de muestras de arena

El análisis de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación y Recursos Acuáticos del Instituto Tecnológico de Boca del Río. Se pesaron 250 g de muestra, la cual se secó a 40 °C en una estufa y fue tamizada (250 micras), para eliminar basura y partículas de mayor tamaño. Posteriormente, se pesaron 50 y 20 g de cada una, para su análisis por el método de sedimentación espontánea en copa y técnica de flotación de Willis, de acuerdo a lo descrito en Guerrero et al. (2014, 2015). El método de sedimentación se realizó empleando 50 g de muestra usando la técnica de lavado con solución salina al 0.85% y una solución detergente Tween al 0.1% para despegar los huevos de los granos de arena. Posteriormente, las muestras se dejaron sedimentar en copas cónicas, y 24 h después se colocaron porciones de sedimento en cajas petri para ser observadas al microscopio (4X y 10X) marca Velab, para identificar cualquier estructura parasitaria. La técnica de flotación consistió en colocar 20 g de muestras en recipientes de boca ancha y se le agregó solución saturada de MgSO₄ hasta poner en contacto el líquido con una lámina portaobjeto. Finalmente se invirtió el portaobjeto y se cubrió con un cubreobjeto para observar en microscopio óptico a 10X, 40X y 100X en búsqueda de huevos de helmintos (Cassenote et al., 2011). Ambas técnicas se hicieron por duplicado.

Obtención y procesamiento de materia fecal canina en playas

Se tomaron muestras de material fecal canina encontradas en los sitios y cercanos a estos durante los muestreos. Para colectar la muestra se utilizó una bolsa de polietileno y una pala para recolectar la arena encontrada debajo de las heces. Ambas muestras se resguardaron individualmente en bolsas de polietileno

herméticas, se transportaron en una hielera al laboratorio para ser analizadas en las primeras 72 horas (Pedroza et al., 2017). Cada muestra de material fecal se procesó mediante la técnica de flotación de Willis con solución saturada de sulfato de magnesio (MgSO₄) y se observó con un microscopio óptico Velab (10X, 40X y 100X). Las muestras de arena fueron analizadas por la técnica de sedimentación descrita previamente.

Elaboración de registros

Se registraron los datos obtenidos de temperatura, pH y humedad de las muestras de arena en una plantilla en Microsoft office Excel®. Las estructuras parasitarias observadas en las muestras fueron fotografiadas y medidas en el microscopio para su posterior identificación con base en imágenes de otros estudios.

Análisis de datos

Los datos fueron analizados según la humedad relativa de la arena (mojada: a la orilla del mar; seca: aproximadamente 14 m de la orilla), positividad o no para parásitos, forma evolutiva y género de los parásitos identificados, sitio de muestreo y temporada del año. La contaminación del suelo (Cuadro 2) se consideró bajo el criterio de presencia de cualquier forma parasitaria, aunque fuese en baja incidencia. El nivel o grado de contaminación se clasificará de acuerdo con la escala así descrita y modificada por Vizcaya (2013).

Cuadro 2. Escala de análisis del grado de contaminación de playas por presencia de huevos de helmintos modificada por Vizcaya (2013).

Criterios	Nivel o grado de contaminación
a) Ausencia de estructuras parasitarias, de basura, heces o animales caminando en las cercanías	Sin indicios de contaminación =0
b) Presencia de huevos y/o larvas de helmintos, presencia de basura o heces, ausencia de animales transeúntes	Baja contaminación= +
c) c) Presencia de huevos y/o larvas de helmintos, presencia de basura o heces, ausencia de animales transitando.	Contaminación media= ++
d) Presencia de basura, heces humanas o animales, presencia de cachorros en el balneario, además de huevos y larvas de helmintos	Alta contaminación= +++

Se consideró positivo el sitio de muestreo que presentó al menos una muestra de arena con huevos o larvas de helmintos.

Resultados y Discusión

Se analizaron un total de 40 muestras de arena de playa en el período comprendido entre julio y agosto de 2021 (temporada de lluvias), de las que se obtuvo el 30% (12/40) de positividad a estructuras parasitarias; de las cuales el 33.3% (4/12) corresponden a helmintos de vida libre, mientras que el 66.6% (8/12) representó a una especie patógena para el hombre, de los cuales, el 50% resultó positivo para larvas rabditoides de *Ancylostoma* sp. y el 12.5% (1/8) a larva filariforme de *Ancylostoma* sp. y el 37.5% huevos de anquilostomídeos (Cuadro 3) y (Figura 2). Los parásitos Anquilostomídeos son patógenos para el ser humano y su infección por larvas (*A. duodenale* y *Necator americanus*) en los seres humanos ocurre por la penetración de las larvas a través de la piel, un ejemplo de ello, se da al andar descalzo en la tierra (Molina, 2017).

Cuadro 3. Presencia de estructuras parasitarias en las playas turísticas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río durante julio y agosto de 2021.

Playas o sitios de muestreo	Número de muestras de arena	Positivas a huevos de helmintos	Positivas a larvas
Técnica de flotación de willis			
Villa del Mar	4	1	1
Martí	4	0	0
La Bamba	4	0	1
Pelicanos	8	4	0
Los Arcos	12	2	2
Vicente Fox Quesada	8	0	1
Total	40	7	5
Técnicas de sedimentación en copa			
Villa del Mar	4	0	0
Martí	4	0	0
La Bamba	4	0	0
Pelicanos	8	3	0
Los Arcos	12	0	0
Vicente Fox Quesada	8	0	1

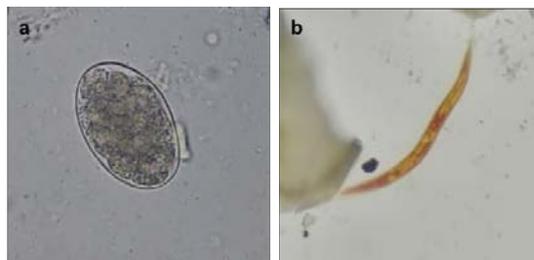


Figura 2. (a) Huevo de Huevo de anquilostomídeos, identificado por la técnica de Willis y (b) Larva filariforme de anquilostomídeos teñido con lugol. Identificado por la técnica de Willis.

Se colectaron un total de 10 muestras de heces fecales y ocho muestras de arena debajo de las heces, de las cuales seis muestras de heces y una muestra de arena fueron positivas a helmintos (Cuadro 4) (Figura 3).

Cuadro 4. Presencia de estructuras parasitarias en heces y arena de playas

Playas o sitios de muestreo	Cantidad de heces	Cantidad de muestras de arena debajo de heces	Cantidad de muestras de heces positivas a helmintos	Cantidad de muestras de arena positivas a helmintos
Villa del Mar	0	0	0	0
Martí	1	1	0	0
La Bamba	3	1	2	0
Pelicanos	2	2	1	0
Los Arcos	1	0	1	0
Vicente Fox Quesada	3	3	2	1
Total	10	7	6	1



Figura 3. (a) Huevo de anquilostomídeos, identificado por la técnica de Willis, (b) Huevo larvado de anquilostomídeos, identificado por la técnica de Willis, (c y d) Larva rabditídeos de Anquilostomídeos teñido con lugol. Identificado por la técnica de Willis.

La temperatura promedio del suelo en las horas de muestreo estipuladas fue de 27.3 °C, con un pH de 6 y humedad del suelo de 25.8 % observándose como constante la presencia de basura y materia orgánica e inorgánica en todos los sitios de muestreo, los cuales son usados como sitios de recreación, deportivos y balneario público. En este estudio se observó una asociación entre la humedad relativa de la arena y la presencia de parásitos de importancia sanitaria, ya que de los 12 sitios de playas positivas a helmintos, 10 pertenecen al sitio A (seco). Lo que puede explicarse con lo descrito por Molina (2017), donde considera que los parámetros como la temperatura, pH y humedad del ambiente, son factores ambientales que influyen a la existencia y supervivencia de los parásitos que existen en el medio. La temperatura ambiental destaca como un factor que afecta tanto a la virulencia, patogenicidad y transmisión de enfermedades parasitarias. Lo anterior, debido al clima terrestre y se le atribuye a los efectos de las actividades antropogénicas como un acelerador del aumento del calentamiento global que a consecuencia de este fenómeno se da la pérdida de ciertos ecosistemas y el desplazamiento de diversas especies.

En este estudio, la influencia que tuvo la temperatura y humedad de la arena con relación a la positividad a helmintos en los sitios secos, concuerdan con lo descrito por Guerrero De Abreu et al. (2015), quienes observaron que la mayor obtención de estructuras parasitarias estaban asociadas a los sitios de menor humedad; consideran que el aumento de salinidad es un factor limitante del desarrollo de helmintos. Cabe mencionar que algunos de los sitios presentaban corta extensión de playa y los sitios correspondientes a secos (A) se encontraban húmedos. Pedroza et al. (2017) consideran que las playas con franja de arena cortas pueden encontrarse negativas a parásitos, ya que la salinidad del mar y el arrastre por las olas pueden ser los causantes de la ausencia de éstos. Lo que puede explicar el bajo porcentaje de sitios positivos a estructuras parasitarias en este estudio.

Los sitios con presencia de helmintos identificados en las muestras de arena que fueron analizadas por las técnicas de Willis y sedimentación durante el mes de julio fueron los siguientes: playas Arcos y Vicente Fox Quesada (PA-3A, PB-3A y PF1A), dieron positivas a larvas de *Ancylostoma* spp. y Playa Pelicanos (PP-2B) con 55 huevos de helminto por 20 g de peso seco de especies de Anquilostomídeos. En el mes de agosto dieron positivas a larvas de *Ancylostoma* spp. las playas de Villa del Mar y Arcos (PA-3A y PV-1A), en (PA-1A, PA-2B) y (PV-1B) se registró la presencia de 1 huevo de helminto por 20g de peso seco de especies de Anquilostomídeos. En la Playa Pelicanos se observaron 15 huevos de helminto por 20g de peso seco (PP-2A), 8 huevos de helminto por 20g de peso seco (PP-2B), 9 huevos de helminto por 20g de peso seco (PP-1A) y 8 huevos de helminto por 20g de peso seco (PP-1B); todos obtenidos con la técnica de Willis; mientras que con la técnica de sedimentación se registraron 6 huevos de helminto por 50g de peso seco (PP-2A) y 1 huevos de helminto por 50g de peso seco en (PP-2B).

Se identificaron 12 sitios positivos a estructuras parasitarias, sin embargo el registró de larvas y huevos fue mucho menor a lo que se observó en las muestras de heces recolectadas en las playas. Se considera que la temporalidad (lluvias) pudo haber influenciado en el porcentaje de playas positivas, así como la baja incidencia de helmintos en los sitios muestreados. Para Morales y Esquivia (2014) es de suma importancia considerar las condiciones ambientales que pueden ser propicias para el desarrollo de larvas y huevos, de ahí su frecuencia y supervivencia en la arena. Factores como humedad y temperatura están estrechamente relacionados con estructuras de la cutícula que protege a las larvas de la desecación y que le permite sobrevivir en el medio por años. Asimismo Manjarrez et al. (2019), menciona que los suelos arenosos representan un rol importante en la infección humana por parásitos debido a sus características geológicas ya que son sedimentos no consolidados susceptibles a transporte y variaciones de humedad. De acuerdo a los registros de las actividades antropogénicas durante los muestreos, todas las playas presentan algún indicio de contaminación. La zona costera veracruzana se compone de un amplio litoral costero, lo que hace posible

que los asentamientos humanos realicen diferentes actividades, relacionadas con el uso y aprovechamiento de los recursos costeros no consumibles (uso de la playa). Las principales actividades son la pesca, restaurantes, hotelera y prestadores de servicios turísticos (Ortíz-Lozano et al., 2010); lo cual es corroborado con el resultado de la escala de análisis del grado de contaminación de playas (Cuadro 6), que indicó en este estudio la presencia de grados bajos y medios de contaminación en la arena de algunos sitios todas las playas de la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río a excepción de Playa Martí (1A y 1B), debido a la ausencia de registros de helmintos.

Cuadro 6. Grado de contaminación de playas por presencia de huevos de helmintos modificada por Vizcaya (2013) en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río.

Clave del sitio	Criterios	Nivel o grado de contaminación
PV-1B	Presencia de larva de helmintos, rastros de desagües pluviales, ausencia de basura, presencia de pocos bañistas y ausencias de animales caminando por la playa	Baja contaminación = +
PB-1A	Presencia de larva, heces de animales, presencia de bañista con animales transitando, heces fecales y presencia de basura	Contaminación media= ++
PP-1A	Presencia de huevos de helmintos de vida libre, ausencia de heces, presencia bañistas y mascotas.	Baja contaminación = +
PP-1B	Presencia de huevos de helmintos de vida libre, salida de aguas residuales (con mal olor), ausencia de heces, presencia bañistas y mascotas.	Contaminación media= ++
PP-2A	Presencia de huevos de helmintos, residuos de aguas pluviales, heces fecales de mascotas, presencia de bañistas y mascotas	Contaminación media= ++
PP-2B	Presencia de huevos de helmintos, heces fecales, presencia bañistas y mascotas.	Contaminación media= ++
PA-1A	Presencia de larva, ausencia de basura, presencia de drenaje de aguas pluviales, presencia de bañistas y mascotas.	Contaminación media= ++
PF-2A	Presencia de larva, basura, heces de mascotas, agua estancada de drenaje pluvial (mal olor), presencia de palomas, mascotas y bañistas.	Contaminación media= ++

La ausencia o escasa presencia de estructuras parasitarias puede estar asociada deberse a la escasa o nula presencia de mascotas, heces fecales, actividad de los usuarios (deportivos) y limpieza de arenas con máquinas. Las medidas preventivas puede ser un factor importante en el bajo porcentaje de muestras de arenas positivas y el número de especies parasitarias observadas, las cuales consisten en la limpieza y recolección de basura, el barrido de la arena de las playas e instalaciones fijas para que los usuarios depositen los residuos sólidos.

Sin embargo, se pudo observar la presencia de animales en estado de abandono comiendo y evacuando en las playas, animales transitando a lado de sus dueños, lo que explica la falta de control animal, considerándose una posible fuente de contaminación fecal (Guerrero De Abreu et al., 2015).

Conclusión

Existe contaminación con estructuras parasitarias de origen animal, específicamente *Ancylostoma* spp. en las playas turísticas de la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río.

La humedad y temperatura, temporalidad, medidas de manejo, prevención y control de limpieza pública de las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río; influyeron para mantener niveles bajos y medios de contaminación por *Ancylostoma* spp.

La baja incidencia de estructuras parasitarias presentes en las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río deben tomarse a consideración como un riesgo potencia de contaminación por ser infecciosos para el hombre.

Las áreas con mayor riesgo potencial para los usuarios de contraer una infección por helmintos patógenos es aproximadamente a 14 metros hacia afuera de la orilla de la playa (área seca).

Referencias

- Guerrero-De Abreu, A.M., Quiñones, M.V., Sequera, E.J. y Marín, J.L. (2014). Parásitos patógenos en arena de playa y su relación con condiciones ambientales, en un balneario de Puerto Cabello, Venezuela, 2012-2013. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 54(2): 150-158.
- Guerrero De Abreu, A.M., García, M.E., Román, J.C. (2015). Enteroparásitos en arena de playa como bioindicadores de contaminación fecal y su relación con condiciones ambientales en playa Kizandal en Puerto Cabello, marzo de 2013- enero 2014. *Academia Biomedica Digital*. (63):7 pp.
- Guerrero-De Abreu, A., Jesus-Arzapalo, J., Carolina-Cannova, D. y Ferrer-Jesús, E. (2020) Standardization and validation of the Willis parasitological technique for the detection of geohelminths eggs in beach sand samples. *Neotropical Helminthology*. 14(1): 35-47.
- Cassenote A, Pinto J, Lima-Catelani A, Ferreira A. (2011). Contaminação do solo por ovos de geo-helminthos como potencial zoonótico na municipalidade de Fernandópolis, Estado de São Paulo, entre 2007 e 2008. *Rev Soc Bras Med Trop*. 44: 371-374. Disponible en: <http://goo.gl/NvuMBH>.
- Manjarrez, G., Blanco, J., González, B., Botero, C.M. y Díaz-Mendoza, C. (2019). Parásitos en playas turísticas: propuesta de inclusión como indicadores de calidad sanitaria. *Ecología Aplicada*. 18(1): 90-100 DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1311>
- Molina, O. (2017). Parásitos y medio ambiente. Universidad de Sevilla. Facultad de Farmacia. Departamento de Microbiología y Parasitología. Área de Parasitología. Revisión bibliográfica. España, Sevilla. pp. 44.
- Morales, A.M. y Esquivia, M. V. (2014). Contaminación de playas turísticas de la ciudad de Cartagena de indias con parásitos de importancia sanitaria 2012-2014. Tesis de Maestría. Microbiología Clínica. Universidad de San Buenaventura Facultad de Ciencias de la Saludo Cartagena de Indias. pp. 77.
- Ortíz-Lozano, L. Arceo-Briseño, A. Granados-Barba, D. Salas-Monreal-y L. Jiménez- Badillo, 2010. Zona costera. pp. 123-146. En: Florescano, E. y J. Ortiz-Escamilla (Coords). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Tomo I Patrimonio Natural. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana. ISBN obra completa: 978-607-95131-5-3; ISBN Tomo I: 978-607-95131-6-0
- Pedroza, M., Pérez, L., y Springer, V. (2017). Prevalencia de huevos del género

- Toxocara spp. En arenas de playas de Montevideo. Tesis de Doctorado en Ciencias Veterinarias. Universidad de la República Facultad de Veterinaria. Montevideo, Uruguay. pp. 46.
- Rocha, S., Pinto, R., Floriano, A.P. Teixeira, I, H., Bassili, B., Martínez, A., Costa, S. y Caseiro, M. (2011). Environmental analyses of the parasitic profile found in the sandy soil from the Santos municipality beaches, SP, Brazil. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo*. 53(5): 277-81.
- Vizcaya, R., T. (2013). Contaminación de suelos por helmintos de importancia clínica en balnearios de el Tocuyo, Estado Lara. Observador del conocimiento. En: Mendoza, N., Moreno, M., Pticer, K., Torres, L., Arcay, S., Palacios, J., Villaroel, D., Santander, J.C.
- Zarate, S. (2020). Evaluación de potencial de ahorro energético de techos verdes aplicados en la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río. Tesis de Maestría. TNM-Veracruz. Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables. P.100.

GENERACIÓN DE BIOGÁS DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL NO CONTROLADOS ABANDONADOS EN LA REGIÓN SOTAVENTO VERACRUZ, MÉXICO

MANUEL SUSUNAGA MIRANDA¹, BENIGNO ORTÍZ MUÑIZ², REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ³,
MARÍA HERNÁNDEZ BERRIEL⁴

Resumen

Cuando un sitio de disposición final no controlado es abandonado por las autoridades municipales se convierte en un pasivo ambiental, ya que no se toman las acciones para su rehabilitación provocando la emisión de biogases que en su conjunto son gases de efecto invernadero, en la región Sotavento del Estado de Veracruz existen seis de estos sitios que almacenan alrededor de 5,524,061 de Toneladas de Residuos Sólidos Urbano, mismos que por los procesos de descomposición han generado un total de 4,278.65 millones de Toneladas de Biogás desde 1990 hasta el 2019, lo anterior se realizó para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero emiten estos sitios, para lo cual se utilizó el mecanismo propuesto por el modelo mexicano de biogás 2.0 mediante el análisis de cada uno de los basureros y la obtención de los factores necesarios para la estimación del Biogás por este método, cuyos resultados permiten reconocer el impacto ambiental que estos generan por la emisión de Biogases.

Palabras clave: Biogás, Basureros, Efecto Invernadero, Modelo Mexicano de Biogás

Abstract

When an uncontrolled final disposal site is abandoned by the municipal authorities, it becomes an environmental liability, since no actions are taken for its rehabilitation, causing the emission of biogases that as a whole are greenhouse gases, in the Sotavento region. of the State of Veracruz there are six of these sites that store around 5,524,061 Tons of Urban Solid Waste, which due to decomposition processes have generated a total of 4,278.65 million Tons of Biogas from 1990 to 2019, the above was done to determine the amount of greenhouse gases emitted by these sites, for which the mechanism proposed by the Mexican model of biogas

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer). Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Veracruz. manuel.sm@veracruz.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer). Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Veracruz

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBoca). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca (ITToluca). Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista C.P. 52149 Metepec, Edo. De México, México.

2.0 was used by analyzing each of the dumps and obtaining the necessary factors for the estimation of Biogas by this method, whose results allow recognizing the environmental impact that these generate by the emission of Biogases.

Keywords: Biogas, Landfills, Greenhouse Effect, Mexican Biogas Model

Introducción

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que son denominados comúnmente como basura se generan en las casas, los comercios y por los servicios públicos municipales (Iqbal et al., 2020), están constituidos por una mezcla heterogénea de desechos que se clasifican fundamentalmente en materia orgánica (restos alimenticios y de jardinería, papel, cartón etc.) e inorgánica (vidrio, plásticos, metales, etc.), los cuales a los sitios de disposición producen una mezcla de gases (CO_2 , CH_4 , H_2S) denominados en su conjunto biogases, un líquido muy tóxico conocido como Lixiviado y partículas sólidas (SEMARNAT, 2017).

De los residuos sólidos urbanos que llegan a los sitios de disposición final a nivel global casi dos terceras partes son biodegradables, los cuales cuando se descomponen producen gases que son nocivos y que contribuyen al calentamiento global por lo que son considerados como gases de efecto invernadero (Kumar et al., 2020), en México para el año 2020 aproximadamente el 53.53% de los residuos son susceptibles a procesos biológicos que generan cerca de 40 millones de toneladas de CO_2 equivalentes (SEMARNAT, 2020)

En los países en vías de desarrollo como México, el incremento de la población y la modificación de los hábitos domésticos ha ocasionado que la cantidad de residuos sólidos urbanos que se genera en los centros urbanos no permita a las autoridades municipales darles una disposición adecuada (Agbeshie et al., 2020); es por esto que en su mayor parte los sitios de disposición final en los que se deposita la basura no tienen la infraestructura que establece la normatividad nacional y se clasifican como Sitio no Controlado (DOF, 2021) a estos se les denominan como Tiraderos a Cielo Abierto. Estos sitios al ser cerrados y abandonados por diversos motivos representan un riesgo para su entorno debido a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, la emisión de gases tóxicos, explosiones y malos olores (Lobo et al., 2016) con efectos adversos para el ambiente y la salud (Morita et al, 2020).

La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero de los sitios de disposición final está influenciado por factores como el volumen de los residuos acumulados, el contenido de materia orgánica, la humedad, la temperatura y la edad de los desechos, los cuales intervienen en las diferentes etapas de estabilización de los RSU. (Zhang et al. 2019), al no existir mucha información experimental sobre la generación de biogases en los basureros se han desarrollado modelos matemáticos para estimar específicamente la cantidad de metano que se produce en un tiempo determinado, que se han basado en ecuaciones de orden cero, primer

orden y segundo orden (Aguilar-Virgen et al., 2014), entre los que se encuentran el Modelo de primer orden (TNO), Modelo Afvalzorg multi-fase, los modelos de orden cero, orden uno y dos de la Solid Waste Association of North America (SWANA), el modelo EPER francés, El modelo LandGEM, desarrollado por la EPA de EEUU, entre otros (Colomer-Mendoza et al. 2017)

Desde 2003 se a desarrollado para la estimación de la generación y recuperación de Biogás rellenos sanitarios el Modelo Mexicano de Biogás, actualizado en 2009 logrando la versión 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014), este mecanismo aproxima a los resultados reales mediante una ecuación de degradación de primer orden, la cual asume que la generación de biogás se da un año después del inicio del depósito de los residuos y que utiliza datos como el año de apertura, de cierre, la cantidad de residuos depositados al año, tasas de eliminación, y precipitación pluvial entre otros (García-Darás et al. 2013; Aguilar-Virgen et al. 2014), por lo que el presente documento pretende estimar con este modelo la generación de biogás en los Sitios de Disposición final abandonados en la Región Sotavento del Estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

a) La Región del Sotavento, Veracruz, México

La región Sotavento se localiza en la zona centro del Estado de Veracruz y consta de 12 municipios: La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlaxicoyan, Úrsulo Galván y Veracruz, en su conjunto cuenta con una extensión territorial de 3,961 km² (5.5% del territorio estatal) (SEFIPLAN, 2013) y una población en el año 2020 de 1,085,751 habitantes (INEGI, 2021) lo que representa el 13.46% del total estatal

Figura 1. Región Sotavento. SEFIPLAN (2013)



b) Análisis sitios de disposición final abandonados en la Región Sotavento

La localización de los sitios de disposición final abandonados, su área de cobertura, altura media y superficie que ha presentado incendios se realizó por medio del Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis de imágenes satelitales con Google Earth, (Tamrat et al., 2019; Kapilan y Elangoyan, 2018).

c) El Modelo Mexicano de Biogás 2.0

Para la estimación de la generación de biogás en los sitios de disposición final abandonados de la Región Sotavento del Estado de Veracruz, se utilizó el Modelo Mexicano de Biogás 2.0 mediante una hoja de cálculo en Excel, el cual utiliza la ecuación de degradación de primer orden (Aguilar-Virgen et al. 2014)

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kLo \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-ktij})(MCF)(F) \quad \text{eq. 1}$$

Donde:

Q_{LFG} = Es el flujo de biogás máximo esperado en $m^3/año$.

i = Es el incremento en tiempo de 1 año.

n = Es el año del cálculo (año inicial de disposición de RSU).

j = Es el incremento de tiempo en 0.1 años.

k = Es el índice de generación de metano (1/año).

Lo = Es la generación potencial de metano en m^3/Ton .

M_i = Es la masa de residuos dispuestos en el año i (Ton).

tij = Es la edad j de la masa de residuos M_i dispuestas en el año i (años decimales).

MCF = Es el factor de corrección de metano.

F = Es el factor de ajuste por incendios.

La ecuación del Modelo Mexicano de Biogás estima la generación de biogás considerando la cantidad de residuos acumulados en un año, donde la composición del gas asumida por el modelo es del 50% Metano y 50% Dióxido de Carbono y otros compuestos, el exponencial asume que después de seis meses de la disposición de los residuos se inicia el proceso de obtención del biogás y que seis meses después disminuye a medida que se consume la fracción orgánica de los desechos, además de que la generación máxima se da en el año de abandono o cierre del sitio de disposición final (Escamilla, 2019)

a) Índice de Generación de metano (k)

Los valores para el índice de generación de metano (k) para el modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 dependen del tiempo que tardan los residuos en degradarse, los cuales pueden ser: DDR Degradación de residuos muy rápida. DRMR, degradación de residuos moderadamente rápida, DRML, degradación de residuos moderadamente lenta y DRL degradación de residuos muy lenta (Aguilar-Virgen et al. 2011), para determinar los valores de k para la Región Sotavento se modificaron

los valores establecidos en el modelo mexicano con el porcentaje de los residuos que se obtuvieron tanto de datos obtenidos en campo y de resultados proporcionados por la Procuraduría de Medio ambiente del Estado de Veracruz, mediante la ecuación siguiente:

$$k_{ponderada} = \sum_{i=1}^9 (\%ri)(vp) \quad \text{eq 2}$$

Donde:

%ri = porcentaje de residuos en cada categoría

vp = valor de k predeterminado por el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 en cada una de las categorías de degradación.

b) Potencial de generación de metano (L_0).

El parámetro define la cantidad potencialmente producida de metano (CH_4) por unidad de masa de residuos cuando se degrada, lo cual depende exclusivamente de ellos. (Aguilar-Virgen et al. 2014)

$$L_0 = \frac{16}{12} (MCF \times DOC \times DOCF \times F) \quad \text{eq 3}$$

Donde:

MCF = Factor de corrección para el metano

DOC = Fracción de carbono orgánico degradable

DOCF = Fracción de carbono orgánico degradable asimilado (Teóricamente 0.77)

F = Fracción de metano en el Biogás (Se asume 0.5)

16/12 = Constante Estequiométrica

El contenido de Carbono Orgánico Degradable (DOC) se puede calcular por la ecuación 4, este depende de la composición de los residuos y varía con el sitio de disposición final, el cual se obtiene por la ecuación siguiente (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017)

$$DOC = 0.4A + 0.17B + 0.15C + 0.3D \quad \text{eq 4}$$

Donde:

A = Porcentaje de los residuos que corresponde al papel, cartón y los textiles.

B = Porcentaje de los residuos que corresponde a los desechos de jardinería, de parques y jardines públicos.

C = Porcentaje de los residuos que corresponde a los restos alimenticios

D = Porcentaje de los residuos que corresponde a madera y paja.

c) Factor de Corrección para el metano (MFC)

Este ajuste de la estimación de la generación de Metano para el modelo considera la degradación anaeróbica de los residuos y depende de la profundidad de los mismos en el sitio de disposición final y de sus prácticas de manejo (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017) que se pueden tabular de la siguiente manera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factor de Corrección del Metano (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017)

Manejo del Sitio de Disposición Final	Profundidad < 5 m	Profundidad ≥ 5 m
Sin manejo	0.4	0.8
Con Manejo	0.8	1.0
Semi aeróbico	0.4	0.5
Desconocido	0.4	0.8

d) Factor de Ajustes de Incendios (F)

Este valor considera que cuando se producen incendios en los sitios de disposición final los residuos se consumen como combustible produciendo cenizas las cuales no contribuyen a la generación de biogás, en caso de que se presente este fenómeno se debe descontar de la generación de biogás el porcentaje del área impactada multiplicando por el ajuste dada la severidad del impacto del incendio (1/3 para impacto bajo, 2/3 para impacto medio, y 1 para impacto severo).

Resultados y Discusión

De acuerdo a la información documental obtenida, y la información que se generó por medio de la técnica de entrevista semiestructurada para 2019 y los datos para los años 2015 y 2011 de la Secretaría de Finanzas y Planeación del Gobierno del Estado de Veracruz; que se realizó en los municipios de la Región Sotavento del estado de Veracruz (SEFIPLAN, 2015; SEFIPLAN, 2019) se identificaron las toneladas diarias de residuos sólidos urbanos que se disponen en los sitios de disposición final por los Ayuntamientos de la Región (Cuadro 2)

Cuadro 2 Toneladas de residuos sólidos urbanos (R.S.U) diarios dispuestos en sitios de disposición final de la en la Región Sotavento, Veracruz, México

Municipio	Años		
	2019	2015	2011
Boca del Río	200.00	141.00	135.06
Cotaxtla	10.00	11.00	12.05
Jamapa	8.50	8.21	7.94
La Antigua	35.00	32.60	21.09
Manlio Fabio Altamirano	17.00	16.40	15.89
Medellín de Bravo	100.00	70.13	47.94
Paso de Ovejas	20.00	21.09	24.93
Puente Nacional	12.00	13.69	15.06
Soledad de Doblado	20.00	19.17	18.08
Tlalixcoyan	20.00	16.43	15.61
Úrsulo Galván	20.00	20.00	20.00
Veracruz	800.00	700.00	600.00

El incremento en la generación de los R.S.U en la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México presenta variaciones significativas dependiendo del grado de urbanización, en los municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín por el aumento de la población, la rápida urbanización, progreso económico y el incremento en el nivel de vida se ha acelerado la generación de desechos (Abdel-Shafy y Mansour, 2018), Tlalixcoyan si bien no se encuentra en la corona urbana de la Ciudad de Veracruz, ha logrado eficientizar su sistema de recolección, dada la mejora de los servicios de Limpia. Para los municipios de Paso de Ovejas, Cotaxtla y Puente Nacional presentan decrementos en la generación de residuos, debido principalmente a la problemática existente en sus sistemas de limpia, toda vez de que son los municipios con el mayor número de comunidades rurales, con una deficiente recolección, escasos vehículos de recolección y con caminos en mal estado (Caucci et al., 2018)

De acuerdo con las Imágenes satelitales de Google Earth™, se ha desarrollado un cuadro donde se pueden mencionar los años de operación de los sitios de disposición final no controlados y abandonados de los municipios de la región Sotavento, así como su clasificación (DOF, 2021)

Cuadro 3 Apertura, Abandono y Clasificación de los Sitios de Disposición Final no controlados abandonados en la Región Sotavento

Municipio	Sitio de Disposición Final	Año de Inicio	Año de Abandono	Clasificación*
Boca del Río	Col. 9 de marzo	1990	2008	B
La Antigua	Playa Oriente	2005	2010	D
Manlio Fabio Altamirano	La Plataforma	2017	2018	D
Medellín	El Guayabo	2010	2015	C
Tlalixcoyan	Mata Verde	2013	2018	D
Veracruz	Carretera a Cardel	2000	2019	A

* tonelaje recibido: A de 500 o más ton/día, B mayor a 100 y menor de 500 ton/día, C mayor a 50 y menor de 100 ton/día y D menor a 50 ton/día.

Para determinar el índice de Generación de Metano (k) para el modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 tomaron los valores propuestos de cuantificación dados por el Programa Estatal para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Veracruz 2014 para la macro región Centro-Norte que incluye a los municipios de Veracruz, Boca del Río, Paso de Ovejas, Medellín y La Antigua (PEPGIRS, 2014), los valores de k modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 para la Región Sureste (Aguilar-Virgen et al., 2012) donde se encuentra el Estado de Veracruz y la k para la Región Sotavento calculada a partir de la ecuación 2

Cuadro 4 Determinación de la k para la Región Sotavento

Subproducto	Categoría de Degradación	Porcentaje de los RSU	Valor de k para la Región Sureste	Valor de k modificada
Residuos Alimenticio	DR	36.8	0.300	0.1104
Papel y Cartón	DML	8.2	0.050	0.0041
Residuo de Jardinería	DMR	9.0	0.130	0.0117
Papel Higiénico	DMR	11.7	0.130	0.0152
Pañales	DR	5.8	0.300	0.0174
Madera	DL	1.0	0.025	0.0003
<i>k ponderada</i>				0.1591

Cuando la materia orgánica (principalmente de los residuos alimentarios y de jardinería) es depositada en los sitios de disposición final, generalmente se compacta y se cubre, por lo que se reduce el oxígeno y genera un proceso de descomposición anaeróbica, lo que eventualmente permite la generación de metano y dióxido de carbono con las implicaciones que representan para el calentamiento global y al cambio climático (Kumar et al., 2020) es por esto que en lugares con humedad elevada los valores de k son mas altos comparados con Mexicali (0.0307) y Tijuana (0.0584) en la región Noreste del País con clima cálido y seco (Aguilar-Virgen et al., 2014)

El cuadro 5 contiene factor de corrección de metano (MCF) y el potencial de generación de metano (L_0) para cada uno de los sitios de disposición final no controlados abandonados de la región Sotavento, los cuales se determinaron por medio de las diferencias de los niveles con las Imágenes satelitales de Google Earth™ y con los valores del cuadro 1

Cuadro 5 Factor de Corrección de Metano y potencial de generación de metano (L_0) para los sitios de disposición final no controlados abandonados de la Región Sotavento

Sitio de Disposición Final	Manejo del Sitio	Profundidad (m)	MCF	L_0 (m^3 /Ton)
Boca del Río	Con Manejo	4.0	0.8	43.6
Playa Oriente	Desconocido	2.0	0.4	21.8
La Plataforma	Sin Manejo	2.0	0.4	21.8
El Guayabo	Con Manejo	2.0	0.8	43.6
Mata Verde	Sin Manejo	2.0	0.4	21.8
Veracruz	Con Manejo	12.5	1.0	54.5

Al tener diferentes tipos de manejo y alturas los sitios de disposición final no controlados abandonados, los valores del factor de corrección de metano (MCF) tienen los tres diferentes rangos propuestos para el modelo mexicano de Biogás 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014), el Relleno Sanitario clausurado del Municipio de Veracruz tiene el más alto factor que es comparable con los de otras ciudades costeras como Acapulco en el estado de Guerrero (Salmerón-Gallardo et al., 2017), además de que potencial de generación de metano (L_0) es mas bajo en comparación de lo propuesto para la región sureste propuesto por el mismo modelo (Aguilar-Virgen et al., 2014).

Para la determinación del factor de ajuste por incendios se revisó la información documental disponible y el único sitio de disposición final no controlado abandonado que presentó este tipo de contingencias fue el Basurero Municipal de Veracruz, en los años 2018 y 2019 con una muy baja severidad y poco impacto, por lo que se despreciara este factor

En cuanto a la generación y disposición de los desechos en los sitios de disposición final no controlados abandonados de la región Sotavento, estos se calcularon y se tabularon en el cuadro 6, cabe hacer mención que si bien el basurero de Boca del Río, fue abandonado en a finales del 2008, el ayuntamiento dispuso sus residuos hasta 2015 en el Sitio de Disposición Final en el Municipio de Veracruz, se calculó la generación de biogás de cada uno de los basureros desde el año 1990 hasta 2025 utilizando el modelo Mexicano de Biogás 2.0 con las consideraciones particulares para cada uno de ellos (Cuadro 6)

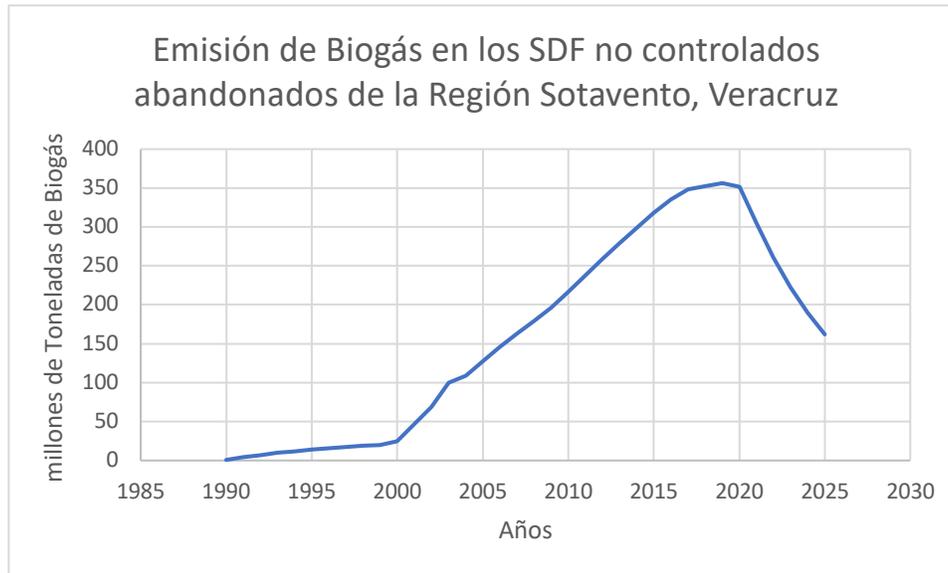
Cuadro 6 Disposición de R.S.U y generación de Biogás por año en los Sitios de Disposición Final No Controlados Abandonados de la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México

Periodo (Años)	Generación de RSU (Ton)	Emisión de Biogás (millones de Ton)
1990-1994	194,988	32.28
1995-1999	208,543	84.90
2000-2004	905,373	348.15
2005-2009	1,174,036	811.99
2010-2014	1,506,324	1,291.44
2015-2019	1,534,797	1,709.89
2020-2024		1,329.71

Los resultados obtenidos del cuadro 6 indican que de 1990 a 2019 que el total de residuos sólidos urbanos acumulado en los seis sitios de disposición final no controlados abandonados en la región Sotavento del Estado de Veracruz fue de 5,524,061 toneladas y la emisión de Biogás en ese mismo periodo fue de 4,278.65 millones de Toneladas. El modelo mexicano de Biogás 2.0 estima que en el período del 2020 al 2024 se emitan 1,329.71 millones de Toneladas de biogás.

Si bien hay datos reportados para algunos sitios de disposición final utilizando el modelo mexicano de biogás 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014; Salmerón-Gallardo et al., 2017), no se tienen resultados para una región en específico con quien comparar los obtenidos para este estudio, por lo anterior la proyección de la generación de Biogás no concuerda con algún sitio en particular

Figura 2 Proyección de la Generación de Biogás de los Sitios de Disposición Final no controlados abandonados en la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México



Como se puede apreciar la figura 2 de 1990 a 2019 existe incremento constante en la emisión de biogases resultado de la disposición constante de residuos sólidos urbanos, sin embargo, a partir del año 2020 esta situación cambia al abandonarse el sitio de disposición final no controlado de la ciudad de Veracruz, por lo que del modelo mexicano de biogás 2.0 estima que a partir del año 2020 empieza una disminución constante en la emisión de biogás en la región Sotavento del Estado de Veracruz por el abandono de los sitios de disposición final no controlados

Conclusión

Si bien la Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, publicada el 10 de mayo del 2021 establece una clasificación de los sitios de disposición final en operación y los mecanismos para la cuantificación de las emisiones de biogás para su clausura, no contempla a aquellos que están abandonados previo a la entrada en vigor de la misma

El resultado de este estudio si bien demuestra que la generación máxima de Biogás se presentó en el año 2020, la emisión de estos gases de efecto invernadero continuará por muchos años en cantidades considerables, lo que repercutirá de manera negativa en el cambio climático local al contribuir con el calentamiento global con sus efectos adversos que esto conlleva.

Es importante que las autoridades municipales, responsables de la disposición final de los RSU contemplen el cierre de los Tiraderos a Cielo Abierto, los que se encuentran abandonados no continúen como pasivos ambientales, mediante trabajos de rehabilitación de los emplazamientos de los mismos a fin de que se cumpla con la normatividad ambiental mexicana y garanticen un mínimo impacto al ambiente

Referencias

- Agbeshie A., Adjei R., Anokye J., Banunle A., (2020) Municipal waste dumpsite: Impact on soil properties and heavy metal concentrations, Sunyani, Ghana, *Scientific African*, Volume 8. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00390>
- Aguilar-Virgen Q., Ojeda-Benítez S., Taboada-González P., Quintero-Núñez M. (2012). Estimación de las constantes k y L0 de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en Baja California, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 Sup. (1) 43-49
- Aguilar-Virgen Q., Taboada-González P., Ojeda-Benítez S. (2014) Analysis of the feasibility of the recovery of landfill gas: a case study of Mexico, *Journal of Cleaner Production*, Volume 79, Pages 53-60, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.025>.
- Cauci S., Hettiarachchi H., Silva-Martínez R. (2018). Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*. 3.. <https://doi.org/10.3390/recycling3020019>
- Colomer Mendoza, F., García Darás, F., Altabella, J., Robles Martínez, F., & Aranda, G. (2017). Emisiones gaseosas de un relleno sanitario en México. Comparación con los modelos de generación de biogás. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 113-122. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.08>
- DOF (2021) Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación* del 10 de mayo del 2021
- Escamilla García, Pablo Emilio (2019). Eficiencia y confiabilidad de modelos de estimación de biogás en rellenos sanitarios. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1),32-44 ISSN: 1390-3799.: <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.03>
- García Darása F., Colomer Mendoza F., Robles Martínez F, Arandac G., (2013) Análisis comparativo entre los modelos de generación de biogás aplicados a las emisiones de un relleno sanitario en México, V Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos sólidos, recuperado el 20 de Julio del 2021 de <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Analisis%20Comparativo%20Modelos%20Generacion%20de%20Biogas%20Vertedero%20Mexico.pdf>

- INEGI (2021) Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave. Censo de Población y Vivienda 2020, consultado el 4 de agosto del 2021 de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bviniegi/productos/nueva_estruc/702825198039.pdf
- Iqbal A., Liu X., Chen G., (2020) Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques, *Science of The Total Environment*, Volume 729, 138622, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138622>.
- Kapilan, S., Elangovan, K. (2018). Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *J. Cent. South Univ.* 25, 570–585 <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3762-3>
- Kumar C., Mishra P., Singh N., Ashish Kumar Pathak (2020) Landfill Emissions and Their Impact on the Environment, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Volume 09, 08 <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV9IS080187>
- Morita A., Pelinson, N., Wendland, E. (2020). Persistent impacts of an abandoned non-sanitary landfill in its surroundings. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08451-7>
- Salmerón-Gallardo Y., Cabrera-Cruz R., Juárez-López A., Sampedro-Rosas M., Rosas-Acevedo J., Rolón-Aguilar J., Valera-Pérez M., (2017) Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos Parte B: Mitigación de Biogás en Acapulco, México. *RelbCi*, Abril 38-49 consultado el 4 de Agosto del 2021 de <http://www.reibci.org/publicados/2017/abr/2200107.pdf>
- SEFIPLAN (2013) Programas Regionales Veracruzanos, Región Sotavento 2013-2016, Gobierno del Estado de Veracruz, consultado el 23 de agosto del 2020 de <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2014/04/tf07-pr-sotavento.pdf>.
- SEFIPLAN (2015) Cuadernillos Municipales Edición 2015 Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Finanzas y Planeación, Recuperado el 7 de febrero del 2020 de <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/05/09/cuadernillos-municipales-2015>
- SEFIPLAN (2019) Cuadernillos Municipales Edición 2019 Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Finanzas y Planeación. Recuperado el 7 de febrero del 2020 de <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/05/09/cuadernillos-municipales-2019>
- SEMARNAT (2017). Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial, Acciones y Programas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. recuperado el 20 de marzo del 2020 de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>

- SEMARNAT (2020) Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Primera edición, mayo 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, recuperado el 19 de junio del 2021 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Tamrat, M., Muralitharan, J. and Yahya, A. (2019). GIS and Remote Sensing Based Suitable Site Selection for Solid Waste Disposal: A Case Study of Gondar Town, North West Ethiopia. *J. Acad. Indus. Res.* 8(2): 38-44. <https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1770105>
- Zhang, C.; Xu, T.; Feng, H.; Chen, S. (2019) Greenhouse Gas Emissions from Landfills: A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 11, 2282. <https://doi.org/10.3390/su11082282>

EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CORRIENTES MARINAS SUBINERCIALES EN EL CARIBE MEXICANO PARA LA INSTALACIÓN DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS.

MARIANA DE LA MIYAR LOZA¹, GABRIELA ATHIE ESPARZA DÍAZ², ITZEL GALAVIZ VILLA³, JULIO CANDELA PÉREZ⁴

Resumen

A pesar de su alto costo de instalación y de obtención, la energía del océano es una excelente opción para una transición a energías renovables; debido a la alta cantidad de energía que se puede obtener, si es explotada correctamente. La zona del Caribe Mexicano es la única área en nuestro país con el potencial suficiente para extraer energía a partir de las corrientes marinas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la variabilidad de las corrientes marinas subinerciales en el Caribe Mexicano, considerando la posible instalación de turbinas hidrocinéticas. Para la realización de este estudio se analizaron 6 años de mediciones continuas de la velocidad en la columna de agua, a partir de siete anclajes instalados desde Banco Chinchorro hasta Puerto Morelos (PM), al norte del Canal de Cozumel. Se encontró que PM es una zona dinámicamente estable, con velocidades mayores a 1 m/s hasta los 100 m de profundidad, durante el 93% del periodo analizado (2003-2009). La variabilidad de las corrientes se encuentra altamente correlacionada ($r > 0.5$) entre los anclajes al norte de Tulum, donde se observó que la dirección de la corriente es constantemente unidireccional. Así mismo se observó que no existe una estacionalidad significativa en la velocidad de la corriente, y que son principalmente los remolinos ciclónicos y anticiclónicos que atraviesan la zona del Caribe Mexicano, los que juegan un papel importante en la desaceleración y aceleración de la corriente en los diversos anclajes, encontrándose una periodicidad de aproximadamente 3 meses desde las zonas aledañas al Banco de Chinchorro hasta el Canal de Yucatán.

Palabras clave: corrientes marinas, Caribe Mexicano, velocidad corrientes marinas subinerciales, remolinos; marine currents, eddies.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. marianadlml93@gmail.com

² Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Miguel Hidalgo 607, Río Jamapa, 94290 Boca del Río, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Carr. Tijuana-Ensenada 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, B.C.

Abstract

Despite its high cost to install and obtain, ocean energy is an excellent option for a transition to renewable energy; due to the high amount of energy that can be obtained, if it is exploited correctly. The Mexican Caribbean area is the only area in our country with sufficient potential to extract energy from ocean currents. Therefore, the objective of this research was to evaluate the variability of subinertial marine currents in the Mexican Caribbean, considering the possible installation of hydrokinetic turbines. To carry out this study, 6 years of continuous measurements of the velocity in the water column were analyzed from seven anchors installed from Banco Chinchorro to Puerto Morelos (PM), north of the Cozumel Channel. PM was found to be a dynamically stable zone, with velocities greater than 1 m/s up to 100 m depth, during 93% of the analyzed period (2003-2009). The variability of the currents is highly correlated ($r > 0.5$) between the anchorages north of Tulum, where it was observed that the direction of the current is constantly unidirectional. Likewise, it was observed that there is no significant seasonality in the speed of the current, and that it is mainly the cyclonic and anticyclonic eddies that cross the Mexican Caribbean area, which play an important role in the deceleration and acceleration of the current in the various anchorages, finding a periodicity of approximately 3 months from the areas surrounding the Banco de Chinchorro to the Yucatan Channel.

Keywords: ocean currents, Mexican Caribbean, subinertial ocean current speed, eddies; marine currents, eddies.

Introducción

La energía del océano tiene el potencial para ser una de las principales fuentes de energía, ya que es un recurso renovable con características predecibles y constantes, que estará siempre presente; a pesar de que tiene un alto costo de instalación y de obtención, este se compensa con la alta cantidad de energía que se obtiene de ella, si es explotada correctamente (Bahaj & Myers, 2003).

A pesar de que la obtención de este tipo de energía ha tomado fuerza en los últimos años, este tipo de tecnología data desde finales del siglo XVIII, cuando la primera patente de conversión de energía marina fue registrada en 1799 por Monsieur Girard. Años después, en 1966, se construyó una estación de energía obtenida por las mareas en St. Malo, Francia; la cual aún se encuentra en funcionamiento, produciendo 240 MWh por año (USDE, 2019).

Actualmente, las tecnologías que se han desarrollado a nivel mundial son las que obtienen energía a través del oleaje, las mareas, las corrientes y el gradiente térmico. Los países líderes en desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de energía hidrocínética son: Reino Unido, Irlanda, Francia, España, China, Japón, Corea del Sur, Canadá y los Estados Unidos (Murray, 2006; Laws & Epps, 2016), siendo Reino Unido donde se encuentra la mayoría de éstas.

En cuestión de la energía obtenida por las corrientes, el proyecto más conocido es el SeaGen por la compañía Marine Current Turbines, el cual fue instalado en el 2003 en las costas de Devon, en Reino Unido y desde esa fecha continúa operando y produciendo, actualmente, una potencia de 300 kW. De este proyecto se derivaron otros menores, como por ejemplo un sistema de 1.2 MW en Strangford Lough al norte de Irlanda y una propuesta de una granja de 10.5 MW en la costa de Anglesey, Gales (corrientes marinas) y una granja de 3.6MW (mareas) en Vancouver, Canadá. También encontramos empresas como Lunar Energy Limited, OpenHydro, Clean Current Power Systems, Blue Energy y Verdant Power, todos ellos con propuestas y proyectos para aprovechar la energía de las mareas y las corrientes (USDE, 2019).

En México las energías oceánicas están clasificadas en una categoría de “Probable” de acuerdo a su potencial de generación eléctrica con energías renovables, lo cual significa que “tienen una capacidad reconocida mediante estudios directos e indirectos de campo, pero sobre la que no se tiene suficiente información para determinar su factibilidad económica o técnica” (SEMARNAT, 2015). Por lo tanto, las investigaciones y proyectos sobre la implementación de este tipo de energías en México deben continuar para poder ser una realidad y así ser aprovechadas.

Las investigaciones y proyectos dirigidos a identificar áreas potenciales están en marcha, así como diversas turbinas se encuentran en funcionamiento desde hace varios años. Por lo anterior, el objetivo de este proyecto es evaluar las características físicas y la variabilidad de las corrientes marinas subinerciales en el Caribe Mexicano para la instalación de turbinas hidrocinéticas (MCT).

Materiales y Métodos

Bases de datos

Para la realización de este estudio se utilizaron datos puntuales de velocidad en la columna de agua, medida a partir de anclajes equipados con Perfiladores Acústicos de Corriente por efecto Doppler (ADCP, por sus siglas en inglés), además del uso de datos obtenidos de satélite para complementar la información obtenida con los datos de mediciones.

Los anclajes utilizados para medir los datos que se analizaron en esta tesis fueron instalados gracias al proyecto CANEK, creado en 1996 por investigadores del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), con el objetivo de estudiar el intercambio de flujo entre el Caribe y el Golfo de México, así como la estructura y variabilidad de la corriente. Estos anclajes están colocados fijos a lo largo de toda la zona del Caribe Mexicano y gracias a los ADCPs pueden medir las componentes de la velocidad del agua en diferentes capas de la columna de agua, promediadas cada 8-10 m, a lo largo de un perfil.

Para los objetivos de este trabajo el proyecto CANEK dispone de 7 anclajes (Figura 1). Los cuales llevan el nombre de acuerdo a su localización: PM (Puerto Morelos), PME (Puerto Morelos Exterior), COZ (Cozumel, dentro del Canal de Cozumel), CZE (Cozumel Exterior), TU (Tulum) y TUE (Tulum Exterior), CH (Canal Chinchorro) y CHE (Chinchorro Exterior) (Figura 1; Cuadro 1).

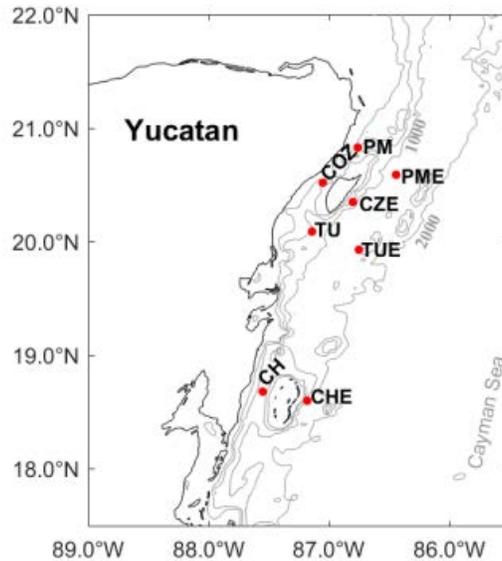


Figura 1. Posiciones de los anclajes a lo largo del Caribe Mexicano.
Cuadro 1. Ubicación geográfica de los anclajes (Fuente: Cetina et al. 2005).

Nombre del sitio	Clave	Localización geográfica	
		Latitud N	Longitud W
Puerto Morelos	PM	20°50.437'	86°45.081'
Puerto Morelos Exterior	PME	20°41.24'	86°36.239'
Cozumel	COZ	20°31.335'	87°02.986'
Cozumel Exterior	CZE	20°20.891'	86°48.220'
Tulum	TU	20°04.751'	87°08.300'
Tulum Exterior	TUE	19°55.48'	86°45.0'
Banco Chinchorro	CH	18°43.294'	87°33.082'
Banco Chinchorro Exterior	CHE	18°38.878'	87°10.236'

Estos anclajes han sido instalados en diversos periodos de tiempo, entre septiembre de 2002 hasta abril 2010, divididos en distintas campañas oceanográficas de CANEK (cuadro 2). Sin embargo, no en todos los años se cuenta con datos de cada uno de los puntos, ya que no todos fueron instalados en los mismos periodos de tiempo. Cabe resaltar que los anclajes CH, CHE y PM cuentan con series de tiempo continuas de hasta 7 años.

Cuadro 2. Periodo de tiempo de cada una de los cruceros oceanográficos CANEK, que corresponden al periodo de datos utilizados en este trabajo, así como los anclajes instalados en dicho periodo.

CANEK	Periodo (aproximado)	Localización de los anclajes
CANEK 8	03 septiembre 2002 al 11 Agosto 2003	CH, CHE, CZE, PM, TU
CANEK 9	31 agosto 2003 al 22 agosto 2004	CH, CHE, CZE, PM, TU
CANEK 11	10 septiembre 2004 al 20 abril 2006	CH, CHE, CZE, PM, PME, TU, TUE
CANEK 13	10 mayo 2006 al 01 febrero 2008	CH, CHE, PM, PME, TU, TUE
CANEK 17	20 febrero 2008 al 29 mayo 2009	CH, CHE, PM, PME.
CANEK 20	16 Junio 2009 al 13 Abril 2010	CH, CHE, PME.

Aunado a los datos fijos de los anclajes, se utilizarán datos de satélite de la base de datos de AVISO, la cual consta de datos de velocidad diarios desde 1993 hasta 2017 y tienen una resolución espacial de $1/4^\circ$ tanto en latitud como en longitud. Estos datos son distribuidos por Ssalto/Duacs de AVISO+ (<https://www.aviso.altimetry.fr>) y son generados por diferentes misiones altimétricas para proporcionar y garantizar un catálogo de datos altimétricos homogéneo y constante de la superficie del agua.

La información de los anclajes es en un sitio específico (la posición de anclaje), con la ventaja de que proporcionan información de la velocidad en toda la columna de agua con una resolución temporal horaria; mientras que los datos de satélite proporcionan una cobertura de toda la zona del Caribe Mexicano, con un dato de velocidad diario, pero únicamente en la superficie del océano.

Análisis de los datos.

Velocidad de la corriente

Con los datos descritos se realizó un análisis de los datos de velocidad proporcionados por cada uno de los anclajes a través de todo el periodo de tiempo que se tuvo disponible para cada anclaje, con la finalidad de conocer la variabilidad de la velocidad a lo largo del tiempo y el promedio de la magnitud de la velocidad, tanto a una profundidad de 50 m como en la columna de agua (considerando como columna de agua aquella por arriba de 100 m). También se calculó el porcentaje de incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s (velocidad que se necesita para que las turbinas funcionen óptimamente) a 50 m y en la columna de agua (>100 m).

Se realizó una rotación de los datos de velocidad sobre su componente principal, la cual consta de rotar los ejes u y v, logrando que los datos de velocidad estén cargados hacia un solo eje, en este caso fue el eje v.

Factor de Multiplicación

Fue necesario calcular un factor de multiplicación pues los datos de AVISO subestiman la velocidad, es decir, no presentan la misma intensidad o magnitud de la corriente debido a que cada punto de los datos de satélite es resultado de una interpolación de los trazos del satélite, es decir las mediciones directas que realiza

a su paso una vez cada 10 días en el mismo punto. Este factor de multiplicación se utilizó para lograr una comparación más acertada entre los datos de anclaje y AVISO.

Gráficas de la variabilidad

Se realizaron gráficas de elipses de variabilidad de la velocidad, para conocer la dirección predominante y la forma en que varía la dirección de la corriente. Esto nos indica las zonas dinámicamente estables. Este cálculo se realizó tanto para los datos de anclajes como para los puntos de AVISO cercanos a los anclajes.

Se realizó un trazado de los puntos en longitud que marcan la posición promedio de la velocidad máxima a través del tiempo, con el fin de realizar un seguimiento del movimiento del máximo de la velocidad de la Corriente de Yucatán; también se calculó la desviación estándar de la posición promedio en longitud, para identificar la amplitud y el comportamiento del movimiento horizontal del flujo.

La variación interanual y los cambios estacionales se examinaron, con el fin de identificar a lo largo de tiempo los momentos en los que la corriente presente disminuciones o aumentos de velocidad significativos para asegurar el correcto desempeño de las turbinas y aprovechamiento de la energía, así como determinar si existen periodos más favorables para la obtención de energía.

Incidencia de remolinos

Se determinarán cuáles son los fenómenos que afectan principalmente la variabilidad del sistema y en qué medida, considerando las necesidades físicas que requieren las turbinas, por lo tanto, se observará la posible incidencia de remolinos en la zona, los cuales, podrían ser un factor para descartar alguna zona pues los remolinos pueden causar una variación en la dirección de las corrientes y en consecuencia problemas con el funcionamiento de las turbinas.

Resultados y Discusión

Se realizó un análisis de las series de tiempo de velocidad en cada una de las series de tiempo, buscando en cuál de los anclajes se presentaban velocidades de 1 m/s o mayores. El anclaje de PM presenta velocidades de más de 1 m/s a 50 m y de 1 m/s en TU y CZE. Se puede observar como la velocidad aumenta conforme la corriente sigue su camino desde el anclaje de CH hasta PM.

Se encontró que el anclaje PM presenta velocidades de más de 1 m/s hasta los 100 m de profundidad (Figura 2). Además, al observar la velocidad promedio en la columna de agua por encima de los 100 m de profundidad (lado derecho de la Figura 2) en los demás anclajes, no se observa una variación significativa de la velocidad conforme aumenta la profundidad a través de los diferentes periodos de tiempo (Figura 3).

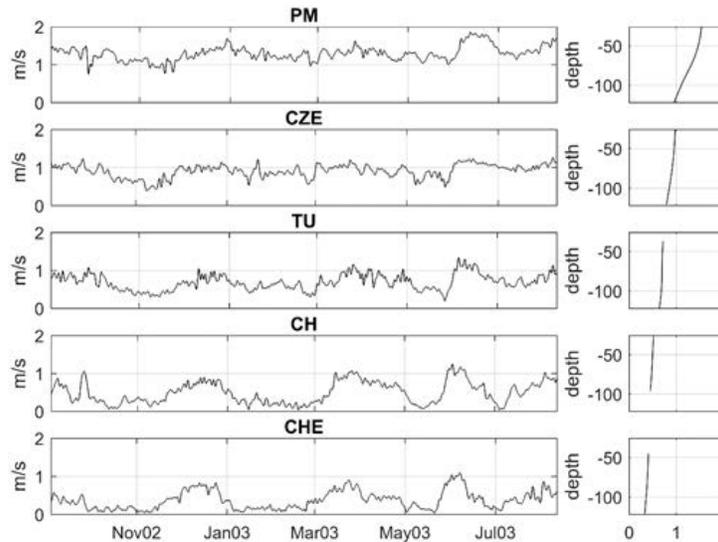


Figura 2. En el lado izquierdo de la gráfica se presenta la magnitud de la velocidad para cada uno de los anclajes durante 2008-2009 (indicados por su nombre abreviado, ver tabla xx). A la derecha, se muestra la magnitud promedio de la velocidad en la columna de agua.

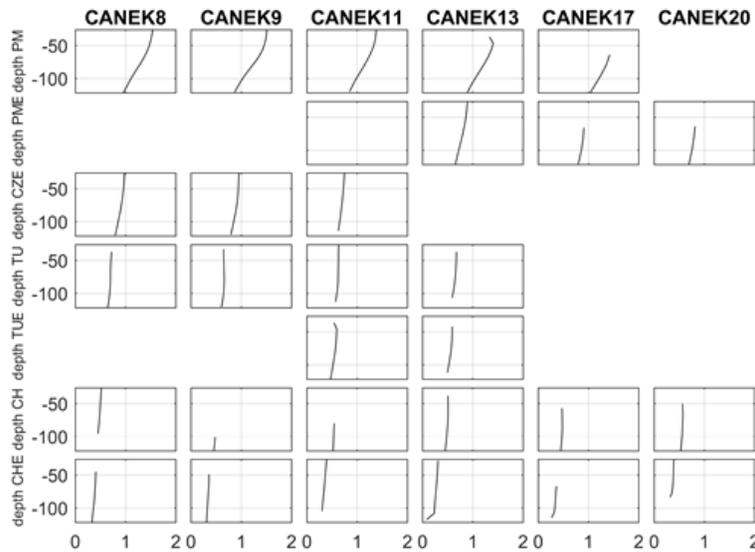


Figura 3. Velocidades de cada uno de los anclajes en la columna de agua

Se calculó la diferencia entre las velocidades a 50 m y 100 m, así como el porcentaje de incidencia de la velocidad de la corriente en los anclajes arriba de 1 m/s. Como se describió anteriormente, PM fue el anclaje con un porcentaje mayor, con un 93% de tiempo con una velocidad por arriba de 1 m/s a los 50 m de profundidad (figura 4) y un 89% en la columna de agua por arriba de los 100 m de profundidad (figura 5), seguido CZE con un 32% y 28% respectivamente.

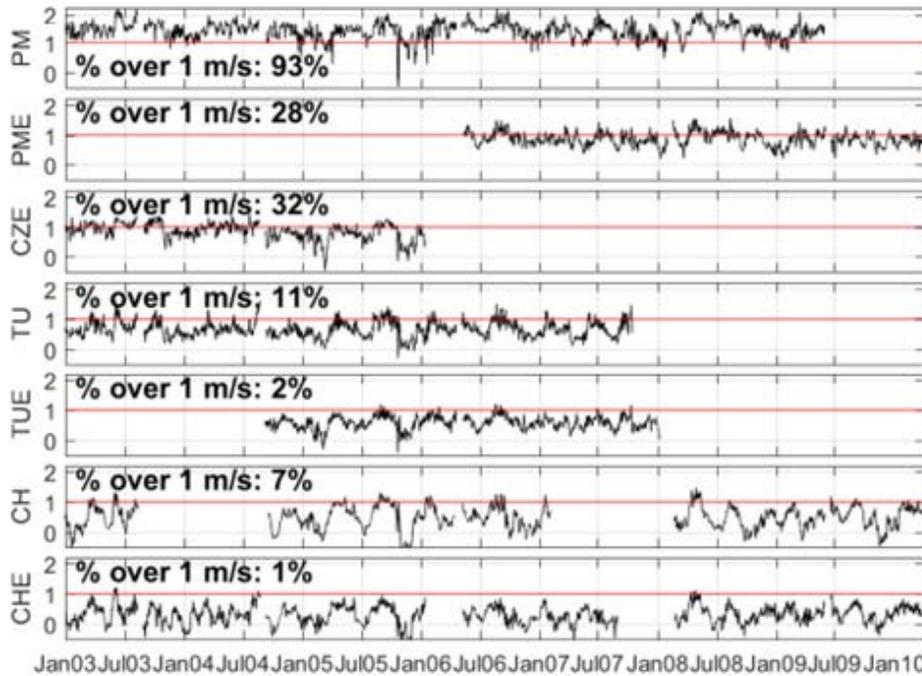


Figura 4. Componente principal de la velocidad a 50 m de profundidad. La línea roja indica la velocidad a 1 m/s y el porcentaje presentado es el porcentaje de incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s en cada uno de los anclajes.

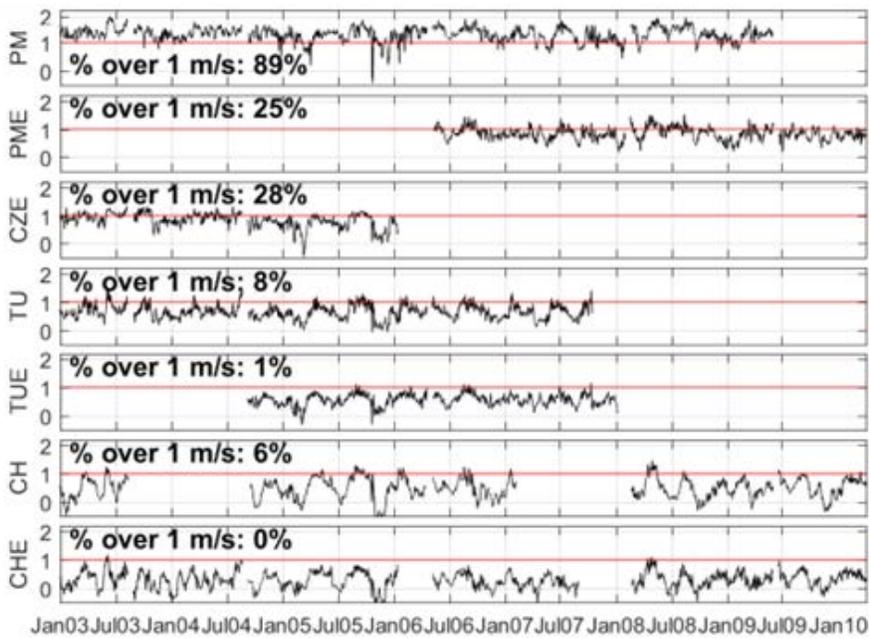


Figura 5. Componente principal de la velocidad por arriba de los 100 m de profundidad. La línea roja indica la velocidad a 1 m/s y el porcentaje presentado es el porcentaje de incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s en cada uno de los anclajes.

En el caso del anclaje de COZ solo se tienen datos de dos periodos de tiempo: octubre de 2000 a mayo de 2001 y de junio de 2009 a abril de 2010; por lo tanto, estos datos se analizaron por separado, ya que no coincidían con el periodo de los demás anclajes. Se puede observar que en 2000 – 2001, el porcentaje de la velocidad por encima de 1m/s es de 50% y en 2009 – 2010 es de 65% a 50 m (figura 6), y en la columna de agua (por arriba de los 100 m de profundidad) la incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s en el periodo de 2000 – 2001 es de 40% y de 54% para el periodo 2009 - 2010 (figura 6). En COZ los periodos de tiempo están muy alejados, sin embargo, se puede observar que el porcentaje de la incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s es mayor o cercano al 50%.

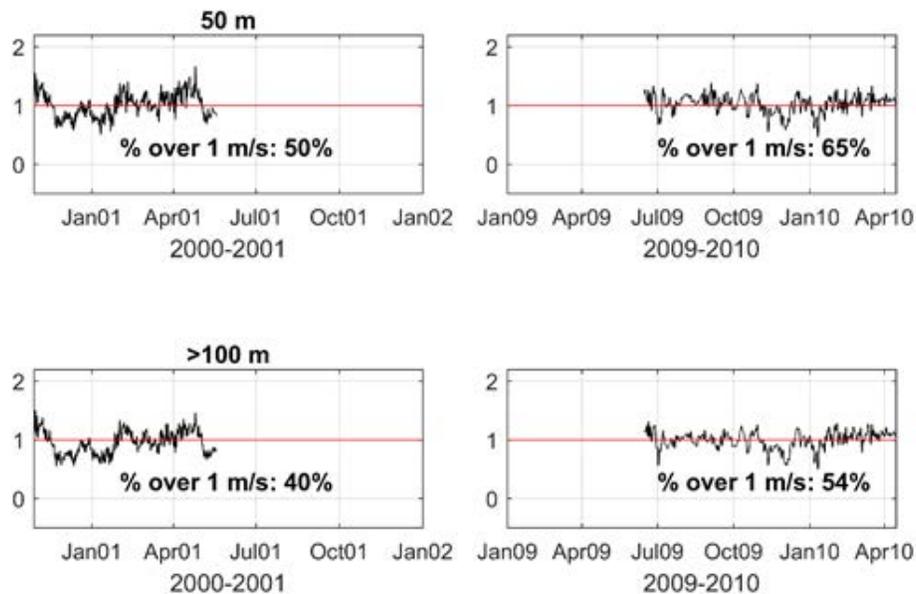


Figura 6. Anclaje de COZ a 50 m y por arriba de 100 m. La línea roja señala la velocidad de 1 m/s y el porcentaje presentado es el porcentaje de incidencia de la velocidad mayor a 1 m/s en cada uno de los anclajes.

Con la información obtenida de los anclajes, se realizaron rosas de corrientes (Figura 7) con el fin de obtener mayor información del comportamiento de la corriente. En estas gráficas podemos observar cada uno de los anclajes, siendo la periferia del círculo el dato con mayor velocidad de cada uno de los anclajes. El porcentaje indicado nos muestra, de toda la serie de tiempo utilizada, la cantidad de datos de velocidad analizados para esa gráfica están direccionados hacia ese punto cardinal. Gracias a este análisis se observó la dirección de la corriente la cual es principalmente hacia el noreste.

Así mismo, con las rosas de corriente podemos observar la variabilidad de la dirección de la corriente en cada uno de los puntos donde se encuentran los anclajes. El anclaje de CZE es el punto que presenta un mayor porcentaje de la dirección de sus datos hacia un mismo punto, siendo el porcentaje de 99.4%. A pesar de que en los otros puntos de los anclajes existe una mayor variabilidad de la dirección de la corriente, predomina la dirección noreste.

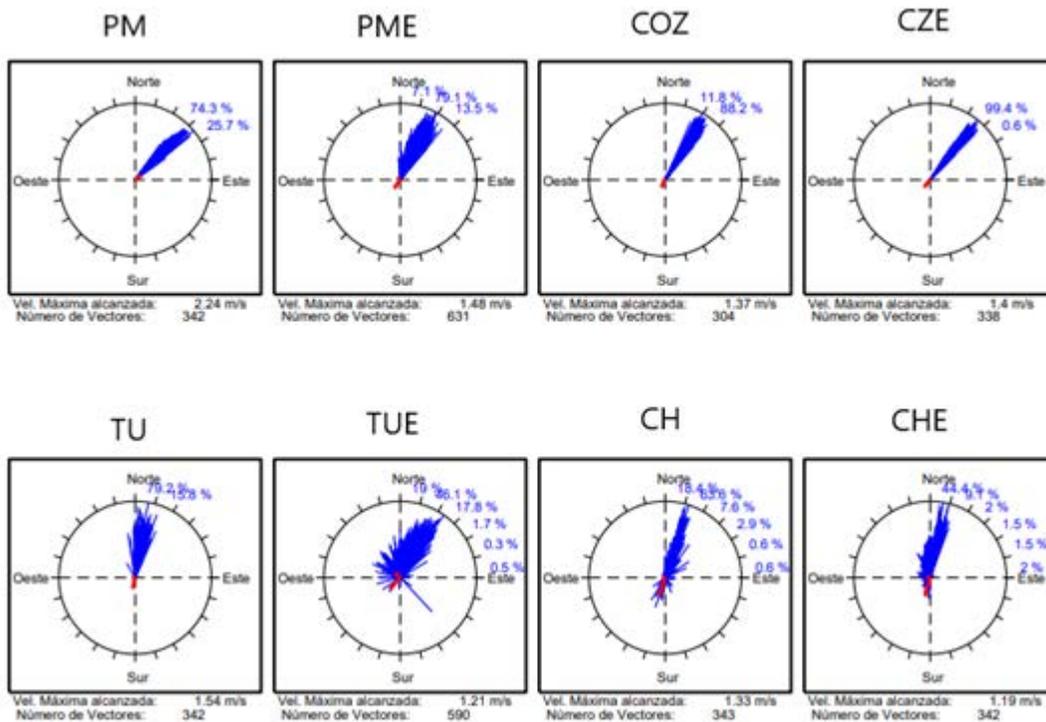


Figura 7. Rosas de corriente realizadas con datos de los anclajes. El diámetro del círculo indica la velocidad máxima alcanzada y los porcentajes es la incidencia de los datos hacia esa dirección. Para complementar la información brindada por los datos de mediciones de velocidad, se utilizaron los datos de velocidades geostróficas de satélite para realizar una comparación entre ambos y de esta forma poder realizar análisis a largo plazo con los 23 años de datos disponibles de AVISO. Los datos de AVISO presentan una magnitud menor de la velocidad; la magnitud de las velocidades de AVISO es alrededor de 1.5 y 2 veces menor a la observada con los anclajes. Por lo tanto, para ser comparables, estos datos se multiplican por un factor de multiplicación común, buscando la similitud entre ambas bases de datos. Sin embargo, se observó que no es posible utilizar el mismo factor de multiplicación para los datos de AVISO cercanos a los anclajes, ya que este valor no es el mismo para todos los puntos a lo largo del Caribe Mexicano. Al ser PM el punto donde tenemos el mayor porcentaje de tiempo con velocidades por encima de 1m/s, se buscó un factor de multiplicación que fuera apto para esta zona, pues presenta las velocidades ideales para los fines de este proyecto. El factor encontrado y utilizado fue de 2.7 (Figura 8), observando, como se esperaba, una diferencia en el ajuste de la magnitud de la velocidad en las otras zonas.

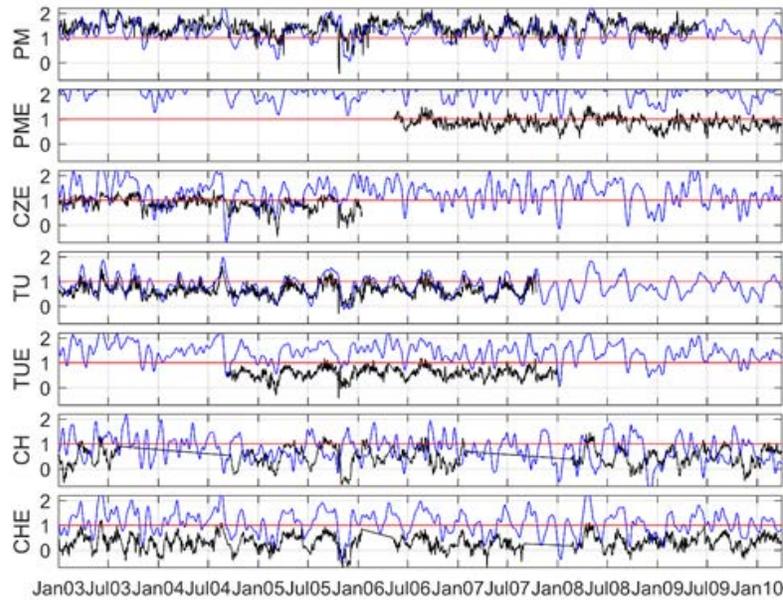


Figura 8. Datos de las velocidades de los anclajes (negro) comparadas con datos de AVISO con un factor de multiplicación de 2.7 (azul). La línea roja señala la velocidad de 1 m/s. Sin embargo, se observó que, la variabilidad de los datos de AVISO y la de los datos de los anclajes es muy similar.

Al realizarse las comparaciones entre ambas bases y datos y observarse que la variabilidad es similar, se calculó la correlación de los datos de AVISO, tomando como referencia un punto cercano a PM para el cálculo de la correlación de variabilidad de la zona (Figura 9). Se observó que en los anclajes norte existe una correlación de 0.5 o mayor entre los datos de las zonas, lo que significa que la variabilidad de la corriente es muy similar entre esas zonas.

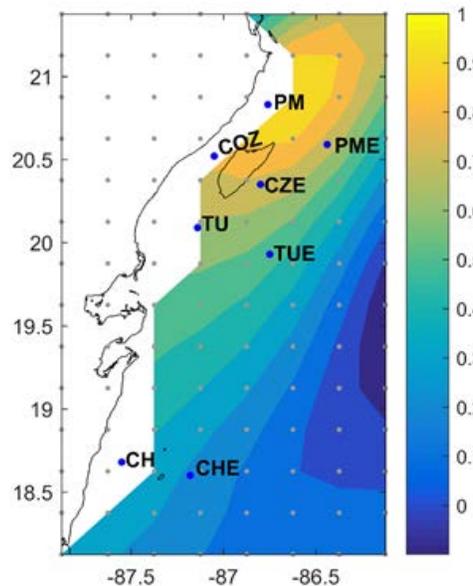


Figura 9. Mapa de la correlación de variabilidad de la corriente, tomando como referencia un punto cercano al anclaje de PM.

Con los datos de los anclajes, se quiso conocer si se presentaba una estacionalidad en la corriente (Figura 11). Gracias a un análisis de la desviación estándar de los datos podemos observar que no existe una estacionalidad aparente en ninguno de los anclajes, ya que las líneas indicadoras no muestran una separación, lo cual indica que los datos de un mes igualmente se encuentran dentro del otro mes, por lo tanto, no hay una variabilidad estacional en los datos de velocidad de la corriente de los anclajes.

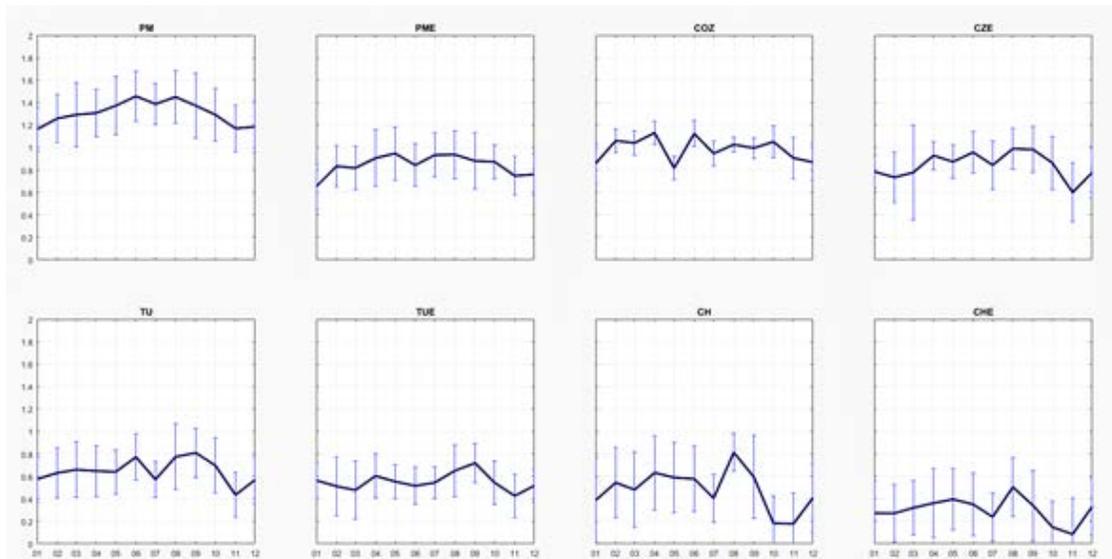


Figura 11. Flujo de la velocidad máxima de la corriente obtenida gracias a los datos de satélite AVISO.

Posterior al análisis de la estacionalidad con los datos de anclajes, se realizó el mismo análisis con los datos de satélite (Figura 12), ya que los datos de anclajes sólo obtenemos datos de ese punto en particular solamente en los años disponibles y AVISO nos otorga datos de toda la superficie, así como un dato diario por 25 años. Los resultados son similares a los obtenidos en el análisis de los anclajes, por lo que se puede inferir que no existe una estacionalidad en la velocidad de la corriente de la zona de estudio.

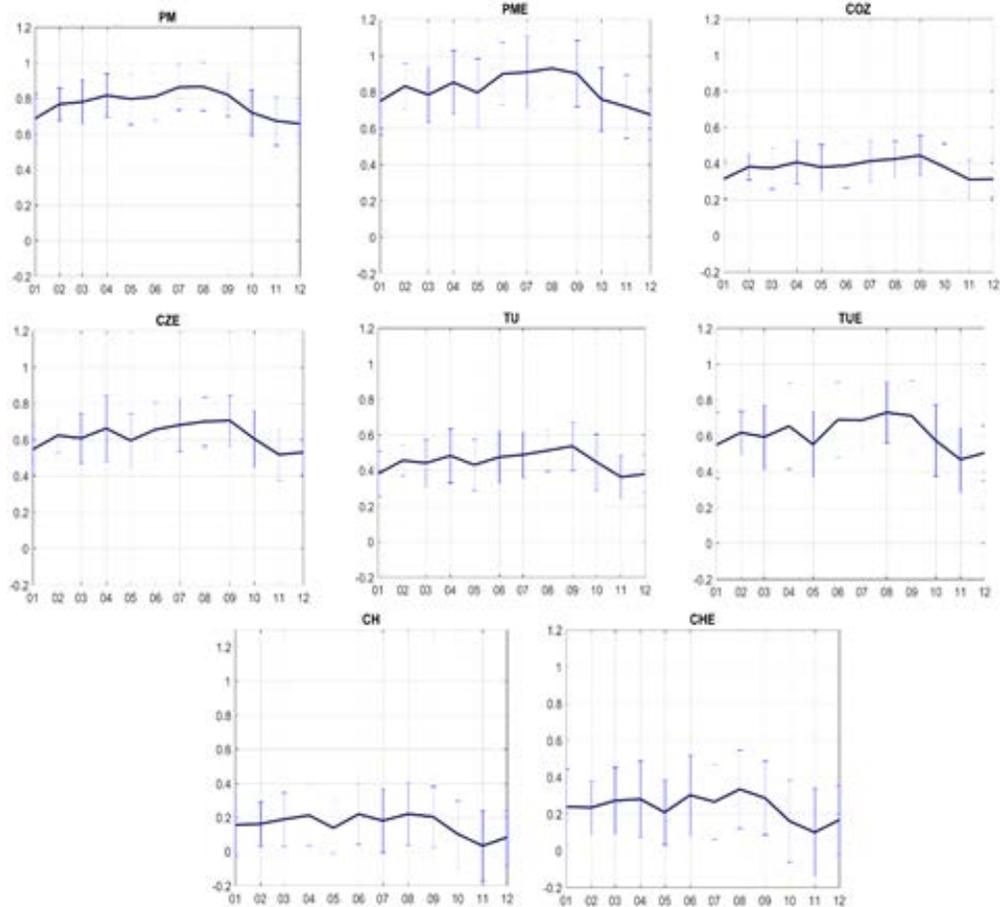


Figura 12. Flujo de la velocidad máxima de la corriente obtenida gracias a los datos de satélite AVISO.

Posterior al análisis de estacionalidad, y al no observarse esta variabilidad, se realizó un análisis de la variabilidad anual en PM (Figura 13) ya que es el punto que se ha observado que cuenta con las características necesarias para el óptimo aprovechamiento de las turbinas. Se puede observar a primera instancia que los datos de la velocidad obtenidos de los anclajes CANEK (negro) son similares en variabilidad a los datos de la velocidad de satélite AVISO (azul), los cuales para facilitar su comparación en esta gráfica se les multiplicó por un factor de multiplicación de 2.

En la figura 13 podemos observar una variabilidad de 2 a 3 años, con un aumento de la velocidad por un lapso de 2 a 3 años, seguido por una disminución por el mismo lapso de tiempo y así sucesivamente.

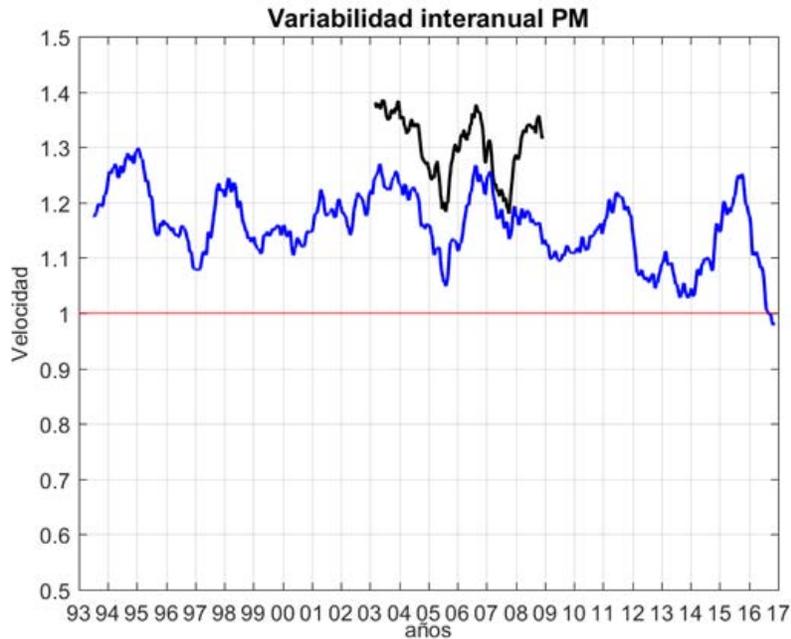


Figura 13. Flujo de la velocidad máxima de la corriente obtenida gracias a los datos de satélite AVISO.

Para realizar el análisis de los remolinos de la zona, se observaron videos creados a partir de los datos de satélite AVISO. Gracias a estas observaciones podemos conocer los ciclones o anticiclones que afectan la velocidad de la corriente en las distintas zonas donde se encuentran los anclajes.

Conclusión

Se encontró que Puerto Morelos es una zona dinámicamente estable, con velocidades mayores a 1 m/s hasta los 100 m de profundidad, durante el 93% del periodo analizado (2003-2009). La variabilidad de las corrientes se encuentra altamente correlacionada ($r > 0.5$) entre los anclajes al norte de Tulum, donde se observó que la dirección de la corriente es constantemente unidireccional. Así mismo se observó que no existe una estacionalidad significativa en la velocidad de la corriente, y que son principalmente los remolinos ciclónicos y anticiclónicos que atraviesan la zona del Caribe Mexicano, los que juegan un papel importante en la desaceleración y aceleración de la corriente en los diversos anclajes, encontrándose una periodicidad de aproximadamente 3 meses desde las zonas aledañas al Banco de Chinchorro hasta el Canal de Yucatán.

Referencias

- Athié, G., Candela, J., Ochoa, J., & Sheinbaum, J. (2012). Impact of Caribbean cyclones on the detachment of Loop Current anticyclones. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C3). doi:10.1029/2011jc007090
- Athié, G., Candela, J., Sheinbaum, J., Badan, A., & Ochoa, J. (2011). Yucatan Current variability through the Cozumel and Yucatan channels. *Ciencias Marinas*, 37(4A), 471-492.
- Alcérreca-Huerta, J. C., Encarnacion, J. I., Ordoñez-Sánchez, S., Callejas-Jiménez, M., Gallegos Diez Barroso, G., Allmark, M., Mariño-Tapia, I., et al. (2019). Energy Yield Assessment from Ocean Currents in the Insular Shelf of Cozumel Island. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(5), 147. MDPI AG. doi:10.3390/jmse7050147
- Badan Jr, A., Candela, J., Sheinbaum, J., & Ochoa, J. (2005). Upper-layer circulation in the approaches to Yucatan Channel. *Washington DC American Geophysical Union Geophysical Monograph Series*, 161, 57-69.
- Bahaj, A. S., & Myers, L. E. (2003). Fundamentals applicable to the utilization of marine current turbines for energy production. *Renewable energy*, 28(14), 2205-2211.
- Candela, J., Tanahara, S., Crepon, M., Barnier, B., & Sheinbaum, J. (2003). Yucatan Channel flow: Observations versus CLIPPER ATL6 and MERCATOR PAM models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C12).
- Cetina, P., Candela, J., Sheinbaum, J., Ochoa, J., & Badan, A. (2006). Circulation along the Mexican Caribbean coast. *Journal of Geophysical Research*, 111(C8). doi:10.1029/2005jc003056
- Chávez, G., Candela, J., & Ochoa, J. (2003). Subinertial flows and transports in Cozumel Channel. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C2), n/a-n/a. doi:10.1029/2002jc001456
- Laws, N. D., & Epps, B. P. (2016). Hydrokinetic energy conversion: Technology, research and outlook. 57, 1245-1259.
- Murray, R. (2006). Review and analysis of ocean energy systems development and supporting policies. *Sustainable Energy Ireland*.
- Oey, L., Ezer, T., & Lee, H. (2005). Loop Current, rings and related circulation in the Gulf of Mexico: A review of numerical models and future challenges. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 161, 31.
- Sheinbaum, J., Candela, J., Badan, A., & Ochoa, J. (2002). Flow structure and transport in the Yucatan Channel. *Geophysical Research Letters*, 29(3), 10-11-10-14.

Sheinbaum, J., Athié, G., Candela, J., Ochoa, J., & Romero-Arteaga, A. (2016). Structure and variability of the Yucatan and loop currents along the slope and shelf break of the Yucatan channel and Campeche bank. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 76, 217-239.

EFICIENCIA DEL REACTIVO FENTON COMO AGENTE REDUCTOR EN AGUAS CONTAMINADOS CON NÍQUEL

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ RAMÍREZ¹, OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO², FABIOLA LANGO REYNOSO³, MARIO RAFAEL AGUILAR RODRÍGUEZ⁴

Resumen

Cada año se vierten a los cuerpos de agua millones de metros cúbicos de aguas residuales las cuales son tratadas de forma inadecuada, siendo estos procedimientos ineficientes para alcanzar lo requerido por la ley o para uso dentro de los procesos industriales, por lo que el presente trabajo se enfoca en evaluar a nivel laboratorio la reducción de níquel utilizando un proceso de oxidación avanzada (método Fenton), el cual está basado en añadir sulfato ferroso en proporciones conocidas y peróxido de hidrógeno en la solución, el cual producirá radicales hidroxilos encargados de la reducción del contaminante. El principal aporte de esta investigación es ofrecer una alternativa para el tratamiento de aguas que tengan níquel como agente contaminante, siendo este método más efectivo y genera menos contaminación durante el proceso. Se evaluó el tratamiento en diferentes concentraciones 300 mg L⁻¹, 600 mg L⁻¹ y 900 mg L⁻¹ de sulfato de ferroso con una concentración constante de peróxido de oxígeno grado reactivo de 500 mg L⁻¹, utilizando agua sintética a 60 mg L⁻¹ de níquel. Se determinó que las dosis con las que se obtenían mejores resultados son 300 mg L⁻¹ de sulfato ferroso con 500 mg L⁻¹ de peróxido de oxígeno ya que lograron una remoción del contaminante de 83.33%.

Palabras clave: Proceso de Oxidación Avanzada; Aguas residuales; Tratamiento alternativo

Abstrac

Every year millions of cubic meters of wastewater are discharged into water bodies, which are treated in an inadequate way, these procedures being inefficient to achieve what is required by law or for use within industrial processes, so this work focuses on evaluating nickel reduction at a laboratory level using an advanced oxidation process (Fenton method), which is based on adding ferrous sulfate in

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (ITSMT), Cmo. a Cartago s/n, Vega Redonda, C. P.93610, Martínez de la Torre, Ver. malopez@tecmartinez.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Angel de Quevedo 2779, Formando Hogar, C.P. 91897 Veracruz, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

known proportions and hydrogen peroxide in the solution, which will produce hydroxyl radicals responsible for the reduction of the pollutant. The main contribution of this research is to offer an alternative for the treatment of waters that have nickel as a pollutant, this method being more effective and generating less contamination during the process. The treatment was evaluated at different concentrations of 300 mg L⁻¹, 600 mg L⁻¹ and 900 mg L⁻¹ of ferrous sulfate with a constant concentration of reagent grade oxygen peroxide of 500 mg L⁻¹, using synthetic water at 60 mg L⁻¹ nickel. It was determined that the doses with which the best results were obtained are 300 mg L⁻¹ of ferrous sulfate with 500 mg L⁻¹ of oxygen peroxide since they achieved a removal of the contaminant of 83.33%.

Key words: Advanced Oxidation Process; Sewage water; Alternative treatment

Introducción

De la cantidad total de agua existente en la Tierra, tan sólo el 1,0% es potable y un mal tratamiento de esta ha causado problemas sanitarios y enfermedades asociadas a comunidades enteras ya que 80% de las enfermedades que azotan a los países en vía de desarrollo es ocasionado por un abastecimiento de agua deficiente (Sarria et al., 2005). El acceso al agua potable es un derecho imprescindible, ya que satisface las necesidades básicas referidas a la salud y las condiciones de vida de las poblaciones humanas; expresado por el derecho de gozar de altas coberturas en los servicios de agua y saneamiento. Sin embargo, a nivel mundial aún se identifican deficiencias en la calidad de la prestación de los servicios, organización, ausencia de planificación e insuficiente inversión que puedan garantizar a medio y largo plazo el sostenimiento de las coberturas en los servicios de agua y saneamiento en numerosos países

A pesar de la limitación para obtenerla en una calidad aceptable, el agua es el elemento central de todos los procesos vitales, sociales y económicos que forman parte de un ciclo cerrado. Este ciclo se encuentra en crisis, debido a que el incremento y desarrollo de la sociedad de consumo exige un aumento constante de las actividades industriales y agroindustriales (Sarria et al., 2005)

Este creciente problema exige un riguroso control de la contaminación y una legislación cada vez más exigente. Como respuesta a ello, y dada la incapacidad de los métodos convencionales para remover efectivamente muchos de los contaminantes existentes, en los últimos años se ha presentado una intensa búsqueda de nuevas y eficientes tecnologías de tratamiento de aguas (Ollis y Al-Ekabi, 1983) y debido a la progresiva demanda de la sociedad para la descontaminación de aguas contaminadas de diversos orígenes, ha materializado regulaciones cada vez más estrictas.

En la práctica, la aplicación de los métodos de tratamiento debe tener en cuenta fundamentalmente la naturaleza y las propiedades fisicoquímicas de las aguas o efluentes a tratar (Water Treatment Handbook, 1991). Las aguas contaminadas por la actividad humana pueden, en general, ser procesadas eficientemente por plantas de tratamiento biológico, por adsorción con carbón activado u otros adsorbentes, o por tratamientos químicos convencionales (oxidación térmica, cloración, ozonización, permanganato de potasio, etc.). Sin embargo, en algunos casos, estos procedimientos resultan inadecuados para alcanzar el grado de pureza requerido por ley o por el uso ulterior del efluente tratado. En estos casos, y debido a la escasez del hídrico, se está recurriendo en los países industrializados al uso de las llamadas Tecnologías o Procesos de Oxidación Avanzada (TOA's, POA's), los cuales son muy poco aplicados y, peor aún, menos difundidos en los países de economías emergentes como los de América Latina. La mayoría de los POA's puede aplicarse a la remediación y detoxificación de aguas especiales, generalmente en pequeña o mediana escala. Los métodos pueden usarse solos o combinados entre ellos o con métodos convencionales, pudiendo ser aplicados también a contaminantes de aire y suelos e incluso permiten la desinfección por inactivación de bacterias y virus.

Materiales y Métodos

La presente experimentación se realizó en situaciones controladas y utilizando agua sintética, los materiales y reactivos ocupados para dicha experimentación fueron los siguientes:

Balanza analítica de 0 a 50 g, incremento de 0.001 g

Probeta de 1 L

2 vasos de precipitados

Sulfato de níquel

Sulfato de Hierro

Peróxido de Hidrógeno

Agitador magnético con placa de calefacción

Equipo Hanna 83300

Cubetas de 10 mL para Hanna 83300

Reactivo Níquel Rango Bajo A (HI 93740A-0)

Reactivo Níquel Rango Bajo B (HI 93740B-0)

Reactivo Níquel Rango Bajo C (HI 93740C-0)

Reactivo níquel, rango alto (HI 93726-0)

Una vez realizada la identificación de los materiales y reactivos se procede a empezar con la experimentación.

Realización del agua sintética.

Se calcula la cantidad másica de sulfato de níquel necesario para realizar el agua sintética tomando en consideración la pureza del reactivo sulfato de níquel del 98% y derivado que se encuentra hidratado su peso molecular total es de 263 u.m.a y de acuerdo al níquel contenido en el reactivo el peso molecular es de 58.69 u.m.a, tomando en cuenta como base 1 mol, el resultado es de 263 g de reactivo y 58.69 g.

$$n = \frac{m}{PM} \therefore m = n * PM = 1 \text{ mol} \left(263 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)$$

$$m_{\text{reactivo}} = 263 \text{ g}$$

$$m_{\text{Ni}} = 58.69 \text{ g}$$

Tomando en cuenta la relación másica de entre el níquel y el reactivo contemplando el porcentaje de pureza del reactivo de 98% (0.98) se tiene un porcentaje de 0.2189 por lo que con esta relación se puede considerar esto para calcular las 60 partes por millón para 500 mL.

$$mg = \frac{30 \text{ mg}}{0.2189} = 137.05 \text{ mg}$$

$$ppm = \frac{30 \text{ mg}}{0.5 \text{ L}} = 60 \text{ ppm}$$

Una vez contenida la cantidad de sulfato de níquel a añadir, se vierte los miligramos en un vaso de precipitados y con la ayuda del agitador magnético se procede a disolver el sulfato de níquel añadiendo agua destilada.

A continuación, se describen los métodos de acuerdo al equipo Hanna Instruments 83300.

Determinación de níquel contenido en el agua sintética por método Níquel, rango alto.

*La aplicación de este método se realiza al inicio de elaborar el agua sintética, para garantizar que no hay una variación de concentración al inicio de esta.

Características del método:

Rango: 0 a 7000 ppm

Método: Adaptado de photometric method

Fuente: LED con filtro de interferencia de banda estrecha de 575 nm

Reactivos: HI 93726-0, Reactivo níquel, rango alto

Procedimiento de Medición:

1. Seleccionar el método de níquel rango alto dando clic en método.
2. Llenar la cubeta con 10 mL de muestra no reaccionada.
3. Colocar la cubeta en el soporte y cerrar la tapa.
4. Presionar la tecla "cero" (Zero). Al final de la medición "cero" la pantalla muestra el indicador "-0.0-". El medidor está ahora listo para la medición.

5. Retirar la cubeta y agregar el contenido de 1 paquete del reactivo níquel rango alto HI 93726-0.
6. Colocar de nuevo la tapa y agitar suavemente hasta que se disuelva por completo.
7. Presionar el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición o espere 1 minuto y presione el botón leer (Read).
8. Cuando el temporizador termine, el medidor realizará la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg L^{-1} (ppm) de níquel (Ni).

Proceso de oxidación por el método Fenton

Una vez elaborada el agua sintética, se procede a amortiguar el pH hasta alcanzar los parámetros de 2, 3 y 4 ya que en medio ácido como menciona Ghosh et al. (2010) y Neyens y Baeyens (2003) da mejores eficiencias. Una vez amortiguado el pH se ocupa la metodología de López et al., (2018) para establecer las concentraciones necesarias para 1 L.

Determinación de níquel contenido en el agua sintética posterior al proceso de oxidación.

*La aplicación de este método se realiza en los intervalos de 30 minutos y 60 minutos iniciado el proceso para tener un parámetro de control durante el tiempo de oxidación.

Características del método:

Rango: 0 a 1 ppm

Método: Adaptado de PAN Method

Fuente de luz: LED con filtro de interferencia de banda estrecha de 575 nm

Reactivos: HI 93740A-0, Reactivo níquel, rango bajo A; HI 93740B-0; Reactivo níquel, rango bajo B y HI 93740C-0, Reactivo níquel, rango bajo C.

Procedimiento de Medición:

1. Seleccionar el método níquel rango bajo siguiendo el procedimiento descrito en método anterior punto 1.
2. Llenar un vaso de precipitado graduado con 25 mL de agua desionizada (blanco) y otro vaso de precipitado con 25 mL de la muestra.
3. Agregar 1 paquete del reactivo níquel, rango bajo A HI 93740A-0 a cada vaso de precipitado. Ciérrelo y agite suavemente hasta que el reactivo se disuelva.
4. Agregar 1 mL del reactivo níquel, rango bajo B HI 93740B-0 a cada vaso de precipitado, y agitar para mezclar.
5. Presionar el temporizador (Timer) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva antes de realizar la medición o espere 15 minutos.

6. Añadir 1 paquete del reactivo níquel, rango bajo C HI 93740C-0 a cada vaso de precipitado, cerrarse y agitar para mezclar hasta que se disuelva por completo.
7. Llenar una cubeta (#1) con 10 mL del blanco (hasta la marca).
8. Colocar la cubeta en el soporte y cierre la tapa.
9. Presionar la tecla cero (Zero). Al final de la medición cero la pantalla muestra el indicador "-0.0-". El medidor está ahora listo para la medición.
10. Llenar la segunda cubeta (#2) con 10 mL de la muestra (hasta la marca).
11. Introducir la segunda cubeta en el instrumento y cierre la tapa.
12. Presionar el botón de leer (Read) para comenzar la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg L^{-1} (ppm) de níquel (Ni).

Nota: Una temperatura mayor de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ puede causar turbidez. En cuyo caso, antes de realizar la medición cero y la de la muestra, se deben agregar de 2 a 3 gotas del agente dispersante HI 93703-51 a cada cubeta y moverlo hasta eliminar la turbidez.

Método estadístico.

La prueba de Tukey es una prueba estadística utilizada general y conjuntamente con ANOVA, La prueba Tukey se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones. De acorde a los resultados obtenidos en el paso anterior y mediante un análisis de confianza al 95% de Tukey, el cual consiste en comparar el resultado de un producto del error estándar de la media por el valor tabular en la tabla de Tukey usando como numerador el número de tratamientos y como denominador los grados de libertad del error.

El programa a utilizar para realizar dicha prueba es MiniTab 19, el cual nos indicará si existen diferencias significativas entre los resultados con respecto al valor inicial del contaminante y así mismo entre los tratamientos realizados para su eliminación (oxidación).

En la figura 1 se puede observar el diagrama general del proceso de experimentación.

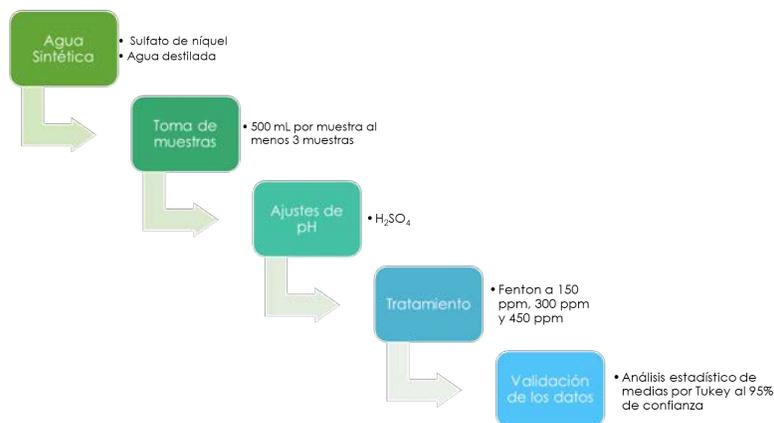


Figura 1. Proceso experimental

Fuente: Propia

Resultados y Discusión

De acuerdo a las experimentaciones realizadas en diferentes proporciones y en los tiempos de 0, 30 minutos y 60 minutos se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 1. Matriz de resultados de remoción de acuerdo a pH 2 y variación de concentración (Propia)

		Repeticiones				Promedio de remoción
pH	2	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	150	30 minutos	60	60	60	0.00
Inicio	60 ppm	60 minutos	60	60	60	0.00
pH	2	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	300	30 minutos	60	60	60	0.00
Inicio	60 ppm	60 minutos	40	40	40	33.33
pH	2	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	450	30 minutos	40	40	40	33.33
Inicio	60 ppm	60 minutos	30	30	30	50.00

Cuadro 2. Matriz de resultados de remoción de acuerdo a pH 3 y variación de concentración (Propia)

		Repeticiones				Promedio de remoción
pH	3	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	150	30 minutos	60	60	60	0.00
Inicio	60 ppm	60 minutos	60	60	60	0.00
pH	3	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	300	30 minutos	60	60	60	0.00
Inicio	60 ppm	60 minutos	50	50	50	16.67
pH	3	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	450	30 minutos	50	50	50	16.67
Inicio	60 ppm	60 minutos	40	40	40	33.33

Cuadro 3. Matriz de resultados de remoción de acuerdo a pH 3 y variación de concentración (Propia)

		Repeticiones				Promedio de remoción
pH	4	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	150	30 minutos	60	60	60	0.00
Inicio	60 ppm	60 minutos	60	60	60	0.00
pH	4	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	300	30 minutos	50	50	50	16.67
Inicio	60 ppm	60 minutos	40	40	40	33.33
pH	4	0 minutos	60	60	60	0.00
Fenton (ppm)	450	30 minutos	50	50	50	16.67
Inicio	60 ppm	60 minutos	30	30	30	50.00

Una vez obtenido los resultados se procede a descartar los procesos los cuales no obtuvieron ningún porcentaje de remoción y una vez realizado esto, se continua con la prueba de medias por Tukey al 95% utilizando el programa de Minitab 1, esto para identificar, las similitudes o diferencias entre ellos, como se visualiza en la Figura 1.

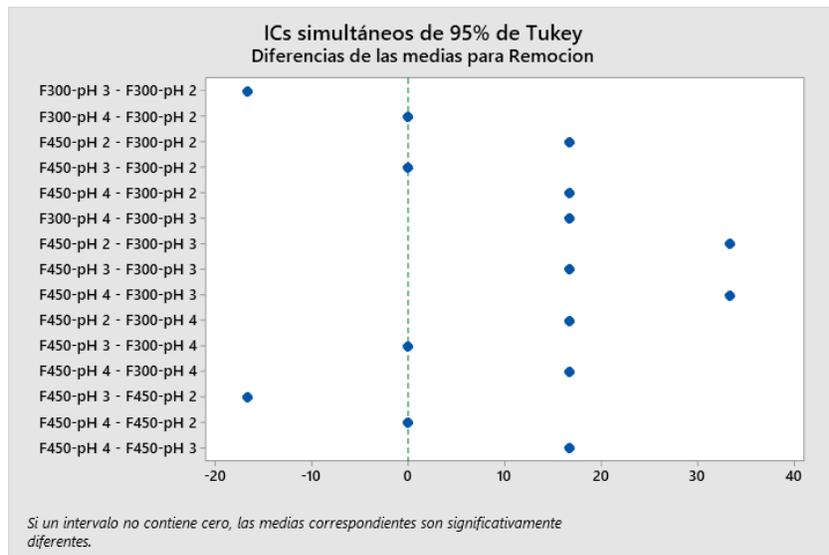


Figura 1. Pruebas de medias de los procesos con remoción (Propia)

Una vez analizando los procesos se observa que la eficiencia máxima del 50% de remoción por proceso Fenton lo comparten la concentración de 450 ppm de sulfato ferroso a pH 2 y 4, siendo estos resultados similares obtenidos por Barbusinski y Filipek en el año 2001 donde obtuvieron una reducción del contaminante medida como DQO del 58% a pH entre 3 y 3.5, así mismo los resultados obtenidos con una eficiencia del 33% (Fenton a 300 ppm a un pH de 4 y un pH de 2 y Fenton a 450 ppm con un pH) son similares a la reducción obtenida por Mahuud y Hoadley (2012) pero estos ocupando otro proceso de oxidación avanzada enfocada en la electrocoagulación.

Conclusión

El reactivo Fenton demostró que su máxima eficiencia en el proceso de eliminación de níquel del 50% de remoción siendo en ambos pH (2 y 4) la dosis óptima de 450 ppm de sulfato Ferroso, sin embargo, la acidificación del agua incluye un gasto, por lo que se recomienda amortiguar a pH 4, si el agua a tratar se encuentra superior a 4 unidades de pH, por otra parte, si el pH se encuentra a 2 o menos unidades se recomendaría amortiguar con cualquier agente basificante hasta 2.

Como recomendación se propone combinar el proceso Fenton con otro tratamiento, para evaluar si el proceso puede alcanzar mejores resultados, ya que este proceso alcanza valores altos en agua contaminadas en su mayoría con materia orgánica.

Referencias

- Barbusinski, K. y Filipek, K. (2001). Use of Fenton's reagent for removal of pesticides from industrial wastewater. *Pol J Environ Stud*, 10: 207–212 de <https://n9.cl/imi91>.
- Ghosh, P., Samanta, A.N. y Ray, S. (2010). COD reduction of petrochemical industry wastewater using Fenton's oxidation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 88(6): 1021-1026. <https://doi.org/10.1002/cjce.20353>.
- López-Ramírez, M. A. (2018). Diseño de un sistema teórico-experimental de tratamiento de lixiviado del basurero de Veracruz. Tesis para la obtención del grado de Maestría. México.
- Mahmoud, A y Hoadley, A. (2012). An evaluation of a hybrid ion exchange electro dialysis process in the recovery of heavy metals from simulated dilute industrial wastewater. *Water Research*, 46: 3364-3376 de <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.039>.
- Neyens, E. y Baeyens, J. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*, 98(1-3); 33-50. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00282-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00282-0).
- Ollis, D. y Al-Ekabi, H. (1983). *Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air*. Amsterdam: Elsevier. <https://n9.cl/6efxu>.
- Sarria, V. M., Parra, S., Rincón, A., Torres, R. A. y Pulgarín, C. (2005). Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista Colombiana de Química*, 34(2): 161-173 de <https://n9.cl/y16v>.
- Water Treatment Handbook. 1991. Degremont", 6a Edición. Editorial Lavoisier Publishing, Paris.

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LA BIODEGRADACIÓN DE FÁRMACOS EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS

MIGUEL AGUILERA FLORES¹, VERÓNICA ÁVILA VÁZQUEZ², NAHUM MEDELLÍN CASTILLO³

Resumen

Las Celdas de Combustible Microbianas (CCM) son una tecnología que ha ganado auge en los últimos años, derivado de su doble propósito de producir energía renovable al mismo tiempo que se biodegradan contaminantes en agua. Los medicamentos son el grupo más representativo de los denominados “contaminantes emergentes”, presentes en aguas residuales y tratadas, por lo que el estudio de la aplicación de CCM para la eliminación de estos contaminantes es un área de interés. Por ello, el objetivo de este proyecto fue evaluar la biodegradación de dos fármacos (ibuprofeno y carbamazepina), y la generación de energía renovable en CCM. Para ello, se operaron dos CCM de cámara simple anódica anaerobia de 150 mL, a condiciones ambientales y pH neutro; alimentada la primera con 50 mg/L de ibuprofeno, y la segunda con 50 mg/L de carbamazepina; siendo ambas inoculadas con 1.5 g de suelo activado. Los resultados mostraron ciclos de biodegradación de ibuprofeno y carbamazepina de 14 y 11 días, alcanzando densidades de potencia máximas de 2.46 y 2.57 mW/m², respectivamente; siendo menos resistiva a la transferencia de carga la CCM operada con carbamazepina. Esto fue consistente con las eficiencias de biodegradación obtenidas para ibuprofeno (29 %) y carbamazepina (74 %), respectivamente. Los resultados muestran que las CCM podrían ser factibles como tecnología alternativa para biodegradar medicamentos y a su vez producir energía renovable, por lo que estas tecnologías deben seguir siendo estudiadas para la mejora de su desempeño y aplicación a gran escala en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Contaminantes emergentes, energía alterna, densidad de potencia máxima, eficiencia de biodegradación, tratamiento del agua.

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, (PMPCA-UASLP), Av. Manuel Nava 201, Col. Zona Universitaria Poniente 78210, San Luis Potosí, S.L.P. Instituto Politécnico Nacional, (UPIIZ-IPN), Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac. maguileraf@ipn.mx; mmaf1@hotmail.com

² Instituto Politécnico Nacional, (UPIIZ-IPN), Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac.

³ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, (CIEP-UASLP), Av. Manuel Nava No. 8, Col. Zona Universitaria Poniente 78290, San Luis Potosí, S.L.P.

Abstract

Microbial Fuel Cells (MCC) are a technology that has gained popularity in recent years, derived from its dual purpose of producing renewable energy while biodegrading contaminants in water. Medicines are the most representative group of the so-called "emerging contaminants", present in wastewater and treated water, so the study of the application of CCM for the elimination of these contaminants is an area of interest. Therefore, the objective of this project was to evaluate the biodegradation of two drugs (ibuprofen and carbamazepine), and the generation of renewable energy in CCM. For this, two 150 mL anaerobic single anodic chamber MCCs were operated at ambient conditions and neutral pH; fed the first with 50 mg/L of ibuprofen, and the second with 50 mg/L of carbamazepine; both being inoculated with 1.5 g of activated soil. The results showed ibuprofen and carbamazepine biodegradation cycles of 14 and 11 days, reaching maximum power densities of 2.46 and 2.57 mW/m², respectively; MCC operated with carbamazepine being less resistive to load transfer. This was consistent with the biodegradation efficiencies obtained for ibuprofen (29%) and carbamazepine (74%), respectively. The results show that CCM could be feasible as an alternative technology to biodegrade drugs and in turn produce renewable energy, so these technologies should continue to be studied to improve their performance and large-scale application in wastewater treatment.

Keywords: Emerging pollutants, alternative energy, maximum power density, biodegradation efficiency, water treatment.

Introducción

La aparición de nuevos contaminantes y su impacto nocivo tanto en ecosistemas acuáticos y terrestres, así como en la salud humana, es en la actualidad un tema de preocupación entre los científicos, ingenieros y el público en general (Gogoi et al., 2018). Estos nuevos contaminantes, de origen antropogénico, pertenecen a diversas clases de compuestos y por lo general se detectan a concentraciones en el rango de 1 ng/L a 1 µg/L, aunque en algunos casos las concentraciones varían hasta 100 µg/L. Su importancia toxicológica es difícil de evaluar y todavía no se han establecido los límites de concentración generalmente aceptados para el agua potable y los límites de descarga para los efluentes de aguas residuales; por todo ello reciben el nombre de "contaminantes emergentes" (Gogoi et al., 2018; Pal et al., 2014; Rivera-Utrilla et al., 2013).

Los fármacos son el grupo más representativo de estos contaminantes. Su presencia en el agua es atribuible a descargas de aguas residuales municipales (domésticas), agrícolas, hospitalarias o de laboratorios; desechos de la industria farmacéutica, desechos hospitalarios y medicamentos terapéuticos. Además, el problema se agrava ya que las tecnologías convencionales no logran eliminarlos, aunado al hecho de que éstas suelen ser de alto costo por la demanda energética

que requieren y, asimismo, generan desechos (Gogoi et al., 2018; Rivera-Utrilla et al., 2013; Yang et al., 2014). Entonces analizar posibles soluciones tanto para reducir el consumo energético como para incrementar la producción de energía renovable en el tratamiento de agua es indispensable (Capodaglio & Olsson 2019). Las Celdas de Combustible Microbianas (CCM) son sistemas bioelectroquímicos que ofrecen grandes ventajas asociadas a su doble función, ya que se genera bioenergía, mientras que bacterias electroquímicamente activas (BEA) biodegradan diversos sustratos (contaminantes) en solución (Xu et al., 2018). Numerosos sustratos pueden ser utilizados en las CCM, pero su aplicación en la biodegradación de contaminantes emergentes persistentes en el ambiente, como los medicamentos, son escasamente reportados. Diversos autores han reportado la biodegradación de medicamentos utilizando únicamente CCM como tecnología, o bien acoplada a otros sistemas de eliminación de contaminantes (Xu et al., 2018; Li et al., 2019; Zou et al., 2020; Aguilera-Flores et al., 2021).

El ibuprofeno y la carbamazepina son fármacos que se encuentran listados como contaminantes de potencial importancia a nivel mundial, en función de sus altos volúmenes de uso (médico y/o veterinario), interés toxicológico, y relevancia para la salud pública (Castro-Pastrana et al., 2015). Es por ello que el objetivo de este proyecto fue evaluar la producción de energía renovable a partir de la biodegradación de ibuprofeno y carbamazepina utilizando CCM como tecnología.

Materiales y Métodos

Se construyeron dos CCM de cámara simple anódica anaerobia con un volumen total de celda de 150 ml, las cuales fueron operadas a condiciones ambientales y pH neutro. Las CCM fueron alimentadas con 50 mg/L de ibuprofeno y 50 mg/L de carbamazepina, de forma independiente. Se usó fieltro de carbón como ánodo, Nafión como membrana de intercambio protónico, y tela de carbón con Platino como cátodo. Ambas CCM fueron inoculadas con 1.5 g de suelo activado. La activación se hizo a una temperatura entre 30 y 40 °C en aproximadamente 150 mL de una solución tampón de fosfato de potasio (pH 7). La producción de energía renovable y la biodegradación de los fármacos fueron evaluadas para determinar el desempeño de las celdas.

La producción de energía renovable se asoció a la densidad de potencia máxima obtenida en las CCM durante su ciclo de operación. Para ello se hizo una caracterización electroquímica de las CCM, la cual consistió en monitorear el potencial a circuito abierto (OCP) durante su operación, y en aplicar técnicas electroquímicas como: voltamperometría de barrido lineal (LSV) y espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS). El OCP se midió desde el día en que arrancaron las CCM (día 0) hasta el final del ciclo de operación (cuando hubo una caída de voltaje), siendo de 14 días para el ibuprofeno, y de 11 días para la carbamazepina. Las mediciones de LSV se realizaron a una velocidad de 0.001 V/s,

el barrido se hizo desde el potencial a circuito abierto hasta 0.05 V. Las mediciones de EIS se llevaron a cabo en el rango de frecuencia de 10 kHz a 0.1 Hz con una amplitud potencial de 10 mV.

La eficiencia de biodegradación fue evaluada a partir de una caracterización fisicoquímica, la cual consistió en analizar las concentraciones de ibuprofeno y carbamazepina, inicial y final, mediante HPLC-UV, utilizando un equipo Waters e2695 con detector 2998 PDA. Se utilizó acetonitrilo (grado HPLC) como fase móvil al 1% p/p con ácido acético. Se prepararon soluciones estándar de trabajo equivalentes a 5, 10, 20, 30 y 40 mg/L mediante la dilución adecuada de la solución estándar madre (50 mg/L). Se inyectaron automáticamente 5 μ L de alícuotas de cada solución en la columna y se registraron los cromatogramas. El gráfico de calibración se preparó trazando el área del pico medio frente a la concentración del fármaco, estimándose las concentraciones desconocidas a partir de la ecuación de regresión.

Resultados y Discusión

En la Figura 1(a) se muestran los potenciales obtenidos a circuito abierto para ambas CCM. Puede notarse que la CCM con ibuprofeno tuvo un incremento máximo de voltaje de 226 mV entre los días 5 y 7, mientras que la de carbamazepina solo mostró un incremento de 210 mV entre los días 4 y 6. Asimismo, la caída de voltaje en la CCM con ibuprofeno fue a los 14 días, y la de carbamazepina a los 11 días, por lo que estos días correspondieron a los ciclos de operación de ambas celdas y se asociaron al ciclo de biodegradación que tuvo cada medicamento en las CCM. Aguilera-Flores (2021) probó el uso de un bioánodo hecho a partir del carbonizado de hueso de pez diablo, comparando su desempeño con el fieltro de carbón. En este trabajo, se usó ibuprofeno como sustrato (50 mg/L), tierra para macetas como inóculo (1.2 g) y un volumen de celda de 100 ml, reportando una variación de potencial respecto al tiempo muy similar a este estudio, obteniendo igual una caída de voltaje en el día 14.

Por otro lado, la Figura 1(b) muestra la densidad de potencia máxima alcanzada para cada CCM, siendo de 2.46 mW/m² para ibuprofeno, y 2.57 mW/m² para carbamazepina. Estos valores reflejan la ganancia de energía renovable o producción de bioenergía máxima que se obtiene al operar las CCM bajo las condiciones establecidas. Aguilera-Flores et al. (2021), reportaron un valor de 2.43 mW/m² en la biodegradación de ibuprofeno en una CCM de cámara simple con un volumen de celda de 100 ml. Al utilizar otra configuración de celda (de cúbica a cilíndrica), e incrementar su volumen a 150 ml como en este caso, se puede observar que la densidad de potencia máxima alcanzada solo varía en 0.03 mW/m², por lo que otras condiciones en términos de diseño de la celda, uso de otro sustrato, o variación de la concentración del sustrato, podría mejorar significativamente el desempeño de la celda.

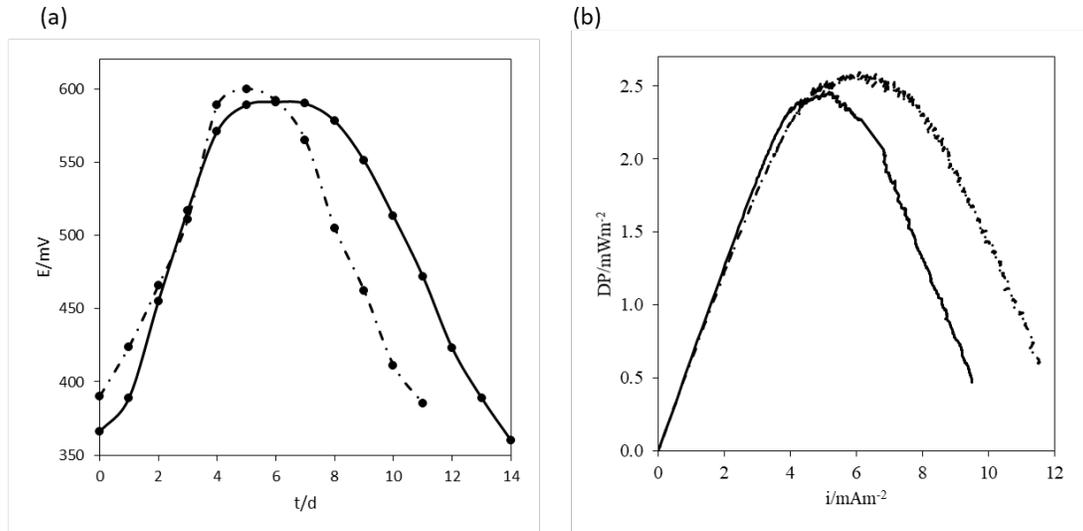


Figura 1. (a) Potenciales a circuito abierto. (b) Curvas de densidad de potencia. (Línea sólida, CCM alimentada con 50 mg/L de ibuprofeno; línea discontinua, CCM alimentada con 50 mg/L de carbamazepina).

Por un lado, Xu et al. (2020) reportaron un valor de densidad de potencia de 0.119 mW/m^2 en una CCM con bioánodo PANi@CNTs/SS y cátodo fotocatalítico CuInS_2 para la degradación de 10 mg/L de ibuprofeno a las 40 h. Este valor es 20.7 veces menor que el obtenido en este trabajo. Xu et al. (2018) reportaron un valor de densidad de potencia máxima de 824 mW/m^2 utilizando en el ánodo nanopartículas de platino, y como sustrato 5 mg/L de ibuprofeno, carbamazepina y diclofenaco. Por otro lado, Li et al. (2019) informaron un valor de densidad de potencia de 28.63 mW/m^2 en un humedal construido acoplado a una CCM de flujo ascendente para tratar aguas residuales sintéticas que contenían una concentración de 10 mg/L de ibuprofeno y bisfenol, siendo estos dos últimos valores 320.6 y 11.63 veces más altos que los obtenidos en este trabajo. Esta diferencia se debe a múltiples factores, como la configuración de la celda, el sistema e inóculo utilizado y la concentración de sustrato. Sin embargo, queda demostrada la biodegradación de ambos fármacos en las CCM, y la generación de energía renovable.

En la Figura 2 se muestran los diagramas de Nyquist obtenidos para cada CCM. Puede notarse que las resistencias de la solución y de transferencia de carga son aproximadamente de 5 y $10 \text{ } \Omega/\text{cm}^2$ para la CCM con carbamazepina, resultando ser dos veces menores a las de ibuprofeno. Esto se refleja en la densidad de potencia máxima alcanzada en la CCM con carbamazepina, la cual fue mayor que la de ibuprofeno, debido a que hubo una menor resistencia tanto de la solución como de la transferencia de carga entre los electrodos. Asimismo, puede asociarse a que más BEA conformaron la biopelícula en la CCM con carbamazepina, ya que utilizan el fármaco como fuente de carbono, y transfieren más fácilmente los electrones desde la biopelícula hacia el electrodo (Kumar et al., 2016).

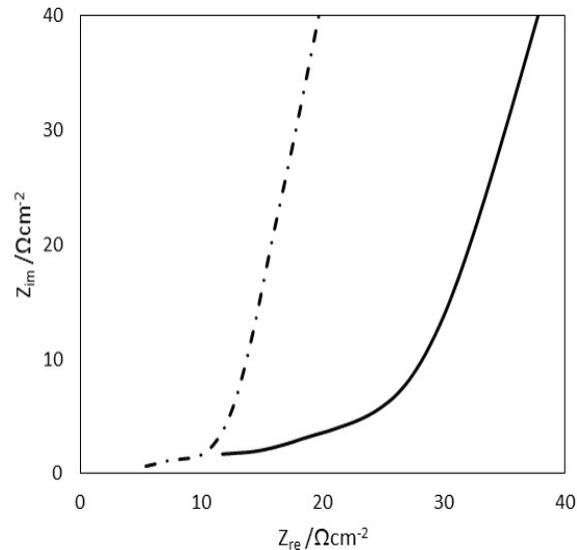


Figura 2. Diagrama de Nyquist. (Línea sólida, CCM alimentada con 50 mg/L de ibuprofeno; línea discontinua, CCM alimentada con 50 mg/L de carbamazepina).

Las eficiencias de biodegradación obtenidas fueron del 29 y 74 %, respectivamente. Esto sugiere la presencia de más BEA capaces de utilizar carbamazepina como fuente de carbono, reflejándose en una mayor biodegradación y producción de energía respecto a ibuprofeno (Kumar et al., 2016). Xu et al. (2018) estudiaron ánodos modificados con nanopartículas de MnO_2 , Pd y Fe_3O_4 utilizadas en CCM para eliminar 10 mg/L de diclofenaco, ibuprofeno y carbamazepina. Ellos reportaron una remoción de 18.8-20.1% y de 71.0-78.5% para los últimos dos fármacos, por lo que en las CCM operadas en este estudio se obtuvieron mejores eficiencias de degradación que lo reportado por Xu et al. (2018), a pesar de que en términos de generación de energía resultaron inferiores. No obstante, en este trabajo se comprueba la producción de energía renovable a partir de la biodegradación de medicamentos utilizando como tecnología CCM.

Conclusion

Este trabajo mostró la producción de bioenergía a partir de la biodegradación de 50 mg/L de ibuprofeno y 50 mg/L de carbamazepina utilizando como tecnología CCM. Los resultados mostraron una densidad de potencia máxima alcanzada de 2.46 y 2.57 mW/m^2 con eficiencias de biodegradación de 29 y 74 %, para las celdas alimentadas con ibuprofeno y carbamazepina, respectivamente. Estos resultados demuestran que las CCM podrían ser factibles como tecnología alternativa para biodegradar medicamentos en solución y a su vez producir bioenergía, especialmente para la biodegradación de carbamazepina.

Referencias

- Aguilera-Flores, M.M., Ávila-Vázquez, V., Medellín-Castillo, N.A., Carranza-Álvarez, C., Cardona-Benavides, A., Ocampo-Pérez, R., Labrada-Delgado, G.J., Durón-Torres, S.M. (2021). Ibuprofen degradation and energy generation in a microbial fuel cell using a bioanode fabricated from devil fish bone char. *J Environ Sci Health Part A* 56: 874-885. doi: 10.1080/10934529.2021.1934357
- Capodaglio, A.G., Olsson, G. (2019). Energy Issues in Sustainable Urban Wastewater Management: Use, Demand Reduction and Recovery in the Urban Water Cycle. *Sustainability* 12: 266-283. doi: 10.3390/su12010266
- Castro-Pastrana, L.I., Baños-Medina, M.I., López-Luna, M.A., Torres-García, B.L. (2015). Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación. *Rev Mex Cienc Farm* 46: 16-40.
- Gogoi, A., Mazumder, P., Tyagi, V.K., Tushara Chaminda, G.G., An, A.K., Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater Sustainable Dev* 6: 169-180. doi: 10.1016/j.gsd.2017.12.009
- Kumar, R., Singh, L., Zularisam, A.W. (2016). Exoelectrogens: Recent advances in molecular drivers involved in extracellular electron transfer and strategies used to improve it for microbial fuel cell applications. *Renewable Sustainable Energy Rev* 56: 1322-1336. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.029
- Li, H., Zhang, S., Yang, X.L., Yang, Y.L., Xu, H., Li, X.N., Song, H.L. (2019). Enhanced degradation of bisphenol A and ibuprofen by an up-flow microbial fuel cell-coupled constructed wetland and analysis of bacterial community structure. *Chemosphere* 217: 599-608. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.022
- Pal, A., He, Y., Jekel, M., Reinhard, M., Gin, K.Y.H. (2014). Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. *Environ Int* 71: 46-62. doi: 10.1016/j.envint.2014.05.025
- Rivera-Utrilla, J., Sánchez-Polo, M., Ferro-García, M. Á., Prados-Joya, G., Ocampo-Pérez, R. (2013). Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. *Chemosphere* 93: 1268-1287. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.059
- Xu, H., Quan, X., Xiao, Z., Chen, L. (2018). Effect of anodes decoration with metal and metal oxides nanoparticles on pharmaceutically active compounds removal and power generation in microbial fuel cells. *Chem Eng J*. 335: 539-547. doi: 10.1016/j.cej.2017.10.159
- Xu, P., Zheng, D., Xie, Z., He, Q., Yu, J. (2020). The degradation of ibuprofen in a novel microbial fuel cell with PANi@CNTs/SS bio-anode and CuInS₂ photocatalytic cathode: Property, efficiency and mechanism. *J Clean Prod* 265: 121872. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121872

Zou, R., Tang, K., Angelidaki, I., Andersen, H.R., Zhang, Y. (2020). An innovative microbial electrochemical ultraviolet photolysis cell (MEUC) for efficient degradation of carbamazepine. *Water Res* 187: 116451. doi: 10.1016/j.watres.2020.116451

SUSTITUTO DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE AAKATL

OMAR DE JESÚS MOTA SANGABRIEL¹, JOSÉ ISAAC ZAMORA MORALES², LUIS ENRIQUE GARZOTA TECALCO³

Resumen

Uno de los residuos plásticos más utilizados a nivel nacional en los últimos años es el poliestireno expandido, conocido comúnmente como unicele, dicho consumo nacional es 125000 toneladas anuales, convirtiéndose en un problema para el medio ambiente en cuanto a la emisión de residuos sólidos urbanos se refiere, dicho desperdicio termina en vertederos donde tarda un aproximado de 150 años en degradarse, provocando una contaminación de agua y suelo. Como una estrategia para mitigar o disminuir la generación del plástico antes descrito, se busca crear un sustituto con características similares al bioplástico, utilizando desechos biodegradables y amigable con el ambiente, esto a base del bagazo de caña, un residuo que no se le da una utilidad provechosa y que en muchos casos termina siendo “basura de desecho”; por tal razón, este residuo se convierte en una opción idónea para ser aprovechado como materia prima de dicho sustituto.

Entre los beneficios de este aglutinado se encuentran los siguientes: la disminución de los residuos que se obtienen en los trapiches después de utilizar la caña de azúcar y dejar el bagazo, la elaboración de un producto con materiales naturales obtenidos en la región, apoyar a la economía de la zona, haciendo una actividad comercial comprando el bagazo a los trapiches.

Por todo lo anterior el objetivo del presente proyecto es crear un producto a partir del bagazo de caña biodegradable y amigable con el ambiente, con la finalidad de sustituir artículos hechos a base de plástico, consiguiendo la materia prima en vinculación trapiches e ingenios ubicados en la zona de las altas montañas, impulsando con ello la economía de la región.

Palabras clave: Bagazo, Caña, Ecología, scrap, molasses.

Abstract

One of the most widely used plastic waste at the national level in recent years is expanded polystyrene, commonly known as Styrofoam, said national consumption is 125,000 tons per year, becoming a problem for the environment in terms of the emission of urban solid waste. refers, said waste ends up in landfills where it takes

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico superior de Huatusco (ITSH) Av. 25 Pte. 100, Col. Reserva Territorial Huatusco. oмотas@huatusco.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico superior de Huatusco (ITSH) Av. 25 Pte. 100, Col. Reserva Territorial Huatusco. jzamoram@huatusco.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico superior de Huatusco (ITSH) Av. 25 Pte. 100, Col. Reserva Territorial Huatusco

approximately 150 years to degrade, causing contamination of water and soil. As a strategy to mitigate or reduce the generation of the plastic described above, the aim is to create a substitute with characteristics similar to bioplastic, using biodegradable and environmentally friendly waste, this based on cane bagasse, a residue that is not given a useful utility and that in many cases ends up being "waste garbage"; For this reason, this residue becomes an ideal option to be used as raw material for said substitute.

Among the benefits of this agglutination are the following: the reduction of the residues obtained in the sugar mills after using the sugar cane and leaving the bagasse, the elaboration of a product with natural materials obtained in the region, supporting the economy of the area, doing a commercial activity buying bagasse from sugar mills.

For all of the above, the objective of this project is to create a product from biodegradable and environmentally friendly cane bagasse, in order to replace articles made from plastic, obtaining the raw material in connection with sugar mills and mills located in the high mountain area, thereby boosting the region's economy.

Keywords: Bagasse, Cane, Ecology, scrap, molasses

Introducción

La emisión de residuos sólidos urbanos ha aumentado drásticamente en ellos últimos años, siendo uno de los principales problemas la generación de plástico, viéndose reflejado en diversos factores como, por ejemplo, el cambio climático, contaminación en el agua, suelo, aire, entre otros. Para el National Geographic por sus características físicas y químicas, el plástico es un material muy duradero y difícil de degradar por los microorganismos que se encuentran en la naturaleza, la razón es que puede permanecer casi intacto durante siglos. Uno de los residuos plásticos más comunes es el Poli estireno Expandido, también conocido como "Unicel", el cual es ampliamente usado en la industria de los empaques, envasado y almacenamiento en un 39.4% a nivel mundial, este material una vez que llega al final de su vida útil, se desecha en vertederos, donde tarda cerca de 150 años en degradarse provocando con ello contaminación de agua y suelo.

Como una estrategia para mitigar o disminuir la generación del plástico, se busca crear un sustituto con características similares al bioplástico, utilizando desechos biodegradables y amigable con el ambiente.

En México el consumo nacional de poliestireno expandido (PR) comúnmente llamado unicel, es de 125000 toneladas anuales (UNAM, 2019).

El unicel o poliestireno expandido es un material de plástico espumado con una "gran virtud" que no se pudre y no se enmohece; además, es sumamente ligero y tiene un precio excesivamente barato. Desde que se inventó hizo todo más fácil para la vida rápida. El unicel revolucionó el pensamiento y las actitudes sobre la practicidad a nivel mundial. Con la dinámica acelerada de la vida en las ciudades,

el poco tiempo que se dispone para preparar alimentos o comer en casa, la poca información que se tiene sobre los productos que consumimos y la escasa conciencia ambiental, el unigel encontró una gran ventana de oportunidad para hacerse popular, un inmenso mercado para los productos desechables. La comodidad que implica el usar un recipiente tan barato, motivó a millones de personas y negocios a utilizar contenedores, vasos y platos de unigel, que son baratos y ahorran el tener que lavarlos, sin embargo, la virtud del unigel queda opacada por los efectos negativos que genera.

Primero, es un derivado del petróleo que utiliza grandes cantidades de energía y en sus procesos de producción se emplean químicos que generan emisiones de dioxinas y gases clorofluorocarbonos (CFC's) que afectan la capa de ozono y son altamente contaminantes. Segundo, es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, sobre todo con comidas calientes, y el estireno que contiene al entrar en contacto con el calor emite una serie de compuestos químicos dañinos. Ha sido catalogado como cancerígeno, por la Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de Estados Unidos de América. Tercero, lo que hace que no se pudra, lo hace resistente en el tiempo y después de usarlo 20 minutos y desecharlo, tardará entre 500 y 800 años en degradarse. Por tal razón, constituye una de las principales fuentes de contaminación a nivel mundial. Se estima que la producción en México alcanza 350 millones de toneladas al año, de las cuales se recicla menos del 1 por ciento y el resto, ocupa hasta el 15 por ciento del volumen en los rellenos sanitarios.

Por lo anterior se han implementado estrategias a nivel federal para enfrentar dicho problema, como es, el desarrollo de un plan de manejo de PR y la inauguración del primer centro de acopio de poliestireno expandido llamada Rennueva StarUp institución nacida en la Universidad Autónoma de México.

En el estado de Veracruz México, se genera de la producción de piloncillo en trapiches, una gran cantidad de bagazo de caña, el cual no se le da una utilidad provechosa y que en muchos casos termina siendo "basura de desecho"; por tal razón, este residuo se convierte en una opción idónea para ser aprovechado como materia prima de dicho sustituto.

Entre los beneficios de este aglutinado se encuentran los siguientes: la disminución de los residuos que se obtienen en los trapiches después de utilizar la caña de azúcar y dejar el bagazo, la elaboración de un producto con materiales naturales obtenidos en la región, apoyar a la economía de la zona, haciendo una actividad comercial comprando el bagazo a los trapiches.

Materiales y Métodos

Objetivos

General

Crear un producto a partir del bagazo de caña biodegradable y amigable con el ambiente, con la finalidad de sustituir artículos hechos a base de plástico.

Específicos

- Investigar los tipos de aglutinantes más factibles y de menor costo.
- Generar un producto económico para su distribución en el mercado
- Disminuir la cantidad de los residuos sólidos urbanos producidos por el bagazo de caña.

Características de la Metodología.

De acuerdo con:	Esquema de investigación	Descripción	Aplicación en la investigación
La finalidad de la investigación.	Aplicada	El propósito de este tipo de investigación es observar los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo.	Se creará un producto a base de bagazo de caña y se observará el tiempo de degradación del mismo.
El enfoque de la investigación.	Mixto	Los procesos que intervienen pueden ser sistemáticos, empíricos y críticos e involucran la recolección de datos cuantitativos y cualitativos.	Los instrumentos de investigación que se usaron como cuestionarios y bitácoras de observación para la medición del tiempo de degradación del producto, se utilizaron técnicas cuantitativas.
Fuentes de información	De campo y documental.	De campo: se apoya de información que proviene de cuestionarios y observaciones, se recomienda consultar primero las fuentes de carácter documental. Documental: se apoya de documentos en cualquier especie como en la consulta de libros, artículos, ensayos de revistas, periódicos y archivos.	La investigación se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Huatusco. La investigación fue de campo ya que se necesitó observar el tiempo de degradación del producto.
Lugar donde el estudio de campo es llevado a cabo.	"In situ"	Es el mismo lugar en donde se desarrolla la investigación.	Ciudad de Huatusco Ver.
Diseño	Experimental	Estudios con manipulación deliberada de las variables.	Se creó un producto sustituto del plástico a base de bagazo de caña, amigable con el medio ambiente.

Alcance de la investigación.	Descriptivo Aplicativo.	Mide y/o recoge información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables. Aplicativo porque se experimenta sobre un fenómeno natural.	Se describirá el proceso de elaboración del producto, así como su tiempo de degradación y los beneficios de su utilización.
------------------------------	-------------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia basada en Hernández Sampieri, F. Collado, & Baptista Lucio (2014) y Bejar Rivero (2008).

Etapa 1 Obtención de residuos de caña de azúcar (Bagazo) y el aglutinante.

Los residuos de bagazo de caña utilizados en la experimentación (pulpa de café y aguamiel) serán obtenidos de los diferentes trapiches de la región de las altas montañas, Veracruz. Por su parte, se obtendrá el material para el aglutinante (Grenetina y Goma Arábica). Se generará una vinculación con dichos trapiches y fincas a fin de poder trabajar con ellos más adelante con los mismos alumnos en residencias profesionales y generación de proyectos a fines.

Etapa 2 Evaluación de tratamientos para la generación del aglutinante

Los tratamientos se llevarán a cabo en el laboratorio de ciencias básicas del Instituto Tecnológico Superior de Huatusco utilizando como aglutinante las cascaras de café. Se emplearán temperaturas de 50°, 70° y 90 °C, con tiempos de exposición de 60 minutos, al finalizar el tratamiento las muestras serán sumergidas en un baño de hielo inmediatamente, cada análisis se llevará a cabo por duplicado para cada tratamiento.

Etapa 3 Combinación del aglutinante con el bagazo de caña para la creación del sustituto

Una vez realizado el aglutinante, este se mezclará con el bagazo de caña a fin de crear el material maleable para la elaboración de los diferentes tipos de utensilios desechables que comúnmente se comercializa con el poliestireno (Unicel), midiendo la efectividad de los mismos, es decir, su dureza y resistencia a diferentes temperaturas y en contacto con líquidos, así como, las reacciones químicas negativas que el producto pueda generar a la salud de los usuarios.

Los parámetros a evaluar serán: volumen de biogás, rendimiento de biogás y metano, sólidos totales, sólidos volátiles, % de remoción de SV, pH, relación de alcalinidad.

Procedimiento

1. Se puso a secar el bagazo de la caña de azúcar al sol
2. Se lavó y seco el bagazo dejando el 50% de humedad
3. Se pesó la grenetina y la goma arábica con una balanza analítica
4. Se mezcló en un vaso de precipitado 500 ml de agua, las cantidades de 55% de grenetina y 45% de goma arábica utilizando una varilla de vidrio

5. Se incluyó el bagazo en pedazos pequeños en la mezcla que se convirtió en nuestro aglutinante
6. Se continuó mezclando los elementos hasta conseguir una pasta maleable con una consistencia viscosa
7. Se dejó reposar en un lugar a temperatura ambiente durante 24 horas
8. Se colocó pegamento cola de conejo para conseguir dureza en la mezcla y obtener como producto final un plástico

Resultados y Discusión

El presente proyecto se encuentra en la fase de prototipo, sin embargo, se tiene un diseño terminado de una bandeja hecha de bagazo de caña, grenetina y goma arábica.

Dentro de los resultados obtenidos se observa que, en la fabricación del aglutinante, que se obtuvo a base de grenetina que le da el cuerpo a la mezcla y de goma arábica que le da elasticidad, se obtuvo el resultado esperado, ya que resultó viscosa y fácilmente maleable, esto permitió darle forma a los materiales que se fabricaran, los cuales serán: vasos, platos, tenedores, cucharas o cualquier objeto a base de plástico, (se realizó una bandeja), después se agregó un pegamento cola de conejo, que sirvió para brindarle dureza a la mezcla del aglutinante y el bagazo de caña de azúcar, dándole el resultado correcto al producto final siendo este el bioplástico.

En cuanto al tiempo de degradación, se observó que una descomposición al mes de utilizado, es decir, mojado con algún líquido, se recomienda mejorar la mezcla del aglutinante para lograr un mayor tiempo de vida.

Conclusión

El sustituto de plástico biodegradable Aakatl, integra los elementos necesarios para realizar productos amigables con el medio ambiente con la finalidad de crear un sustituto para el plástico (unicel), mediante la mezcla del bagazo de caña con un aglutinante a base de grenetina y goma arábica.

El presente proyecto pretende ser base y plataforma para futuras investigaciones cuya intención sea la creación de alternativas para el uso de plásticos (unicel) a un precio accesible, no nocivos para la salud y amigables con el medio ambiente.

Actualmente se encuentra en fase de prototipo, con un diseño terminado con propuesta de patente por modelo de utilidad con la finalidad de generar un producto que pueda ser lanzado al mercado.

Se invita a realizar más investigaciones que profundicen los efectos benéficos de este producto.

Referencias

- Anipac, A. N. (2020). Asociación Nacional del Plástico A.C. anipac. Obtenido de <https://anipac.com/informacion-de-plasticos/#>
- Bioplastics, E. (s.f.). european-bioplastics.org. Obtenido de european-bioplastics.org: <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- Conservancy, O. (2019). seasavage.org. Obtenido de seasavage.org: https://seasave.org/week-in-review/?gclid=Cj0KCQjwtZH7BRDzARIsAGjbK2ZQkZ09LTo1j2podim8xNZ0oV7YjoJbiszbntGVPwUdMsjcLBoYVUaAg9yEALw_wcB
- De Lora Soria, F., & Miro Chavarría, J. (1978). Técnicas de defensa del medio ambiente. Barcelona : Labor.
- Holdgate, M. W. (1979). Una perspectiva de la contaminación ambiental.
- Rodríguez Martín, R. (1999). Aportaciones al Conocimiento del Estado Medio Ambiental de Hidrosistemas de Interés Internacional Situados en Castilla - La Mancha (Tesis Doctoral). Ciudad Real: Ediciones de la Universidad de Castilla - La Mancha.
- Sesma Suárez, J. (15 de Agosto de 2019). Excelsior. Obtenido de Excelsior: <https://www.excelsior.com.mx/opinion/jesus-sesma-suarez/adios-a-los-plasticos-de-un-solo-uso-en-mexico/1330555>
- UNAM, F. (2019). Fundación UNAM. Obtenido de Fundación UNAM: <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/>
- UNIÓN, C. D. (05 de Junio de 2018). Diario Oficial de la Federación. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf

APLICACIÓN DE BIOCOAGULANTE A BASE DE MALVA SYLVESTRIS PARA LA CLARIFICACIÓN DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

OSWALDO EMMANUEL ROBLES MIRANDA¹, MIGUEL MAURICIO AGUILERA FLORES²

Resumen

El uso de coagulantes químicos convencionales para el tratamiento de aguas residuales, sus efectos nocivos al medio ambiente y los riesgos asociados a la salud pública, ha despertado especial atención para el desarrollo de coagulantes naturales o biocoagulantes obtenidos a partir del mucílago de especies vegetales de interés. En este proyecto, se propone emplear malva común (malva sylvestris), que es una maleza en distintos cultivos en el municipio de Chalchihuites (Zacatecas, México), como materia prima para la elaboración de biocoagulante, mediante la extracción del mucílago presente en las hojas de la especie ya mencionada, y su aplicación en la clarificación de agua residual doméstica. Mediante un diseño experimental 22, para este biocoagulante, se determinó el pH óptimo de trabajo (en rango de 4 a 10), y dosis óptima (de 50 a 450 mg) para lograr el mayor porcentaje de remoción de turbidez en el agua de estudio mediante procesos de coagulación-floculación empleando pruebas de jarras. Esto permitió identificar las condiciones óptimas mediante un modelo lineal significativo, identificándose que la máxima capacidad de remoción de turbidez en el agua de estudio empleando este biocoagulante, fue de 78.408 %, cuyas condiciones óptimas de trabajo obtenidas fueron la dosis de 50 mg y un pH de 10 del agua residual utilizada. La malva sylvestris al presentar la, puede ser empleada como materia prima para el desarrollo sustentable de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, ya que no genera subproductos tóxicos, ni representa su uso un riesgo al medio ambiente y salud humana.

Palabras clave: agua residual doméstica, coagulación-floculación, dosis óptima, *Malva sylvestris*, pH.

Abstract

The use of conventional chemical coagulants for wastewater treatment, its harmful effects on the environment and the risks associated with public health, has attracted special attention for the development of natural coagulants or biocoagulants

¹ Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas (UPIIZ), Instituto Politécnico Nacional (IPN). Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. oroblesm1700@alumno.ipn.mx

² Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas (UPIIZ), Instituto Politécnico Nacional (IPN). Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México.

obtained from the mucilage of plant species of interest. . In this project, it is proposed to use common mallow (*malva sylvestris*), which is a weed in different crops in the municipality of Chalchihuites (Zacatecas, Mexico), as raw material for the production of biocoagulant, by extracting the mucilage present in the leaves. of the species already mentioned, and its application in the clarification of domestic residual water. Through an experimental design 22, for this biocoagulant, the optimal working pH (in the range of 4 to 10) and optimal dose (from 50 to 450 mg) were determined to achieve the highest percentage of turbidity removal in the study water. through coagulation-flocculation processes using jar tests. This allowed to identify the optimal conditions through a significant linear model, identifying that the maximum turbidity removal capacity in the study water using this biocoagulant was 78.408%, whose optimal working conditions obtained were the dose of 50 mg and a pH of 10 of the residual water used. *Malva sylvestris*, when presenting it, can be used as a raw material for the sustainable development of technologies for wastewater treatment, since it does not generate toxic by-products, nor does its use represent a risk to the environment and human health.

Keywords: domestic wastewater, coagulation-flocculation, optimal dose, *Malva sylvestris*, pH.

Introducción

La escasez del recurso hídrico a nivel mundial está planteando algunas cuestiones importantes relacionadas con la obligación de minimizar el consumo del recurso, y salvaguardar el agua. El incremento de la actividad industrial, de la población y por tanto del consumo de recursos como el agua, trae como consecuencia el aumento en la generación de aguas residuales. De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (2017), se estima que aproximadamente el 80% de las aguas residuales a nivel mundial son vertidas sin tratamiento alguno, aunado a esto, la gestión y por lo tanto el tratamiento de las aguas residuales generadas es de vital importancia para lograr la reutilización de estos efluentes líquidos para riego de cultivos o incluso para abastecimiento público, lo que contribuye decisivamente a minimizar los problemas ambientales, económicos y de salud humana asociados a la disposición de aguas residuales en sistemas hidrológicos naturales (Amaral-Silva, 2012).

El procedimiento tradicional y simple para el tratamiento de aguas residuales incluye la utilización de coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio (Gkotsis et al., 2017), su aplicación incluye la eliminación de las especies químicas disueltas y la turbidez del agua para lograr su clarificación. La utilización de coagulantes químicos ha llevado a cabo varios debates sobre su uso continuo para el tratamiento de aguas residuales (Liao y Zhang, 2018). Esto se debe a su naturaleza no nativa, producción de lodos altamente tóxicos, costos de operación/adquisición moderadamente altos, no degradabilidad y riesgos para la salud asociados con sus residuos (Ariffin et al.,

2009; Wang et al., 2011). Se ha informado de contaminación por residuos de coagulantes químicos a base de aluminio en las aguas subterráneas y la escorrentía superficial, lo que sugiere que su uso continuado no es un enfoque ecológico para el tratamiento de aguas residuales (Gautam y Saini, 2020).

Dicho lo anterior, en los últimos años, ha habido interés en la utilización de alternativas naturales/biodegradables para reemplazar los coagulantes químicos convencionales (Ibrahim et al., 2020; Yaradoddi et al., 2019; Folino et al., 2020). Esto mediante la extracción de mucílago (que es un polímero natural), para la elaboración de coagulantes naturales o biocoagulantes. Estos últimos son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal, que actúan de forma similar a los coagulantes sintéticos en el proceso de clarificación del agua residual (Vargas et al., 2006). Las especies vegetales utilizadas para la elaboración de biocoagulantes son aquellas que presentan alto contenido de mucílago, el cual es un conjunto de carbohidratos complejos con gran capacidad de absorber agua y considerados fuente potencial industrial de hidrocoloides (Nazareno et al., 2011).

Por ello, se propone la aplicación de este biocoagulante para la clarificación de agua para determinar su capacidad de clarificación de agua residual doméstica, a partir de la determinación de una dosis y condiciones óptimas de trabajo. Este biocoagulante se elaboró a partir de la especie vegetal *malva sylvestris* que es considerada maleza en cultivos de alfalfa, frijol, y maíz (Villaseñor y Espinoza 1998) y tiene presencia en el municipio de Chalchihuites, así como en el estado de Zacatecas.

Materiales y Métodos

La extracción del mucílago de la malva común se realizó con base en la metodología propuesta por Sáenz et al., (2006) con modificaciones; las hojas de la especie ya mencionada se recolectaron en el municipio de Chalchihuites en zonas de interés durante los meses de agosto y septiembre del año 2021. Se seleccionaron las hojas de mayor tamaño y que presenten las mejores condiciones físicas para lograr su extracción, tal como se ve en la Figura 1; luego se colocaron en bolsas de plástico con cierre hermético y se transportaron al laboratorio. La extracción de mucílago de esta especie una vez recibidas en el laboratorio, se procedió a lavar las mismas con agua de grifo, y posteriormente se colocaron en un recipiente con agua desionizada, con una relación 1:1 (p/v) durante 48 horas a temperatura ambiente; después de ello las hojas se trituraron con una licuadora comercial doméstica con el agua desionizada usada con anterioridad; a esta mezcla se le realizó tratamiento térmico $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$ durante 1 h usando la parrilla de calentamiento con agitación magnética, y se dejó enfriar hasta que alcanzó temperatura ambiente.

Luego de esto, se centrifugó la suspensión a 3,500 rpm durante 10 minutos en la centrífuga J-40 solbat; así mismo el sobrenadante se decantó, se recolectó en un vaso de precipitados y se midió su volumen con una probeta graduada; al sobrenadante se le agregó etanol etílico absoluto en proporción 1:3 (v/v), y se dejó en reposo durante 24 horas en refrigeración a 4 °C. Después, la mezcla fue filtrada al vacío con ayuda del sistema de filtración tal como se observa en la Figura 2, y al sólido obtenido se dejó reposar a temperatura ambiente durante 24 h; una vez transcurrido este tiempo, el mucílago ya seco se trituró en un mortero y el pulverizado obtenido, se almacenó en frascos de vidrio previamente etiquetados, en refrigeración a 4 °C.

La muestra de agua residual doméstica se recolectó de una descarga de agua residual municipal, ubicada en el parque Arroyo de la Plata en el municipio de Zacatecas, Zacatecas; se recolectaron 12 litros de agua residual en recipientes de plástico, siguiendo el método establecido en la NMX-AA-003-1980, el cual consistió en enjuagar los recipientes muestreadores por triplicado antes de recolectar la muestra, luego de esto se introdujo cada recipiente en la descarga de agua residual y se tomó el volumen necesario. La muestra fue transportada al laboratorio, se mantuvo en refrigeración a 4 °C, y se analizó fisicoquímicamente en las posteriores 24 h.

Se realizó un diseño experimental para el biocoagulate, mediante el software Design Expert 7.0 Trial, el cual arrojó un total de 11 corridas por duplicado (ver Cuadro 1); el diseño de superficie de respuesta es 2², cuyos factores son el biocoagulante y la dosis a utilizar, y la respuesta está asociada a la remoción de turbidez presentada; se tomaron como factores numéricos el pH con niveles de 4, 7 y 10, y dosis óptima con niveles de 50 y 450 mg, asimismo se incluyeron dos réplicas y tres puntos centrales en el diseño

Respecto a las pruebas de jarras, cada ensayo consistió en la adición de la mitad de la mezcla correspondiente de coagulantes a 500 mL de agua cruda, a esta última se le acondicionó los diferentes pH trabajados, mediante goteo con soluciones de ácido sulfúrico 1M e hidróxido de sodio 1M; luego es esto las muestras se agitaron a una velocidad de 150 rpm durante 5 minutos, transcurrido el tiempo se añadió 0.5 mL de floculante comercial al 0.1% previamente preparado, después se retomó la agitación a 50 rpm durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, las muestras se dejaron reposar 60 minutos para permitir que los flóculos sedimentaran.

Cuadro 1. Diseño experimental desarrollado en la prueba de jarras para determinar dosis óptima de cada biocoagulante.

Corrida	Dosis (mg/L)	pH	% Turbidez
1	50	4	
2	50	10	
3	450	4	
4	250	7	
5	450	10	
6	250	7	
7	50	4	
8	450	4	
9	250	7	
10	50	10	
11	450	10	

Resultados y Discusión

Obtención del coagulante de la especie vegetal

En el Cuadro 2, se presenta el rendimiento obtenido a partir de la extracción del mucílago contenido en la *Malva sylvestris*.

Cuadro 2. Rendimiento experimental de la especie vegetal empleada (elaboración propia).

Especie vegetal	Cantidad obtenida mucílago en g por cada 1000 g de hoja de <i>Malva sylvestris</i>
<i>Malva sylvestris</i>	3.4479

Por otra parte, una de las principales propiedades cualitativas que presentó el biocoagulante obtenido fue la consistencia viscosa, la cual es consecuencia de la composición química del mucílago. Mientras que uno de los diferenciadores fue el color, debido a los pigmentos de cada especie vegetal (Stuppner, 2002; Nazareno et al., 2011). El biocoagulante extraído de la *Malva sylvestris* presentó un tono marrón.

Características fisicoquímicas del agua residual cruda

En el Cuadro 2 se muestran los valores de pH, conductividad, turbidez y SST correspondientes al agua residual doméstica cruda antes de ser tratada.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica cruda. pH

pH	Conductividad (S/cm)	Turbidez promedio (UNT)	SST (mg/L)
7.46	3.51	75.21	153.33

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece como límite máximo permisible una concentración de SST de 125 mg/L cuando el agua residual es descargada en suelo; en el agua residual doméstica muestreada se obtuvo un valor de 153.33 mg/L para este parámetro, por lo tanto, sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la normatividad mexicana aplicable. Así mismo, en la NOM-127-SSA1-1994, en

donde se establece un rango de pH de 6.5 a 8.5, para las aguas residuales domésticas, el valor obtenido en la muestra de agua residual doméstica se encuentra dentro del límite establecido; contrario a la turbidez, pues la muestra de agua presentó 75.21 UNT y la esta misma norma oficial mexicana marca como límite máximo permisible 5 UNT Además, los altos niveles de turbidez también afectan al medio ambiente por lo que es necesaria su remoción, pues las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que el agua se caliente y así reduzca la concentración de oxígeno en el agua; por otra parte, se dispersa la luz, de esta forma decrece la actividad fotosintética en plantas y algas, que contribuye a bajar la concentración de oxígeno más aún (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2014).

Diseño experimenta y prueba de jarras

El diseño experimental dio como resultado 11 ensayos por duplicado correspondientes a la cantidad de pruebas de jarras a realizar. En el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos indicándose la dosis empleada, el pH de cada corrida, así como la turbidez inicial, final y el porcentaje de remoción de este parámetro.

Cuadro 3. Resultados obtenidos para la clarificación de agua residual doméstica empleando pruebas de jarras (elaboración propia).

Corrida	Dosis (mg/L)	pH inicial	Turbidez		
			Inicial	Final	%Remoción de turbidez
1	50	4	13.54	28.35	ND
1'	50	4	13.54	29.56	ND
2	50	10	68.28	30.78	54.92
2'	50	10	68.28	9.35	86.31
3	450	4	68.28	139.3	ND
3'	450	4	68.28	131.6	ND
4	250	7	102	135.3	ND
4'	250	7	102	141.6	ND
5	450	10	86.8	30.97	64.32
5'	450	10	86.8	31.9	63.25
6	250	7.45	86.8	46.66	46.24
6'	250	7.45	86.8	47.35	45.45
7	50	4	64.7	21.81	66.29
7'	50	4	64.7	21.45	66.85
8	450	4	64.7	69.98	ND
8'	450	4	64.7	76.71	ND
9	250	7.48	64.7	86.9	ND
9'	250	7.47	64.7	73.71	ND
10	50	10	64.7	14.38	77.77
10'	50	10	64.7	13.56	79.04
11	450	10	128.4	56.05	56.35
11'	450	10	128.4	62.32	51.46

*ND: no detectado

En el Cuadro 3 presentado con anterioridad, se observa que el biocoagulante elaborado a partir de la *Malva sylvestris* presenta en la mayoría de las corridas en donde el valor de pH del agua es de 7 y 10, con las diferentes dosis empleadas del biocoagulante, presenta la capacidad de coagulación en el agua residual doméstica trabajada, lo que se traduce en la clarificación del agua a través de remoción la de turbidez; este resultado coincide con lo establecido por Yin (2010), en el que indica que los coagulantes naturales se deben trabajar en un rango de pH de 7 a 10. Así mismo para todos los casos independientemente de la dosis empleada del biocoagulante, en pH de 4, en ninguna corrida se presenta remoción alguna de turbidez.

A través del uso del software Design Expert 7.0, del diseño experimental utilizado, y de los resultados obtenidos en el Cuadro 3 se obtuvo un diagrama de superficie de respuesta, el cual es el conjunto de técnicas matemáticas utilizadas en los que una respuesta de interés, para este caso el porcentaje de remoción de turbidez está influida por varios factores de carácter cuantitativo (rangos de pH de 4, 7 y 10; y rangos de dosis del biocoagulante de 50, 250 y 450 mg), para poder determinar el modelo matemático que mejor se ajuste a los resultados obtenidos (significancia $P < 0.05$). Este diagrama de superficie de respuesta es el que se presenta a continuación en la Figura 1.

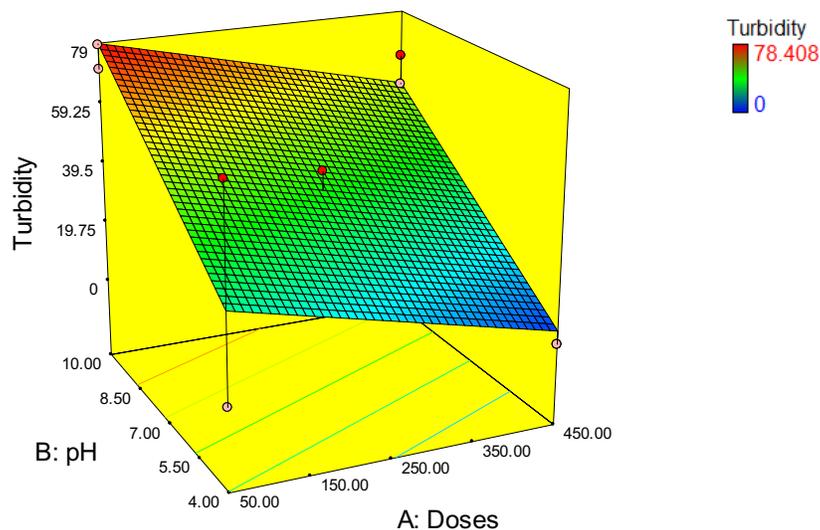


Figura 1. Diagrama de superficie de respuesta de remoción de turbidez en agua residual doméstica empleando el biocoagulante a base de *Malva sylvestris*.

Como se observa en la Figura 1, el diagrama de superficie de respuesta indicado con el porcentaje de remoción de turbidez (Turbidity), el pH y la dosis (doses), muestra el comportamiento del biocoagulante empleado en la clarificación de agua residual doméstica; esto nos indica que el propio biocoagulante tiene la capacidad de clarificar agua residual removiendo turbidez, gracias a que le mucílago contenido

en las hojas de esta especie, consisten principalmente en ácido glucurónico, ácido galacturónico, ramnosa, galactosa, fructosa, glucosa, sacarosa y trehalosa, así como también ácido urónico, arabinosa, manosa, xilosa, fucosa, rafinosa) (Barros et ál., 2010), y de acuerdo con Miller et ál, (2008) el posible componente activo que proporciona la capacidad de coagulación, ya que se ha comparado con otros azúcares presentes en el mucílago y mostró reducciones de turbidez del 50 %, es el propio ácido galacturónico contenido en la *malva sylvestris*. De igual forma, la Figura 1, se muestra el diagrama de superficie en 3D, el cual muestra que los máximos porcentajes de remoción de turbidez en agua residual doméstica que tiene el biocoagulante, se presenta a pH altos de 10 y con dosis bajas, tal como se observa en las zonas color rojo, naranja y amarillo contenidas en la Figura 1 ya presentada. En cambio, a pH de 4 y a la máxima dosis (zona azul de la Figura 1), se observa que el biocoagulante no presenta la capacidad de coagulación y por consiguiente de remoción de turbidez en el agua residual trabajada. Otra forma de visualizar los resultados obtenidos es el que se observa en la Figura 2 presentada a continuación.

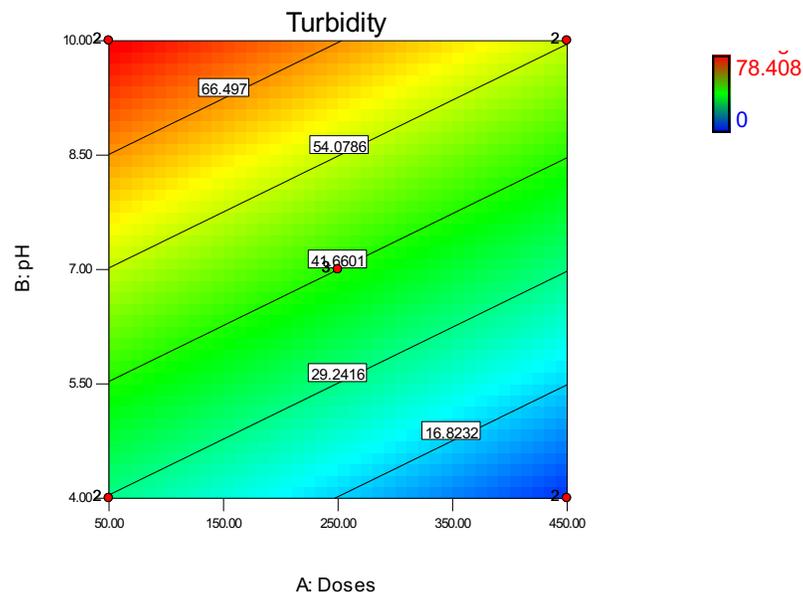


Figura 2. Curva de nivel obtenida de remoción de turbidez en agua residual doméstica empleando el biocoagulante a base de *Malva sylvestris*.

Como se pueden observar en la Figura 2, las condiciones óptimas de trabajo para lograr de la manera más eficaz la clarificación del agua residual, se da en un pH de 10, con una dosis de 50 mg, obteniendo un 78.408% de remoción de turbidez del agua residual empleada.

Así mismo, en la Figura 3 que se presenta a continuación, se presenta un zoom de la Figura 2, para mostrar las remociones de turbidez a pH de entre 7 y 8.6.

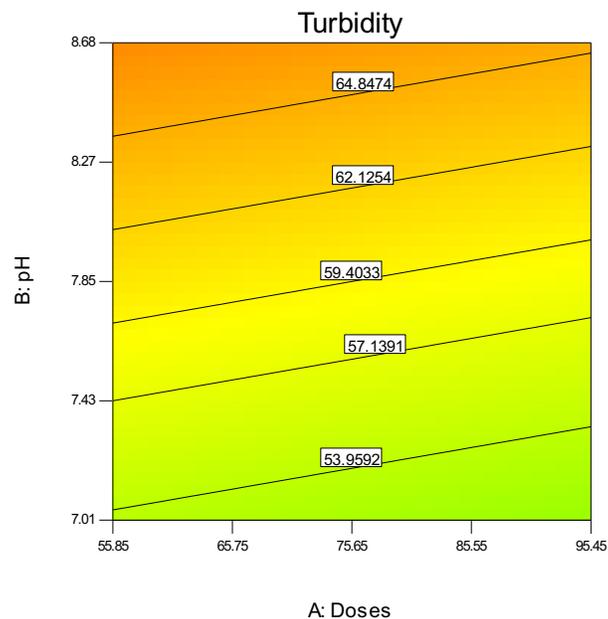


Figura 3. Curva de nivel obtenida de remoción de turbidez en agua residual doméstica empleando el biocoagulante a base de *Malva sylvestris*.

De igual forma, considerando la caracterización del agua residual doméstica, la cual presentó en promedio un pH de 7.46, y de acuerdo con los resultados obtenidos y tal como se observa en la Figura 3, si se emplea una dosis de 55.85 mg del biocoagulante empleado, se obtendrá una remoción de turbidez de alrededor de 57.13%, logrando también la clarificación, aunque en menor medida, del agua residual doméstica trabajada. Esto permite tener una gama de trabajo adecuado para el biocoagulante, ya que, si no se desea adecuar el pH del agua residual doméstica, sigue existiendo un porcentaje de remoción de turbidez de más del 50%; pero si el agua por alguna razón presenta pH más altos, estos porcentajes de remoción se ven favorecidos.

Conclusión

El biocoagulante a base de *Malva sylvestris* presentó la capacidad de coagulación, y por lo tanto de clarificar agua residual doméstica mediante procesos de coagulación floculación empleando pruebas de jarras.

El biocoagulante, presenta remociones de turbidez arriba del 50%, y por lo tanto logra clarificar agua residual doméstica a partir de pH de 7 y con dosis de 50 mg del biocoagulante.

Las condiciones óptimas de trabajo para lograr eficazmente la clarificación del agua residual doméstica empleando el biocoagulante, se da en un pH de 10, con una dosis de 50 mg, obteniendo un 78.408% de remoción de turbidez en el agua trabajada.

La remoción de turbidez del agua residual doméstica cruda, sin modificaciones en el pH para este caso empleando una dosis de 55.85 mg del biocoagulante, se obtendrá una remoción de alrededor de 57.13%, logrando también la clarificación, aunque en menor medida.

Referencias

- Amaral-Silva, N., Martins, R.C., Castro-Silva, S., y Quinta-Ferreira, R. M. (2012). Utilización de técnicas basadas en ozono para la depuración y reutilización de efluentes industriales. *Revista de tecnologías avanzadas de oxidación*, 15 (1), 188-196.
- Ariffin, M., Hassan, A., Li, T., y Noor, Z. (2009) Coagulation and flocculation treatment of wastewater in textile industry by using chitosan. *J. Chem. Nat. Resour. Eng.*, 4 (1) 43-50.
- Gautam, S., y Saini, G. (2020). Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(4), 553-578.
- Gkotsis, PK, Batsari, EL, Peleka, EN, Tolkou, AK y Zouboulis, AI (2017). Control de incrustaciones en un sistema MBR a escala de laboratorio: comparación de varios coagulantes aplicados comercialmente. *Revista de gestión ambiental*, 203, 838-846.
- Ibrahim, C., Hammami, S., Pothier, P., Khelifi, N., & Hassen, A. (2020). The performance of biological and tertiary wastewater treatment procedures for rotaviruses A removal. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5718-5729.
- Liao, L. y Zhang, P. (2018). Preparación y caracterización de silicato de polialuminio titanio y su actuación en el tratamiento de aguas de baja turbidez. *Procesos*, 6 (8), 125.
- Nazareno, M. y Padrón, C. (2011). Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1), 202-238.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1980. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas residuales. - Muestreo. *Diario Oficial de la Federación*: 25 de marzo de 1980.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 2001. Norma Mexicana NMX-AA-038-2016 Análisis de agua. - Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba. *Diario Oficial de la Federación*: 2001.
- Secretaría de Economía, 2015a. Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI Análisis de agua. - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. *Diario Oficial de la Federación*: 16 de febrero de 2015, México.

- Secretaría de Economía, 2016. Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016 Análisis de agua. - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - método de prueba. Diario Oficial de la Federación: 05 de julio de 2016, México.
- Secretaría de Economía, 2018. Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI Análisis de agua. - Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación: 26 de junio de 2018, México.
- SEMARNAT. (2014). Sólidos suspendidos totales y turbidez. En Agua, informe 15. Consultado el 9 de enero de 2021.
- Stuppner, H., Sturm, S., Geisen, G., y Zillian, U. (2002). Plantas Medicinales. Supplement Issue, 132(7), 8-12.
- Villaseñor, R., y Espinoza G. (1998). Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Yaradoddi, J. S., Hugar, S., Banapurmath, N. R., Hunashyal, A. M., Sulochana, M. B., Shettar, A. S., & Ganachari, S. V. (2019). Alternative and renewable bio-based and biodegradable plastics. Springer International Publishing.

EFECTO DEL MATERIAL DE SOPORTE EN LA ACTIVACIÓN DE UNA BIOPELÍCULA PARA GENERAR AGVs Y BIOGÁS EN UN PROCESO DE FERMENTACIÓN OSCURA A PARTIR DE VINAZAS DE MEZCAL

SERGIO ALBERTO DÍAZ BARAJAS¹, MARCO ANTONIO GARZÓN ZÚÑIGA²

Resumen

Las vinazas de mezcal son residuos líquidos con potencial para ser aprovechados para la obtención de productos de interés económico, como vectores energéticos a través de bioprocesos. La fermentación oscura (FO) busca la producción de biohidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGVs).

En el presente estudio se evaluó el efecto de dos materiales de soporte sobre la activación y el desempeño de reactores secuenciales por lotes (SBR) con biopelícula para generar AGV y biogás a partir de vinazas de mezcal, siguiendo una estrategia de incremento de la concentración inicial de vinazas. Al final del proceso de aclimatación a las vinazas de mezcal, el material de empaque con la mayor producción de AGVs fue la riolita con una producción de $1,908 \pm 421$ mg AGV/L, un valor 55 % mayor al logrado con el reactor empacado con riolita de 850 ± 634 mg AGV/L. Al final del proceso de aclimatación ambos reactores produjeron biogás sin diferencias estadísticas entre sí, generando 276 ± 23 NmL/L (tezontle) y 287 ± 29 NmL/L (riolita).

Ambos reactores presentaron rendimientos similares en función de la eficiencia de remoción de materia orgánica (10-20 %) y producción de biogás. Sin embargo, la unidad empacada con riolita presentó una producción de AGVs significativamente mayor que la empacada con tezontle.

Palabras clave: Biohidrógeno, biopelícula, activación de inóculo, revalorización de residuos

¹ Instituto Politécnico Nacional (IPN)/Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Calle Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, Dgo. México.

² Instituto Politécnico Nacional (IPN)/Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Durango. Calle Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, Dgo. México. marco.cuerna@gmail.com

Abstract

Mezcal stillages are liquid residues with the potential to be used to obtain products of economic interest, such as energy carriers through bioprocesses. Dark fermentation (FO) seeks the production of biohydrogen and volatile fatty acids (VFAs).

In the present study, the effect of two support materials on the activation and performance of sequential batch reactors (SBR) with biofilm to generate VFA and biogas from mezcal stillages, following a strategy of increasing the initial concentration, was evaluated. At the end of the acclimatization process to the mezcal vinasses, the packaging material with the highest production of AGVs was rhyolite with a production of $1,908 \pm 421$ mg AGV/L, a value 55% higher than that achieved with the reactor packed with rhyolite. of 850 ± 634 mg AGV/L. At the end of the acclimatization process, both reactors produced biogas with no statistical differences between them, generating 276 ± 23 NmL/L (tezontle) and 287 ± 29 NmL/L (rhyolite).

Both reactors presented similar yields based on the efficiency of organic matter removal (10-20%) and biogas production. However, the unit packed with rhyolite presented a significantly higher production of AGVs than the one packed with tezontle.

Keywords: Biohydrogen, biofilm, inoculum activation, waste revalorization.

Introducción

El mezcal es una bebida alcohólica de interés comercial elaborada en México, la cual es producida frecuentemente de forma artesanal (CRM, 2020). Debido a este proceso de elaboración es común que sus residuos, tales como las vinazas, sean dispuestos al medio ambiente sin tratamiento. Las vinazas son aguas residuales industriales generadas en la producción de diversos productos alcohólicos. Debido a sus características fisicoquímicas, tales como elevadas concentraciones de materia orgánica (22,500–35,000 mg DBO₅/L y 35,000–122,000 mg DQO/L), conductividad electrolítica (2.6-5.81 mS/cm), fenoles (58-542 mg/L), ácidos grasos volátiles (9,615 mg AGV/L), acidez (pH 3.5-3.94) y una temperatura de descarga elevada (70 a 90°C), estos residuos suponen un riesgo para cuerpos de agua y suelo (Retes-Pruneda 2014; Robles-González *et al.*, 2012) cuando son descargadas sin tratamiento o con un tratamiento incompleto. Este fenómeno que se presenta debido a que los productores visualizan el tratamiento como un gasto. Sin embargo, un enfoque en la gestión de estos residuos que no ha sido tan ampliamente estudiado es su revalorización para la obtención de subproductos de alto valor energético. Un bioproceso de interés para la producción de biohidrógeno con potencial como combustible es la fermentación oscura (FO).

En procesos de FO la finalidad principal no es la remoción de materia orgánica (MO), sino la obtención de biogás rico en hidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGVs) (García-Depraect, *et al.* 2019; Wang *et al.*, 2009). El primero conocido por su potencial energético y los segundos por ser un sustrato fácilmente asimilable que puede alimentar otro bioproceso para la generación de formas diferentes de energía, como por ejemplo metano en una digestión anaerobia o electricidad en un proceso bioelectroquímico. Las vinazas son residuos con potencial para ser aprovechados en procesos de FO debido a su elevada concentración de MO. Sin embargo, su alto contenido de compuestos tóxicos, tales como fenoles (478-542 mg Ac. Gálico/L) y sulfatos (308-947 mg/L), pueden inhibir la actividad de la biomasa presente en el sistema, por lo cual es necesario que la microbiota sea aclimatada a la presencia de estos contaminantes (García-Depraect, *et al.* 2019).

Previamente Díaz-Barajas *et al.* (2020), estudiaron la eficiencia de producción de AGVs y remoción de MO de una biomasa suspendida aclimatada a vinazas de mezcal y reportan que el mejor desempeño se obtuvo al alimentar vinazas al 75 % ($19,648 \pm 1,702$ mg DQO/L), alcanzando una eficiencia de remoción de la DQO del 20 ± 4 %, una producción de AGVs de 980 ± 538 mg AGV/L (74 ± 21 %) y una producción máxima promedio de biogás de 984 ± 187 mL/L.

Es reconocido que los sistemas con biopelícula presentan ventajas sobre los que trabajan con biomasa suspendida ya que brindan protección ante el estrés ambiental, mediando la interacción de la biomasa con compuestos recalcitrantes, lo que favorece un aprovechamiento más eficiente de la fuente de carbono (Barca *et al.*, 2015). Respecto a los materiales de empaque, se ha reportado que las bacterias productoras de hidrógeno crecen y se adhieren mejor en aquellos que presentan una mayor porosidad e irregularidad y con ello favorecen el desarrollo de una biopelícula más estable (Barros *et al.*, 2010; Barros and Silva, 2012). A nuestro conocimiento, actualmente no se ha publicado información sobre la aclimatación de biopelículas en un proceso de FO alimentado con vinazas de mezcal para la generación de AGVs y biohidrógeno, ni el efecto que pueden tener diferentes materiales de empaque. Por lo cual en el presente estudio se evaluó el efecto de dos materiales de soporte porosos (tezontle y riolita) en el proceso de aclimatación de una biopelícula en la generación de AGVs y biogás a partir de vinazas de mezcal en reactores SBR.

Materiales y Métodos

Vinazas y composición. - Se recolectaron vinazas provenientes de una vinatera localizada en el municipio de Nombre de Dios, Durango. Estas se preservaron en recipientes plásticos de 20 L y almacenados a 4°C hasta su uso. Las muestras fueron sedimentadas por 1 h y posteriormente caracterizadas de acuerdo con los parámetros que se presentan en la Tabla 1, mismos que se realizaron de acuerdo con los métodos estándar y de HACH (APHA, 2005; HACH, 2005).

Tabla 1. Caracterización de vinaza de mezcal

Parámetro	Mezcal (Durango)
pH	3.8±0.2
Temperatura (°C)	68.7±3.2
AGV (mg/L)	5,815±714
DQO (mg /L)	32,966±3088
DBO ₅ (mg /L)	11,700±1272

Reactor y sistema experimental. - Se utilizaron dos reactores secuenciales por lotes (SBR) con un volumen total de 800 mL (Figura 1). Para controlar la temperatura de operación cada reactor fue enchaquetado con un serpentín plástico a través del cual circula agua caliente (Figura 1c). Estos reactores cuentan con 3 ductos en la parte superior: Uno es utilizado para mantener el licor mezclado mediante recirculación (Figura 1g); otro se utiliza para la alimentación del influente y la extracción del efluente (Figura 1e y Figura 1i); el tercer ducto se conectó a un equipo “microflow” de la marca “bioprocess control” (Figura 1h) para determinar la producción volumétrica normalizada de biogás. Los reactores fueron empacados con los materiales de soporte al 75 % del volumen total del reactor (Figura 1b), dejando un volumen útil de 400 mL en el reactor con riolita y de 420 mL en el reactor con tezontle.

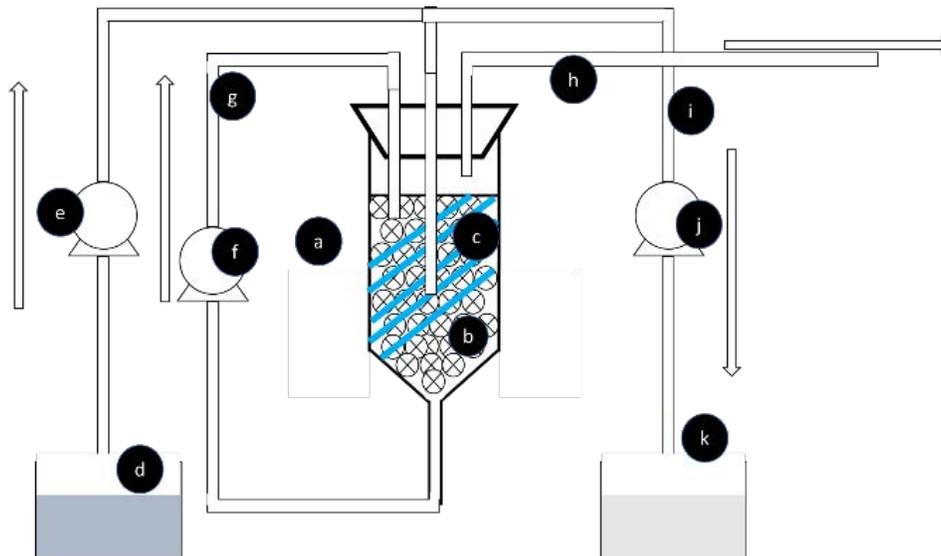


Figura 4. Sistema Experimental: a) SBR; b) Material de empaque; c) Chaqueta térmica; d) Sustrato; e) Bomba peristáltica para la alimentación; f) Bomba peristáltica para la recirculación; g) Recirculación de licor mezclado; h) Salida de biogás; i) Extracción de licor tratado; j) Bomba peristáltica para la extracción de licor tratado; k) efluente

Se seleccionaron el tezontle y la riolita, ya que cumplen con características deseables para el desarrollo de una biopelícula estable como lo son: una superficie porosa, ser químicamente inertes y rugosos (Barca *et al.* 2015), además de encontrarse con facilidad cerca de productoras artesanales de mezcal. Los SBR se operaron con un espacio de cabeza de 200 mL para la acumulación del biogás generado, con un volumen de intercambio del 50% del volumen útil, una temperatura de 35 ± 2 °C, un pH de 5.5 ± 0.2 y un caudal de recirculación de 216 mL/min para el mezclado.

Arranque del reactor. - Como inóculo se utilizaron lodos provenientes de una etapa anóxica de la planta de tratamiento Sur de aguas residuales municipales de la ciudad de Durango, los cuales se trataron térmicamente a 105°C por 24 horas, siguiendo la metodología de Buitrón *et al.* (2010), para eliminar los microorganismos presentes en el lodo y favorecer únicamente la presencia de esporas termo-resistentes de bacterias productoras de hidrógeno en los sólidos obtenidos de este proceso. Las esporas fueron activadas utilizando una modificación de la técnica descrita por Buitrón *et al.* (2010): cada SBR se inoculó con 20 g/L de estos sólidos secos, que fueron alimentados con una solución de 2 g/L de glucosa como sustrato fácilmente asimilable, en presencia de 1% de vinazas de mezcal. Los reactores fueron operados con un tiempo de reacción (TR) de 1 d. Este TR equivale a un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 2 d, tomando en cuenta el volumen operativo del reactor (V_{reactor}) de 400 mL, así como el caudal de intercambio (Q) de 200 mL/d, de acuerdo con la Ecuación 1. El inóculo se consideró activado al proceso de FO una vez que el sistema alcanzó una eficiencia de remoción de MO (DQO) y una producción de AGVs constantes.

$$TRH = \frac{V_{\text{reactor}}(\text{mL})}{Q_{\text{Caudal de intercambio}} \left(\frac{\text{mL}}{\text{d}} \right)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Desarrollo y aclimatación de la biopelícula. – La biomasa previamente activada fue aclimatada a disponer de los carbohidratos presentes en las vinazas de mezcal utilizando una estrategia de incremento gradual de la concentración de estas en la alimentación y disminuyendo la fuente de carbono fácilmente asimilable utilizada en la activación (Tabla 2), favoreciendo simultáneamente que los microorganismos formadores de la biopelícula dentro del SBR aumentaran su tolerancia a la presencia de los compuestos tóxicos y recalcitrantes propios de este sustrato.

Durante esta etapa los SBR se operaron con un TR de 3d y se mantuvieron los demás parámetros de operación. Cada incremento en la concentración de vinazas se operó hasta alcanzar condiciones constantes de remoción de MO, producción de AGVs y generación de biogás. Se seleccionó este TR ya que en el estudio realizado por Díaz-Barajas *et al.* (2021), con biomasa suspendida, en 3 d se alcanzó la mayor acumulación de AGVs.

Tabla 2. Etapas de aclimatación de biomasa a vinazas de mezcal

Etapa	Vinaza (%)	Glucosa (g/L)	Tezontle DQO inicial (mg/L)	Riolita DQO inicial (mg/L)
1	7	0.750	2,623 ± 96	2,701 ± 83
2	15	0.500	3,210 ± 53	3,397 ± 106
3	30	0.250	6,958 ± 247	7,207 ± 176
4	50	0.125	12,780 ± 742	10,980 ± 35
5	60	0.100	14,145 ± 159	14,032 ± 212
6	75	0.000	23,632 ± 1,105	24,557 ± 426

Monitoreo del sistema experimental. – Se tomaron muestras del licor mezclado al inició y al final de cada ciclo de tratamiento para determinar el comportamiento del sistema en función de la eficiencia de remoción de la DQO, la producción de AGVs a lo largo del ciclo de tratamiento, así como la producción volumétrica de biogás acumulado al final de cada ciclo.

Resultados y Discusión

Activación de inóculo. – En ambos sistemas se observó una disminución en la concentración inicial de MO de 4,516 a 2,341 ± 71 mg DQO/L, durante los primeros 5 días de este proceso. Debido a que la muestra al inicio del ciclo se tomó del licor mezclado una vez hecho el recambio. En estos primeros 5 días la solución de intercambio y el licor mezclado que permaneció dentro del reactor alcanzaron un estado de equilibrio. Sin embargo, desde el día 2 de operación y hasta el final de la activación se logró una remoción constante de MO de 165 ± 40 mg DQO/L (7 ± 2 %) en el reactor con tezontle y 194 ± 43 mg DQO/L (11 ± 2 %) en el reactor con riolita. Lo que representa un tiempo de estabilización menor al reportado de 6 días para un SBR con biomasa suspendida (Díaz-Barajas *et al.* 2021).

En cuanto la producción constante de AGVs esta se presentó en ambos reactores con tiempos diferentes. En el SBR empacado con tezontle se produjeron 159 ± 59 mg AGV/L (44 ± 23 %) a partir del día 7 de operación. Sin embargo, el reactor empacado con riolita alcanzó una producción constante de AGVs de 158 ± 26 mg DQO/L (33 ± 5 %) desde el día 3 de operación. Al haberse alcanzado condiciones constantes de remoción de MO y producción de AGVs se consideró que el inóculo fue activado en un proceso de FO, ya que la generación y acumulación de AGVs indica la presencia de un proceso fermentativo. De los dos reactores, el empacado con riolita presentó una remoción estable de MO y una producción de AGVs más rápida, a partir del tercer día, en comparación del reactor con tezontle que presentó estos resultados a partir del séptimo día (Figura 2).

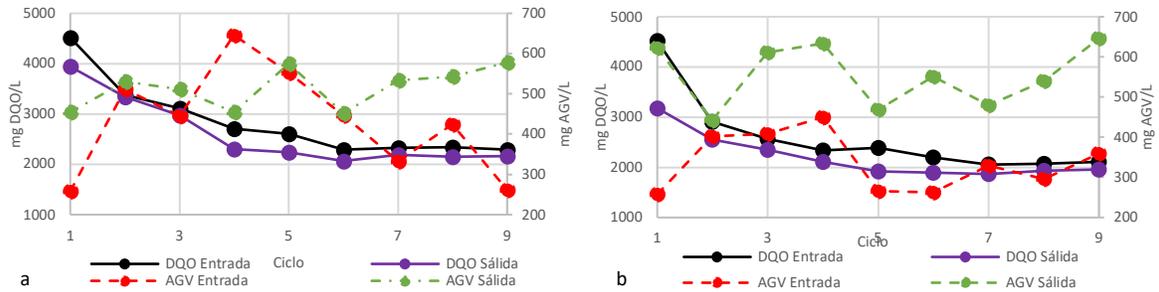


Figura 5. Activación de inóculo en dos reactores empacados: a) Reactor empacado con tezontle; b) Reactor empacado con riolita

Aclimatación de la biomasa. –

a) Remoción de materia orgánica (DQO): Al incrementar la concentración inicial de vinazas de 7 % a 75 % (equivalente a aumentar la concentración inicial de 2,623±96 a 23,632±1,105 mg DQO/L en el reactor empacado con Tezontle; y a aumentar de 2,701±83 a 24,557±426 mg DQO/L en el reactor empacado con Riolita), se observó que la eficiencia de remoción en ambos reactores se mantuvo entre el 8 y 23 % (Tabla 3). Estas eficiencias de remoción coinciden con lo que se espera de un proceso de FO, en los cuales se reportan eficiencias de remoción que oscilen entre el 10 y 20 % (García-Becerra et al., 2019; García-Depraect y León-Becerril, 2018; Buitrón *et al.*, 2014).

Tabla 3. Remoción de la DQO durante el proceso de aclimatación de la biomasa en los reactores empacados con tezontle y riolita.

Etap a	Vinaza (%)	Glucosa (g/L)	DQO inicial (mg/L)		DQO Removida (mg/L)		Eficiencia de remoción (%)		
			Tezontle	Riolita	Tezontle	Riolita	Tezontle	Riolita	
1	7	0.750	2,623±96	2,701±83	362±88	287±2	22±13	11±2	
2	15	0.500	3,210±53	3,397±106	488±159	412±53	23±3	12±2	
3	30	0.250	6,958±247	7,207±176	838±18	937±230	10±4	13±3	
4	50	0.125	12,780±742	10,980±35	2,250±56	6	900±71	17±16	8±1
5	60	0.100	14,145±159	14,032±21	1,950±31	1,687±53	14±2	8±1	
6	75	0.000	23,632±1,105	24,557±426	2,350±96	3,100±70	10±4	13±3	

b) Producción de ácidos grasos volátiles (AGVs): Conforme incrementó la concentración de vinazas en el afluente de 7 al 75 %, aumentó el contenido inicial de AGVs de 629±81 a 6,021±606 mg AGV/L (Tezontle) y de 567±66 a 6,640±574 mg AGV/L (Riolita). Al incrementar la concentración de vinazas en el afluente de 7 a 30 % no se observó una reducción importante de AGVs al final de cada ciclo de tratamiento manteniéndose por debajo de 267 mg AGV/L. Sin embargo, al aumentar el contenido de vinazas entre 50 y 75%

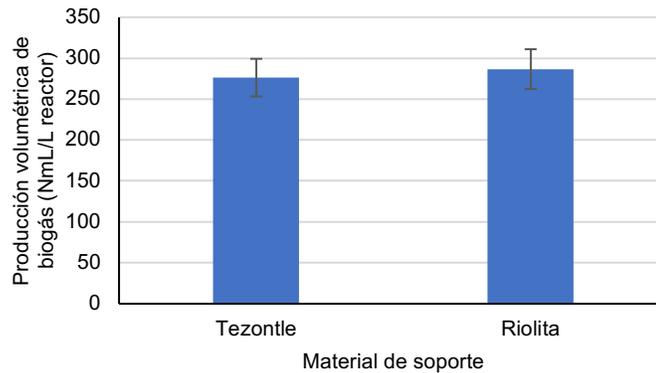
incrementó notablemente la producción de AGVs. Al final del proceso de aclimatación se puede apreciar que el reactor empacado con riolita presenta una eficiencia de producción de AGVs de $1,908 \pm 421$ mg AGV/L (29 ± 9 %), un valor significativamente mayor al logrado con el reactor empacado con tezontle de 850 ± 634 mg AGV/L (15 ± 12 %) (Tabla 4).

Tabla 4. Producción de AGVs durante el proceso de aclimatación de la biomasa en los reactores empacados con tezontle y riolita.

Etapa	Vinaza (%)	Glucosa (g/L)	AGVs inicial		AGVs producidos		Eficiencia de producción	
			(mg/L)		(mg/L)		(%)	
			Tezontle	Riolita	Tezontle	Riolita	Tezontle	Riolita
1	7	0.750	629±81	567±66	134±66	165±69	22±13	30±16
2	15	0.500	1,157±33	1,236±2	267±25	169±70	23±3	14±6
3	30	0.250	2,173±158	1,867±89	216±79	59±8	10±4	3±1
4	50	0.125	3,726±150	3,597±239	1,003±621	617±400	27±16	18±12
5	60	0.100	4,170±280	4,110±195	982±302	858±178	24±9	21±5
6	75	0.000	6,021±606	6,640±574	850±634	1,908±421	15±12	29±9

c) Producción volumétrica de biogás acumulada: Únicamente se determinó la producción volumétrica de biogás al final del proceso de aclimatación. Al alimentar los sistemas con 75 % de vinazas fue posible obtener una producción volumétrica de biogás sin diferencias estadísticamente significativas entre sí, generando 276 ± 23 NmL/L en el reactor empacado con tezontle y 287 ± 29 NmL/L en el reactor empacado con riolita. Por lo tanto, cualquiera de las dos unidades podría ser utilizada para la producción de biogás con un desempeño similar. La producción total al final del ciclo de tratamiento representa valores 15 % menores al logrado por Díaz-Barajas *et al.* (2021), en el cual se produjeron 325 NmL/L de biogás en un proceso de FO con biomasa suspendida con un TR de 4 d. Probablemente esto se deba a la prolongación del TR un día adicional comparado con el TR de 3 d utilizado en el presente trabajo. Sin embargo, la producción de biogás lograda en estos estudios es significativamente menor a la lograda por otros estudios como el realizado por Djalma *et al.* (2014), en el cual se utilizaron reactores empacados con acrílico como material de soporte, generando una producción de $526.8 \text{ mLH}_2/\text{L}_{\text{reactor}}\text{d}$, aplicando TRH de 12 h a partir de vinazas de alcohol de caña. Este TRH es 6 veces menor al utilizado en el presente estudio (TRH de 6 d), por lo que es probable que menores tiempos de reacción favorezcan la adaptación de la biomasa a aprovechar el sustrato más rápidamente, generando un mayor volumen de biogás en un menor tiempo.

Tabla 5. Producción volumétrica de biogás al final del proceso de aclimatación con diferentes materiales de empaque.



Conclusión

En ambos reactores se observó una eficiencia de remoción de MO orgánica similar desde la activación del inóculo. Sin embargo, la unidad empacada con riolita alcanzó una producción constante de AGVs en la mitad del tiempo que lo requerido en la unidad empacada con tezontle.

A pesar de que en ambas unidades la eficiencia de remoción de MO se mantiene en el rango esperado para un proceso de FO (10-20%), el reactor empacado con riolita presentó una producción de AGVs 55 % mayor a la alcanzada con la unidad empacada con tezontle. La riolita se puede considerar un material de soporte más favorable que el tezontle para el desarrollo de una comunidad microbiana acidogénica que promueve la generación y acumulación de AGV a un proceso de fermentación oscura.

Referencias

- APHA 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd edn. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Barca, C., Soric, A., Ranava, D., Giudici-Ortoni, M.-T., & Ferrasse, J.-H. (2015). Anaerobic biofilm reactors for dark fermentative hydrogen production from wastewater: A review. *Bioresource Technology*, 185, 386–398. doi:10.1016/j.biortech.2015.02.06
- Barros, A. R., Cavalcante de Amorim, E. L., Reis, C. M., Shida, G. M., & Silva, E. L. (2010). Biohydrogen production in anaerobic fluidized bed reactors: Effect of support material and hydraulic retention time. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(8), 3379–3388. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.01.10
- Barros, A. R., & Silva, E. L. (2012). Hydrogen and ethanol production in anaerobic fluidized bed reactors: Performance evaluation for three support materials under different operating conditions. *Biochemical Engineering Journal*, 61, 59–65. doi:10.1016/j.bej.2011.12.002
- Buitrón, G. & Carvajal, C. 2010 Biohydrogen production from Tequila vinasses in an anaerobic sequencing batch reactor: effect of initial substrate concentration, temperature, and hydraulic retention time. *Bioresource Technology* 101 (23), 9071–9077.
- Buitrón, G., Kumar, G., Martinez-Arce, A., & Moreno, G. (2014b). Hydrogen and methane production via a two-stage processes (H₂-SBR + CH₄-UASB) using tequila vinasses. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(33), 19249–19255. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.04.139
- Consejo Regulador del Mezcal. (2020). Informe estadístico 2020. Retrieved from https://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2019.pdf
- Djalma Nunes Ferraz Júnior, A., Wenzel, J., Etchebehere, C., & Zaiat, M. (2014). Effect of organic loading rate on hydrogen production from sugarcane vinasse in thermophilic acidogenic packed bed reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(30), 16852–16862. doi:10.1016/j.ijhydene.2014.08.01
- García-Becerra, M., Macías-Muro, M., Arellano-García, L., & Aguilar-Juárez, O. (2019). Bio-hydrogen production from tequila vinasses: Effect of detoxification with activated charcoal on dark fermentation performance. *International Journal of Hydrogen Energy*. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.10.05
- García-Depraect, O., & León-Becerril, E. (2018). Fermentative biohydrogen production from tequila vinasse via the lactate-acetate pathway: Operational performance, kinetic analysis and microbial ecology. *Fuel*, 234, 151–160. doi:10.1016/j.fuel.2018.06.126
- HACH. 2005. Hach Company. DR5000 Spectrophotometer: Procedures Manual, 2nd edn. Hach Company, Duesseldorf, Germany.

- Jung, K.-W., Kim, D.-H., Kim, S.-H., & Shin, H.-S. (2011). Bioreactor design for continuous dark fermentative hydrogen production. *Bioresource Technology*, 102(18), 8612–8620. doi:10.1016/j.biortech.2011.03.05
- Moreno-Andrade, I., Moreno, G., & Quijano, G. (2019). Theoretical framework for the estimation of H₂S concentration in biogas produced from complex sulfur-rich substrates. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-04846-3
- Retes-Pruneda, J.L., Jáuregui-Rincón, J., Lozano-Álvarez, J.A., 2014. Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico. Universidad autónoma de Aguascalientes. Retrieved from <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/1089/387365.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Robles-González, V., Galíndez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., & Poggi-Varaldo, H. M. (2012). Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*, 157(4), 524–546. doi:10.1016/j.jbiotec.2011.09.006
- Wang, X., & Zhao, Y. (2009). A bench scale study of fermentative hydrogen and methane production from food waste in integrated two-stage process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(1), 245–254. doi:10.1016/j.ijhydene.2008.09.100

ÍNDICE DE MINERALIZACIÓN PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA

VIVIANA PATRICIA DEL RIVERO PONCE, PAULA ZÚÑIGA RUIZ, ISABEL ARACELI AMARO
ESPEJO, ANDRÉS CASTAÑEDA MORALES

Resumen

Los rellenos sanitarios pueden convertirse en una fuente de contaminación del agua subterránea. El agua es la base de la vida misma, que requiere del análisis y control riguroso, factores como la presencia de calcio, magnesio, el pH y la conductividad, son parámetros que pueden hacer inferir en la calidad del agua. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua subterránea de pozos cercanos a un relleno sanitario a través del índice de mineralización. Se realizaron muestreos a 7 pozos que corresponden a las comunidades más cercadas al relleno sanitario, recolectados en temporada de lluvias, nortes y estiaje. Se analizaron conductividad (CE), alcalinidad (AT), dureza total (DT), pH y temperatura (T°) y se determinó el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) que agrupa los valores de conductividad, alcalinidad y dureza. Los resultados mostraron que los valores del ICOMI por temporada fueron: para lluvias $0.79 \pm 0.002 - 0.87 \pm 0.052$; nortes $0.82 \pm 0.011-- 0.87 \pm 0.009$ y $0.74 \pm 0.001 -- 0.88 \pm 0.042$ para estiaje; clasificando los puntos de muestreo como “contaminación muy alta” (ICOMI > 0.8-1) en todos los puntos de muestreo. El índice de mineralización estimado para las aguas subterráneas indicó que no pueden ser utilizadas para consumo humano, pero sí pueden ser útiles para agricultura; no obstante, los resultados de los parámetros fisicoquímicos: dureza, alcalinidad, conductividad y pH se mantienen dentro de los LMP con respecto a la normatividad nacional.

Palabras clave: Contaminación, relleno sanitario, lixiviados

Abstract

Landfills can become a source of groundwater contamination. Water is the basis of life itself, which requires rigorous analysis and control, factors such as the presence of calcium, magnesium, pH and conductivity, are parameters that can infer the quality of water. The objective of this study was to evaluate the quality of groundwater from wells near a landfill through the mineralization index. Sampling was carried out at 7 wells that correspond to the communities closest to the landfill, collected in the rainy season, north and dry season. Conductivity (CE), alkalinity (AT), total hardness (DT), pH and temperature (T°) were analyzed and the mineralization contamination index (ICOMI) was determined, which groups the values of conductivity, alkalinity and hardness. The results showed that the ICOMI values by season were: for rains $0.79 \pm 0.002 - 0.87 \pm 0.052$; norths $0.82 \pm 0.011-- 0.87 \pm 0.009$ and $0.74 \pm 0.001 -- 0.88 \pm 0.042$ for dry season; classifying the sampling points as “very high contamination” (ICOMI > 0.8-1) in all sampling points. The estimated mineralization index for the groundwaters indicated that they cannot be used for human consumption, but they can be useful for agriculture; nevertheless, the results of the physicochemical parameters: hardness, alkalinity, conductivity and pH remain within the LMP with respect to national normativity.

0.87 ± 0.009 and 0.74 ± 0.001 -- 0.88 ± 0.042 for dry season; classifying the sampling points as “very high contamination” (ICOMI > 0.8-1) in all the sampling points. The estimated mineralization index for groundwater indicated that they cannot be used for human consumption, but they can be useful for agriculture; however, the results of the physicochemical parameters: hardness, alkalinity, conductivity and pH remain within the LMP with respect to national regulations.

Keywords: Pollution, landfill, leachate

Introducción

El creciente aumento de la generación de residuos sólidos urbanos, ha tomado dimensiones preocupantes, ya que se relaciona directamente con el acelerado crecimiento demográfico de la población y la excesiva concentración en áreas urbanas. Los rellenos sanitarios juegan un papel importante en la disposición final de los residuos sólidos urbanos, no obstante; los lugares donde se destinan éstos, llegan a generar gradualmente cantidades crecientes de agentes contaminantes a los ecosistemas cercanos (Han et al., 2016). Los rellenos sanitarios se convierten en una fuente importante de contaminación del suelo y de cuerpos de agua; que llegan por escorrentía a aguas superficiales o por infiltración a aguas subterráneas (Longe & Enekwechi, 2007).

La mayor amenaza de contaminación se ha observado en aguas subterráneas, ya que pueden recibir contaminantes por la generación de lixiviados, donde el riesgo ocurre en rellenos sanitarios que no cumplen con un manejo y control de los lixiviados (Najafi Saleh et al., 2020). Durante la temporada de lluvias, se favorece la infiltración de los lixiviados hacia el agua subterránea, donde llegan a depositarse sales inorgánicas, materia orgánica disuelta y/o metales pesados en concentraciones que representan una amenaza para las aguas subterráneas y para los seres vivos (Mishra et al., 2019; Przydatek & Kanownik, 2019).

La producción y composición de los lixiviados está en función en la edad del relleno sanitario, modo de operación, grado de compactación, la hidrología y temperatura ambiental (Longe & Balogun, 2010). La mayor generación de lixiviados sucede durante los primeros 20 años y va disminuyendo con el tiempo (Han et al., 2016).

Para facilitar la integración e interpretación de los datos de calidad del agua, algunos autores ha propuesto diversos índices de calidad, en función de sus necesidades y facilidad de manejo. Dichos índices agrupan uno a varios parámetros, en los que se consideran fisicoquímicos y en algunos casos microbiológicos, de tal manera que permiten reducir la información a una expresión sencilla y fácil de interpretar (Ramírez, 1988; Samboni et al., 2007).

Por lo anterior, la evaluación de la calidad del agua en áreas cercanas a los rellenos sanitarios, permitirá conocer el impacto de éstos y el cumplimiento en el manejo de los residuos sólidos y los lixiviados. Por lo que el presente estudio, tuvo como

objetivo evaluar la calidad del agua subterránea de pozos cercanos a un relleno sanitario a través del índice de mineralización.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El relleno sanitario se encuentra en las coordenadas 18°53'30.37"N, 96°08'12.42'O en el municipio Medellín de Bravo, ubicado en la zona centro del estado de Veracruz en las llanuras de Sotavento (Figura 1). El clima de la región, subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (69%) y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (31%), con rango de temperatura 24-28°C y un rango de precipitación de 1,100-1,600 mm.



Figura 1. Ubicación del relleno sanitario y localidades cercanas

El relleno cuenta con 110 ha dedicadas para sus procesos de disposición; opera desde el año 2010 dentro de las primeras 7 ha. Recibe diariamente 1,200 t/d de RSU de los municipios Boca del Río, Medellín de Bravo, Tlaxiaco, Jamapa, Tierra Blanca y Veracruz del mismo estado, que equivale al 12.8% del estado. Cuenta con una laguna artificial para la captación de lixiviados que está conformada con una geomembrana con capacidad de 18,952.34 m³.

Se realizaron tres muestreos de acuerdo a la NMX-AA-014-1980, correspondientes a la temporada de lluvias (mayo a noviembre), nortes (diciembre-febrero) y estiaje (marzo a abril), realizado en el periodo 2020-2021. Se recolectaron muestras de agua subterránea de 7 pozos de las localidades el Guayabo y el Jicaral, que corresponden a las comunidades más cercadas al relleno sanitario ubicadas a 1.8 y 5.7 km respectivamente (Cuadro 1). El primer pozo ubicado a 50 m del relleno sanitario (P1), no fue identificado con destinatario, pero es utilizado animales que buscan agua. Los 6 pozos ubicados en las localidades El Guayabo y El Jicaral,

están destinadas para consumo agrícola y cría de animales de traspatio. De los pozos seleccionados, dos eran tubulares de pvc y cuatro de concreto, donde la profundidad total oscilaba de 15-23 m. Las muestras de agua se recolectaron en envases de polietileno de 1000 mL y se rotularon por sitio de muestreo. Posteriormente fueron conservadas en nevera a 4°C y transportadas al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Se analizaron las mediciones de temperatura (T°), pH, conductividad (CE) *in situ* utilizando un potenciómetro portátil marca HANNA modelo HI9811-5; de igual manera se determinaron alcalinidad (AT) de acuerdo a las especificaciones de la norma NMX-AA-036-SCFI-2001 y dureza total (DT) de acuerdo a la NMX-AA-072-SCFI-2001.

Cuadro 1 Puntos de muestreo, pozos de agua subterránea

Punto de muestreo	Ubicación		Distancia al relleno (m)	Profundidad Total (m)	Característica del pozo	Uso del agua
	Latitud (N)	Longitud (O)				
P1	18°53'38.30"	96°8'13.23"	50	s/d	Noria	s/d
P2	18°53'34.77"	96°7'15.56"	1800	18	Noria	Uso doméstico, consumo y agricultura
P3	18°53'45.38"	96°7'11.88"	1800	22	Noria	Uso doméstico, consumo y ganadería
P4	18°53'38.80"	96°7'12.45"	1800	19	Pozo profundo de pvc	Uso doméstico, consumo y ganadería
P5	18°53'40.43"	96°7'10.33"	1900	23	Noria hasta 13 m, y tubo de pvc de 13-19 m	Uso doméstico, consumo y agricultura
P6	18°52'19.09"	96°6'25.11"	5700	15	Noria hasta 17 m, y tubo de pvc de 17-23 m	Uso doméstico, consumo y ganadería
P7	18°52'17.79"	96°6'25.71"	5800	15	Noria	Uso doméstico, consumo y agricultura

s/d sin dato

Se determinó el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) de acuerdo a Ramírez (1988), que agrupa los valores de conductividad, alcalinidad y dureza. La conductividad que expresa el contenido de sólidos disueltos del cuerpo de agua, dureza que se basa en la concentración de cationes de calcio y magnesio y alcalinidad que se expresa a través del contenido de los aniones de carbono y bicarbonato.

La fórmula para medir el índice de mineralización es:

$$\text{ICOMI} = \frac{1}{3} (\text{I}_{\text{Conductividad}} + \text{I}_{\text{Dureza}} + \text{I}_{\text{Alcalinidad}})$$

Donde:

$$\text{I}_{\text{Conductividad}} = \text{Log}_{10} \text{I}_{\text{Conductividad}} = -3.26 + 1.34 \text{ Log}_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{S}/\text{cm})$$

$$\text{I}_{\text{Dureza}} = \text{Log}_{10} \text{I}_{\text{Dureza}} = -9.09 + 4.40 \text{ Log}_{10} \text{Dureza (mg/L)}$$

$$\text{I}_{\text{Alcalinidad}} = -0.25 + 0.005 * \text{Alcalinidad (mg/L)}$$

El índice ICOMI se define en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, mientras que los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización.

Resultados y Discusión

La selección de los pozos de agua se realizó considerando la proximidad al relleno sanitario, donde los pobladores utilizan este único suministro para sus actividades diarias, y sin realizar un tratamiento previo para su consumo. La temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) presentó cambios correspondientes a las diferentes temporadas climáticas del municipio Medellín de Bravo, Ver. (Lluvias= 26.5 ± 0.71 a $29.1 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$; Nortes= 26.8 ± 0.28 a $28.9 \pm 0.21^{\circ}\text{C}$; Estiaje= 27.1 ± 0.07 a $30.1 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$).

Los resultados indicaron que los valores de pH mostraron una similitud entre las tres temporadas (lluvias= 6.8 ± 0.35 a 7.4 ± 0.07 ; nortes= 6.8 ± 0.28 a 7.3 ± 0.14 ; estiaje= 6.8 ± 0.07 a 7.4 ± 0.21). Se observó que, en todos los casos, el agua de pozo se encontraba dentro de los límites máximos permisibles (pH 6.5-8.5) que establece NOM-127-SSA1- 1994 y la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua cruda y/o agua potable (Figura 2a). No obstante, los pH más ácidos se observaron en la época de lluvias y nortes en el punto P1, ubicado a 50 m del relleno sanitario; se encontró que éste pozo estaba descubierto y por su cercanía al relleno, estaba expuesto la contaminación por excretas por la presencia de aves de rapiña. Es por esto que la variación del pH se atribuye a la descomposición de la materia orgánica del agua que convierte los compuestos orgánicos en dióxido de carbono (CO_2) y agua, por lo que las variaciones del pH obedecen a la secuencia de equilibrios de disolución de CO_2 en el agua, la disolución de CO_3 e insolubilización de HCO_3 (Stumm y Morgan, 1996).

Los valores de alcalinidad (Figura 2b) se encontraron entre 123 ± 1.41 a 174 ± 2.83 mg/L en la temporada de lluvias, entre 146 ± 6.36 a 176 ± 5.66 mg/L en la época de nortes y entre 93 ± 0.71 a 185 ± 9.9 mg/L durante estiaje. La concentración más alta se observó en el punto P4 en la temporada de lluvias y nortes, mientras que durante la temporada de estiaje se encontró el valor más alto en el punto P2. La alcalinidad está relacionada con los iones de bicarbonato, carbonato e hidróxidos presentes en el agua subterránea así como de los procesos de degradación de la materia orgánica (RaviKumar *et al.*, 2020).

La dureza se observó con una variación de 128 ± 5.66 a 182 ± 36.77 mg/L en la época de lluvias, en la temporada de nortes varió de 126 ± 5.66 a 163.5 ± 2.12 mg/L, mientras que en la temporada de estiaje varió de 104 ± 0.01 a 188 ± 5.66 mg/L. Los valores más elevados se encontraron en el punto P1 en todas las temporadas, como se muestra en la (Figura 2c). De acuerdo a la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua se considera dura debido a que se encuentra entre valores de 121-180 mg/L, no así con respecto a la NOM-127-SSA-1994. Durante las temporadas de lluvias y nortes se observó un ligero incremento con respecto a la temporada de estiaje., coincidiendo este comportamiento al observado con respecto a la conductividad. En todos los casos, la dureza se encontró dentro de los límites máximos permisibles nacionales, establecido para agua potable. La dureza puede ser causada por la presencia de sulfatos, cloruros, nitratos de calcio y magnesio en el agua.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) se presentaron entre 551.5 ± 12.02 a 806 ± 5.66 $\mu\text{S/cm}$ en la época de lluvias, de 319 ± 1.41 a 650 ± 8.49 $\mu\text{S/cm}$ en la época de nortes y de 273.5 ± 4.95 a 606.5 ± 9.19 $\mu\text{S/cm}$. Se encontró que los valores más altos de CE estuvieron en el punto P7 (Figura 2d) en las temporadas de lluvia y nortes, mientras que los valores más altos durante el estiaje fueron en el punto P2. Se han establecido categorías de la calidad del agua de acuerdo a la conductividad, los valores entre 250- 750 $\mu\text{S/cm}$ es una agua de calidad Buena y de 750-2000 de calidad Permisible (Rodríguez, 2009); por lo anterior, se observó que la calidad se encontró dentro de la calidad Buena, y los puntos P2 y P7 se consideraron de calidad permisible durante la época de lluvias. La conductividad indica la presencia de partículas con carga iónica como sales de una solución fuerte o compuestos ácidos.

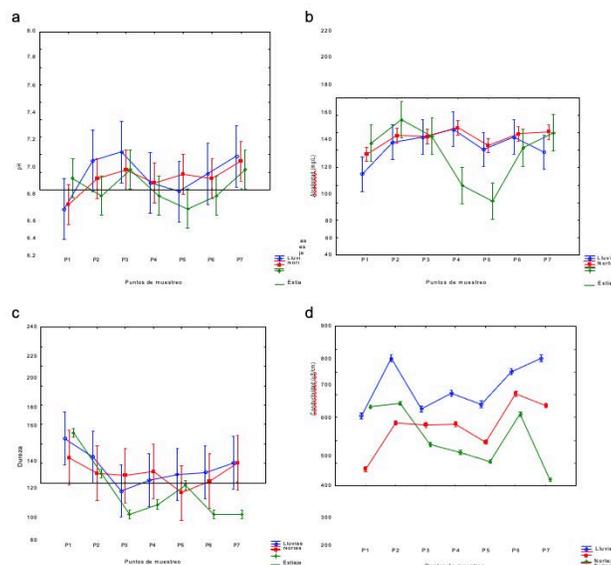


Figura 2. Variación de los parámetros fisicoquímicos por temporada y por puntos de muestreo. a) Comportamiento del pH, b) Alcalinidad total, c) Dureza total y d) Conductividad eléctrica

Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)

El índice de contaminación por mineralización (ICOMI) se expresó con las variables de conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos. Por lo tanto, la mineralización involucra al unísono la disolución de aniones y cationes en las aguas. Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Los resultados de ICOMI se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2 Resultados del Índice de Contaminación por mineralización por temporadas

Puntos de muestreo	Índice de contaminación por mineralización ICOMI		
	Lluvias	Nortes	Estiaje
P1	0.79 ± 0.002	0.82 ± 0.011	0.88 ± 0.042
P2	0.85 ± 0.002	0.86 ± 0.007	0.88 ± 0.017
P3	0.86 ± 0.024	0.85 ± 0.009	0.86 ± 0.002
P4	0.87 ± 0.005	0.87 ± 0.009	0.76 ± 0.005
85	0.83 ± 0.002	0.84 ± 0.011	0.74 ± 0.001
P6	0.86 ± 0.024	0.86 ± 0.002	0.82 ± 0.031
P7	0.87 ± 0.052	0.87 ± 0.002	0.87 ± 0.001

Para la obtención del ICOMI se tomó en cuenta que la dureza presentó un índice de 1, debido a que su valor es mayor a 110 mg/L; así mismo la conductividad presentó un índice de 1 debido a que su valor fue mayor a 270 μ S/cm; la alcalinidad, aunque no superó 250 mg/L, su valor es suficiente para que mediante la utilización de la ecuación arroje un índice superior a 0.8 dando un índice de contaminación muy alto; como se describe en el cuadro 3.

Cuadro 3. Grado de contaminación de acuerdo a los ICOMI (Ramírez *et al.*, 1987)

ICOMI	Caracterización	Contaminación
0.0 - 0.2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Ninguna
>0.2 - 0.4	Con leve incidencia antrópica	Baja
>0.4 - 0.6	Notable actividad antrópica	Media
>0.6 - 0.8	Incidencia importante de contaminación	Alta
>0.8 - 1.0	Áreas muy contaminadas	Muy alta

En la figura 3 se observa el comportamiento del índice de contaminación por mineralización de las muestras en las tres temporadas: lluvias, nortes y estiaje; el valor promedio de ICOMI fue 0.85, 0.85 y 0.83 respectivamente, que de acuerdo con Ramírez *et al.* (1987), estos valores corresponden a una “contaminación muy alta” por mineralización (Cuadro 3).

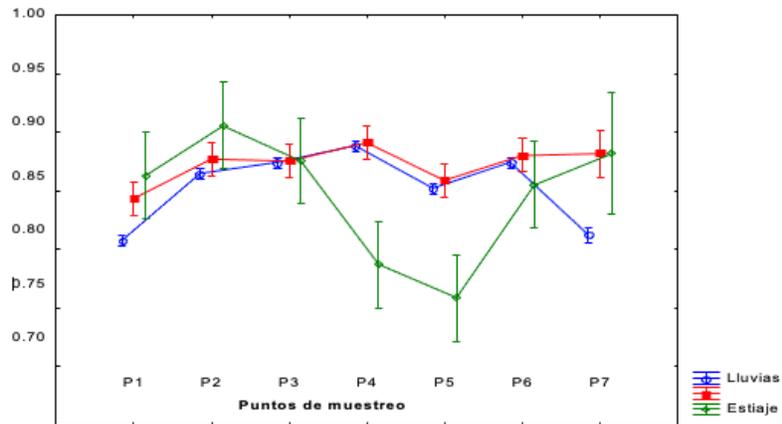


Figura 3. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Los valores ICOMI no muestran diferencias significativas entre puntos de muestreo, lo que indica que la ubicación de éstos, son independiente de los resultados reportados. En general, de acuerdo al ICOMI, en la mayoría de los resultados reflejan un nivel de contaminación “muy alta” en los diferentes puntos de muestreo y en las 3 temporadas climáticas. No obstante, los resultados de los parámetros fisicoquímicos de dureza, conductividad y alcalinidad no rebasan los LMP establecidos por la normatividad mexicana (NOM-127-SSA1-1994), por lo tanto, se esperarí un índice de contaminación bajo. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el fenómeno de mineralización está ligado a la capacidad del cuerpo de agua que se estudia; se evalúa la capacidad de disolver tanto cationes como aniones y esto se puede ver reflejado en la cantidad de solidos disueltos que se pueden presentar y que incrementan o disminuyen con la variación misma del resultado final del índice de contaminación (Cañas, 2010).

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previo a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes (Pulido *et al.*, 2005). Las aguas naturales, y en particular las subterráneas; contienen diversas cantidades de sales de composición variada: bicarbonato de calcio y de magnesio, hierro, calcio o magnesio que pueden generar precipitados generando en la salud de los consumidores.

La dureza está relacionada directamente con el pH, pues confiere al agua los iones de calcio, magnesio y sodio que pueden formar compuestos carbonatados, la dureza no es un factor de riesgo para la salud humana ya que no sobrepasa el límite establecido en la normatividad, sin embargo, la dureza interfiere con los procesos naturales del agua. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que las aguas duras pueden generar incrustaciones en los sistemas de distribución y que, por el contrario, las aguas blandas pueden corroerlos. Por otro lado, la

aceptabilidad puede variar de acuerdo a las poblaciones; se dice que el umbral gustativo del ion calcio se encuentra entre 100 mg/L y 300 mg/L dependiendo del anión asociado y que el umbral del magnesio es menor que el del calcio. No obstante, algunos consumidores pueden tolerar durezas mayores a 500 mg/L (Mora Alvarado *et al.*, 2002).

Conclusión

La evaluación de la calidad por contaminación de mineralización en los diferentes puntos presentó grado de contaminación muy alta debido al aumento de la dureza, que indica la presencia de partículas de calcio y magnesio, así mismo; a la alta presencia de sustancias que se ionizan y que están disueltas causante del aumento de la conductividad; y por último a carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, relacionados con la alcalinidad.

Los índices de contaminación (ICO) constituyen una herramienta poderosa de fácil determinación, que prestan gran utilidad en la caracterización de la calidad de las aguas. La obtención del índice ICOMI permitió conocer el estado actual del agua subterránea que se utiliza para el abastecimiento de las actividades domésticas y agrícolas, así también permite proponer alternativas de mejora, en caso necesario. Por otro lado, una de las causas que hace que se modifique el pH es a la presencia de actividades en descomposición de la materia orgánica, y a la presencia de bicarbonato y carbonato en los cuerpos hídricos. Los valores del ICOMI se encuentran afectados por la alternancia de períodos de fuertes vientos, déficit y exceso de precipitaciones típicas de la región; y como consecuencia pueden presentar una gran variación en lo que respecta a la calidad de sus aguas, debido a procesos de dilución-concentración de nutrientes y la posible presencia de contaminantes vertidos directamente del basurero e infiltrados.

Conocer la calidad del agua es fundamental para satisfacer el aumento poblacional, lo que ha aumentado el interés por el conocimiento acerca de fuentes de agua disponible para diversos usos y aplicaciones. Los efectos que la eliminación de basura puede tener en el ambiente de aguas subterráneas tiene que ver con los desperdicios enterrados en vertederos y rellenos sanitarios sujetos a lixiviación, ya sea por la infiltración de agua derivada de la lluvia y a la descomposición orgánica. El líquido que se deriva de este proceso se conoce como lixiviado.

Referencias

- Han, Z., Ma, H., Shi, G., He, L., Wei, L., & Shi, Q. (2016). A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. *Science of the Total Environment*, 569–570(1), 1255–1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.201>
- Longe, E. O., & Balogun, M. R. (2010). Groundwater quality assessment near a municipal landfill, Lagos, Nigeria. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 2(1), 39–44.
- Longe, E. O., & Enekwechi, L. O. (2007). Investigation on potential groundwater impacts and influence of local hydrogeology on natural attenuation of leachate at a municipal landfill. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 133–140. <https://doi.org/10.1007/BF03325971>
- Mishra, S., Tiwary, D., Ohri, A., & Agnihotri, A. K. (2019). Impact of Municipal Solid Waste Landfill leachate on groundwater quality in Varanasi, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 9(May), 100230. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100230>
- Mora Alvarado, D., Felipe Portugués C., y Alfaro Herrera N. (2002) Relación entre la Dureza del Agua y las Cardiopatías Isquémicas en Costa Rica. *La Unión. Laboratorio Nacional de Aguas*; 2002;1-13.
- Najafi Saleh, H., Valipoor, S., Zarei, A., Yousefi, M., Baghal Asghari, F., Mohammadi, A. A., ... Mousavi Khaneghah, A. (2020). Assessment of groundwater quality around municipal solid waste landfill by using Water Quality Index for groundwater resources and multivariate statistical technique: a case study of the landfill site, Qaem Shahr City, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(5), 1305–1319. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00417-0>
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1998, que establece los Límites Máximos Permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
- NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".
- Przydatek, G., & Kanownik, W. (2019). Impact of small municipal solid waste landfill on groundwater quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7279-5>
- Pulido, M. D. P. A., de Navia, S. L. Á., Torres, S. M. E., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69-79.

- Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G., 1997. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación., Ciencia, Tecnología y Futuro, 1: 135-153.
- Ramírez, A., 1988. Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental, Contrato 64/87 INDERENA, Bogotá, Colombia, 455 p.
- RaviKumar, P., Shridhar, D. M., & Prakash, K. L. (2020). Assessment of Leachate contaminated Groundwater Quality near Mandur Solid Waste Dumping Site, Bangalore. Current World Environment, 15, 194–203. <https://doi.org/10.12944/cwe.15.2.06>
- Rodríguez Zamora., J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Pensamiento Actual, 9(12), 125–134.
- Samboni Ruiz, N.E., Carvajal Escobar, Y., y J.C. Escobar, 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ing Investig. 27: 172-81.
- Vaca Daza, D. P. (2015) Tratamiento primario de aguas residuales domésticas: Unidad didáctica como eje interdisciplinar en ciencias. Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales.

DESAFÍOS DE LA CAFETICULTURA PARA MITIGAR SU IMPACTO EN EL RECURSO AGUA

LAURA RUELAS MONJARDÍN¹, CARLOS QUIROZ APARICIO², ROSA MARÍA ARIAS MOTA³,
YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO⁴

Resumen

Son innegables los beneficios que proporciona la cafeticultura a la economía; a los servicios ecosistémicos; a la identidad cultural, entre otros. El cultivo y beneficiado del café es una de las actividades agroindustriales más importantes en varios países de Latinoamérica, incluido México. Sin embargo, esta actividad enfrenta desafíos. Uno de ellos, la pérdida de competitividad en el mercado internacional. En el ciclo comercial 2016/17, se esperaba que las exportaciones mexicanas de café disminuyeran a una tasa anual de 9.9 por ciento, en tanto que las importaciones se incrementarían en un 3.3 por ciento con respecto al ciclo 2015/16. Otro desafío, es la presión internacional y nacional por mejorar los estándares ambientales del proceso de beneficiado de café, relacionados con el agua. El objetivo de este trabajo fue analizar el proceso de producción y beneficiado del café para determinar su influencia en el uso y disposición de las aguas residuales. Se utilizó el método de estudio de caso, en Jilotepec, Veracruz, donde se aplicaron cuestionarios de manera presencial y virtual a 45 cafeticultores. Los resultados indican que el uso excesivo del agua en el proceso de beneficiado, está relacionado con el nivel de madurez del fruto. Entre más verde se corte, mayor agua requiere. Es evidente el desconocimiento sobre la administración del agua: qué institución la regula, qué permisos se requieren para uso y descarga de las aguas residuales. Es necesario que la dimensión ambiental sea considerada para que no represente un desafío más debido a la escasez y contaminación del agua.

Palabras clave: Beneficiado del café, disposición de las aguas residuales, impacto ambiental, uso del agua.

Abstract

The benefits that coffee farming provides to the economy are undeniable; to ecosystem services; to cultural identity, among others. The cultivation and processing of coffee is one of the most important agro-industrial activities in several

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX). Sección 5ª Reserva Territorial S/N, Col. Santa Bárbara, C.P. 91096, Xalapa, Veracruz.

² Universidad Veracruzana (UV), Av. Presidentes S/N, Col. Isleta, CP91000 Xalapa, Ver. cquirozaparicio@gmail.com

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX). Sección 5ª Reserva Territorial S/N, Col. Santa Bárbara, C.P. 91096, Xalapa, Veracruz.

⁴ Universidad Veracruzana (UV), Av. Presidentes S/N, Col. Isleta, CP91000 Xalapa, Ver.

Latin American countries, including Mexico. However, this activity faces challenges. One of them, the loss of competitiveness in the international market. In the 2016/17 business cycle, Mexican coffee exports were expected to decline at an annual rate of 9.9 percent, while imports were expected to increase by 3.3 percent over the 2015/16 cycle. Another challenge is the international and national pressure to improve the environmental standards of the coffee processing process, related to water. The objective of this work was to analyze the coffee production and processing process to determine its influence on the use and disposal of wastewater. The case study method was used in Jilotepec, Veracruz, where questionnaires were applied in person and virtually to 45 coffee growers. The results indicate that the excessive use of water in the processing process is related to the level of maturity of the fruit. The greener you cut, the more water it requires. The lack of knowledge about water administration is evident: what institution regulates it, what permits are required for the use and discharge of wastewater. It is necessary that the environmental dimension is considered so that it does not represent another challenge due to the scarcity and contamination of water.

Key words: coffee beneficiary, waste water disposal, environmental impact, water use.

Introducción

El cultivo del café es reconocido por los diversos beneficios ambientales que presta, cuando su cultivo se hace bajo sombra, su ubicación en áreas montañosas de topografía bastante accidentada (sierras, cerros, lomeríos, barrancas) que coinciden con las áreas de mayor diversidad biológica del país (Díaz y Escamilla, 2013). De igual forma, Contreras (2010) resalta su relevancia social, económica y ambiental. Sin embargo, este cultivo enfrenta amenazas a su conservación, debido a su transformación a cultivos como la caña de azúcar, los cítricos, las hortalizas, las flores e incluso el ganado (Mestries, 2006 y Nava-Tablada, 2010).

A estas amenazas relacionadas con el cambio de uso de suelo, se le suma otro desafío de gran envergadura, que está relacionado con el excesivo uso de agua para el beneficiado húmedo y la contaminación por las aguas residuales derivadas de este proceso. El asunto de la contaminación originada por los beneficios de café ha sido abordado desde la década de 1990 por la legislación ambiental mexicana. La norma técnica ecológica NTE-CCA-027/90, establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria del beneficio del café a cuerpos receptores (Ruelas, 2018). El proceso húmedo de café utiliza hasta 15 m³ de agua para producir una tonelada de grano limpio

(Kivaisi y Assefa 2010). Además, en el proceso de beneficiado húmedo se generan contaminantes como pulpa o desecho sólido, aguas mieles y aguas residuales que provocan la contaminación de los cuerpos receptores de las descargas (Ruelas, Arias y Rodríguez, 2020). Dado que el uso excesivo de agua y la contaminación derivada del proceso de beneficiado contribuyen a la escasez y a la pérdida de calidad del agua que experimentan los cuerpos de agua del país, el objetivo de este trabajo, es exponer los desafíos que enfrenta la actividad cafetalera, derivados de la nula gestión del uso y tratamiento de las aguas residuales. Esta falta de gestión sostenible, es sin duda una limitante para que los productores accedan a mercados que pueden incrementar sus ganancias económicas entre un 22 a 35% por productos sustentables premium (Crowdera y Reganold, 2015).

Materiales y Métodos

Descripción de la zona de estudio

El municipio de Jilotepec pertenece al estado de Veracruz, de acuerdo a la división municipal, se ubica entre los paralelos 19° 35' y 19° 39' de latitud norte; los meridianos 96° 50' y 96° 59' de longitud oeste; altitud entre 860 y 1,900 msnm. Colinda al norte con los municipios de Tlacolulan, Coacoatzintla y Naolinco; al este con los municipios de Naolinco y Xalapa; al sur con los municipios de Xalapa y Banderilla; al oeste con los municipios de Banderilla, Rafael Lucio y Tlacolulan, la cabecera municipal se ubica a 11 km de la capital del estado (SEFIPLAN, 2020). Posee una superficie continental de 56.2 km² y una superficie agrícola de 27.2 km², (INEGI, 2005, citado por SEFIPLAN, 2020).

El municipio se encuentra ubicado en la zona central y montañosa del estado y prácticamente sobre la depresión que forma la barranca de Actopan, que se origina en la vertiente Oriental del Cofre de Perote y termina cerca de la costa, siendo su topografía bastante accidentada, recorrido por la barranca de Jilotepec (nombre local de la llamada de Actopan) y como alturas notables están los cerros de Jilotepec, Esquilón, Cuajilote y otros (SECTUR, 2021). Jilotepec pertenece a la región hidrológica de Papaloapan, se encuentra alojado en la cuenca del río Actopan (figura 1). Colinda al sur con la de la Antigua; al norte con las cuencas del río Misantla, río Colipa y llanuras de Actopan. Cuenta con corrientes de agua intermitentes y no dispone de cuerpo de agua como lagos o lagunas (INEGI, 2009).

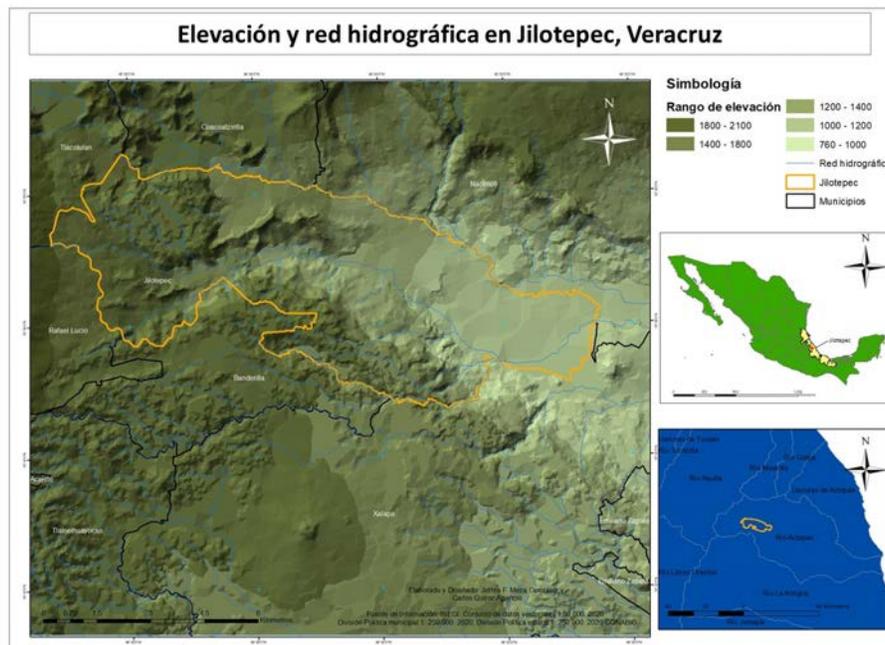


Figura 1. Ubicación del municipio de Jilotepec en el contexto nacional y estatal.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y CONABIO.

Metodología

La investigación es descriptiva, con un enfoque mixto. La técnica de investigación fue la encuesta, la cual se implementó mediante un cuestionario que se aplicó a una muestra de 45 cafecultores de una población de 172 cafecultores activos de los ejidos: La Concepción, Vista Hermosa, Jilotepec y San Juan. El nivel de confianza fue del 95% y un margen de error del 12.6%. Se aplicaron 26 cuestionarios de forma personal; 17 vía telefónica y 2 mediante Whatsapp, entre julio a septiembre de 2021. Las respuestas se migraron a una base de datos en la aplicación Google Forms. El cuestionario tuvo por objetivo, analizar los sistemas productivos de cafecultores del municipio de Jilotepec, Veracruz, con énfasis en uso y disposición de los residuos del beneficiado del café. El directorio de los cafecultores se obtuvo de los Comisariados Ejidales. Los resultados que a continuación se muestran son de tipo sociodemográficos, tipología del productor, cosecha, procesos del beneficiado, uso y disposición del agua y residuos derivados del beneficiado del café cereza.

Resultados y Discusión

Resultados sociodemográficos

Los resultados sociodemográficos muestran que la actividad cafetalera sigue siendo predominantemente masculina, con el 93% de hombres. Aunque esto indica la escasa participación de la mujer, no puede dejarse de lado, que a nivel internacional tiene un 70% de involucramiento en la operación de la parcela, como fuerza de

trabajo pagada y no pagada en la parcela familiar y como trabajadora agrícola. En México, el Programa de Fomento al Café de 2008, apoyó a 70,445 mujeres, lo que representó el 26.2% de los beneficiarios de este programa. Una década después, el número de mujeres que lideraban como productoras ascendió más de 750 mil (Ruelas, Arias y Rodríguez 2020, con base en la revisión del Sistema Producto Café de 2008 y el informe de la SAGARPA 2018). En términos de edad, el 77% tiene más de 50 años (figura 2).

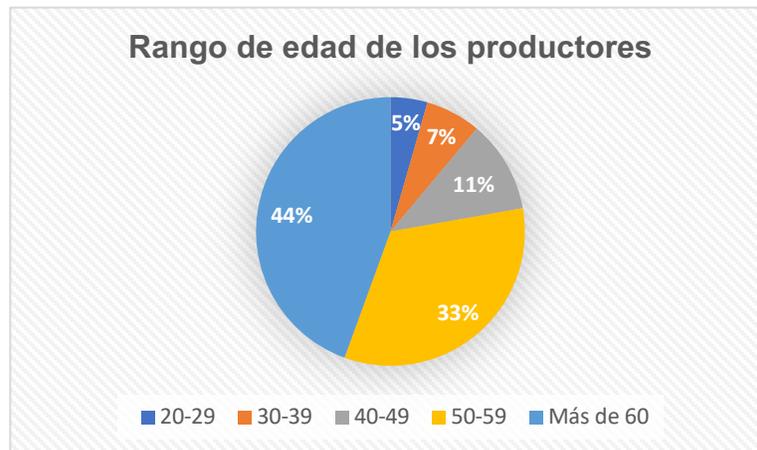


Figura 2. Edad de los productores de café, Jilotepec, Veracruz. 2021
Fuente: datos propios.

Es decir, que dos tercios de los productores estarían en las dos últimas de las cuatro etapas del ciclo de vida de una persona. La tercera es una etapa activa de retiro, y la cuarta es la fase de declinación, mayor dependencia y deterioro acelerado. Estas dos últimas etapas se consideran de envejecimiento funcional, donde se presenta riesgos relacionados con la vejez, tales como la pérdida de salud, capacidad y autonomía (González y Ham-Chande, 2007).

En cuanto a la ocupación principal y complementaria (figura 3), se puede observar que, a menor edad, menor porcentaje de productores ocupados en esta actividad. Este patrón ha sido señalado por Hernández y Nava (2018) y Ramírez y Nava (2019), como la falta de relevo generacional entre los cafeticultores. Lo cual puede indicar que las generaciones siguientes optan por otra actividad diferente al café o bien, hacen una conversión de la actividad hacia la caña, cítricos, uso urbano, etc. A la pérdida de interés de las nuevas generaciones, se le suma, el que la actividad deba ser complementada por los ingresos de otras ocupaciones.

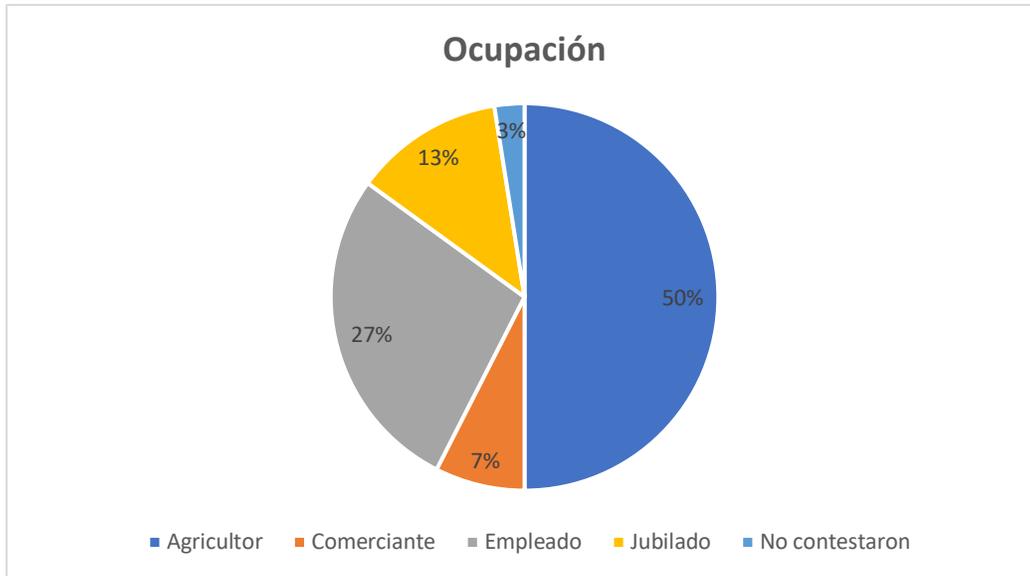


Figura 3. Ocupaciones de los productores de café, Jilotepec, Veracruz. 2021.

Fuente: datos propios

La edad de los productores se puede relacionar con el nivel de escolaridad de éstos. El 49% sólo cuenta con nivel primaria. Es decir, el 69% se ubica en un nivel de educación básica (figura 4).

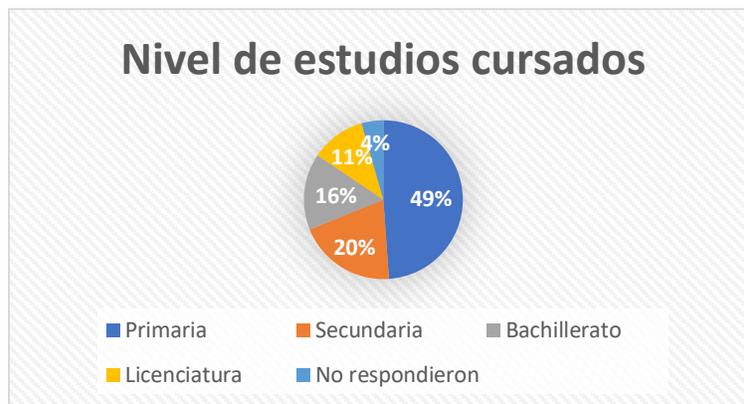


Figura 4. Nivel de escolaridad de los productores de café, Jilotepec, Veracruz. 2021

Fuente: datos propios

Aunque representa un porcentaje bajo (11%), el hecho de que haya escolaridad a nivel licenciatura, es un indicio de que la actividad puede encaminarse hacia un manejo sustentable de la finca. De acuerdo con Negatu y Parikh (1999), características sociodemográficas como el estatus socioeconómico, percepción de los productores, entre otros factores, influyen en la adopción de nuevas prácticas de agricultura sustentable.

Resultados: prácticas productivas y de beneficiado húmedo

El grado de madurez con que cosechan el fruto influye en la cantidad de agua que utilizan para el beneficiado húmedo, así como en la calidad del producto. En la figura 5 se observa que, de los 40 encuestados que dieron información, el 45% lo cosecha maduro, mientras que el restante 55% lo hace en estado verde, pinto, seco, maduro, es decir mezclado y con diferentes grados de madurez. A medida que la cereza madura en la planta, aumenta el contenido de sólidos solubles, el calibre y el color. La acidez disminuye y en menor medida lo hace la firmeza. Por lo que se deben separar los frutos verdes o secos, porque si se mezclan con el resto, las características de la bebida, como el sabor, el aroma, la acidez, el cuerpo, la limpieza, la dulzura y el sabor residual se van a ver afectadas (Canda, SF. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd50_posco.pdf).

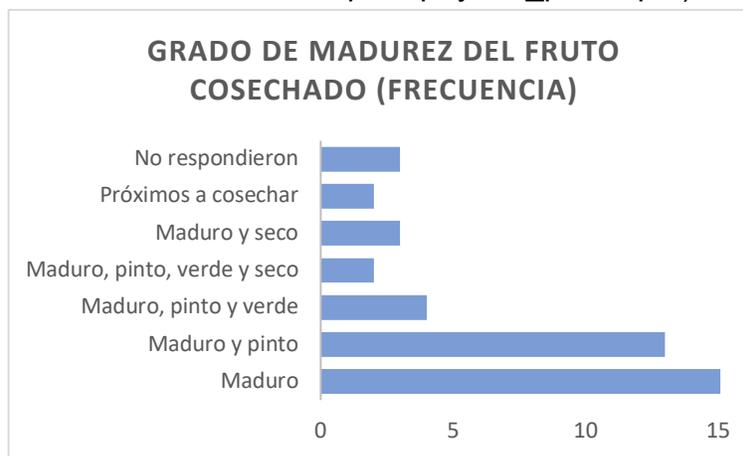


Figura 5. Grado de madurez de la cosecha del fruto, Jilotepec, Veracruz. 2021

Fuente: datos propios

El proceso de beneficiado se realiza en mayor medida mediante el lavado. De los 38 que aportaron información, el 89% lo realiza mediante el uso del agua (figura 6). Sin embargo, en general, no tienen una estimación del volumen utilizado. Sólo uno de los entrevistados aportó información al respecto. Estimó que el consumo de agua para despulpar y lavar una tonelada de café cereza va de 1,800 a 2700 litros (Vázquez-Aburto, comunicación personal, septiembre de 2021). Las investigaciones de Roa et al., 1999; Pérez et al., 2007 (como se cita en López Blanco, 2013) señalan que el proceso de lavado es una modalidad del beneficio húmedo, y se caracteriza por el uso de altas cantidades de agua, alrededor de 40 a 60 l/kg de café pergamino seco (cps). Estos volúmenes de agua se distribuyen de la siguiente forma: 12,5% se utiliza en el despulpado; 37,5% en el lavado y transporte del grano y 50% para el transporte de la pulpa

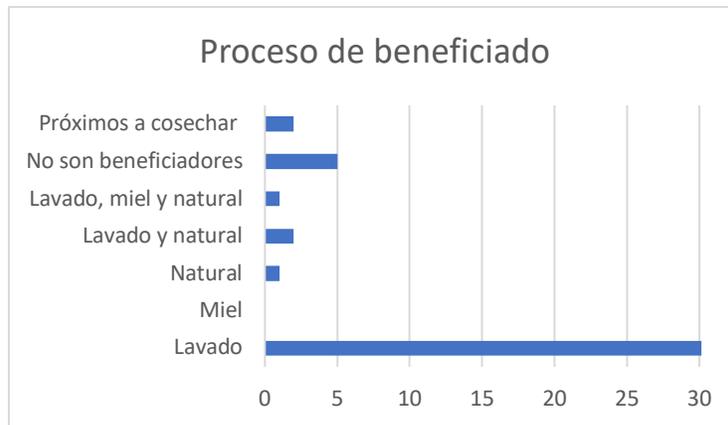


Figura 6. Proceso de beneficiado del fruto del café, Jilotepec, Veracruz. 2021
Fuente: datos propios

Además, el lavado debe realizarse con agua limpia y no utilizar en lo posible aguas recicladas Chacón (2001). Procesos como el natural y miel, que requieren menos agua, son escasamente utilizados por los productores de Jilotepec. El método natural o también llamado de vía seca es el más antiguo y el más sencillo y requiere poca maquinaria. El miel, es un proceso intermedio, en el que se quita la pulpa antes de iniciar el proceso de secado, pero el mucílago permanece adherido al grano. Para obtener café pergamino “honey”, con el 100% de mucílago adherido, se quita la pulpa sin usar agua.

De acuerdo con el lugar donde realizan el beneficio, más de la mitad de los que aportaron información a esta pregunta, dijeron realizarlo en su casa (figura 7).

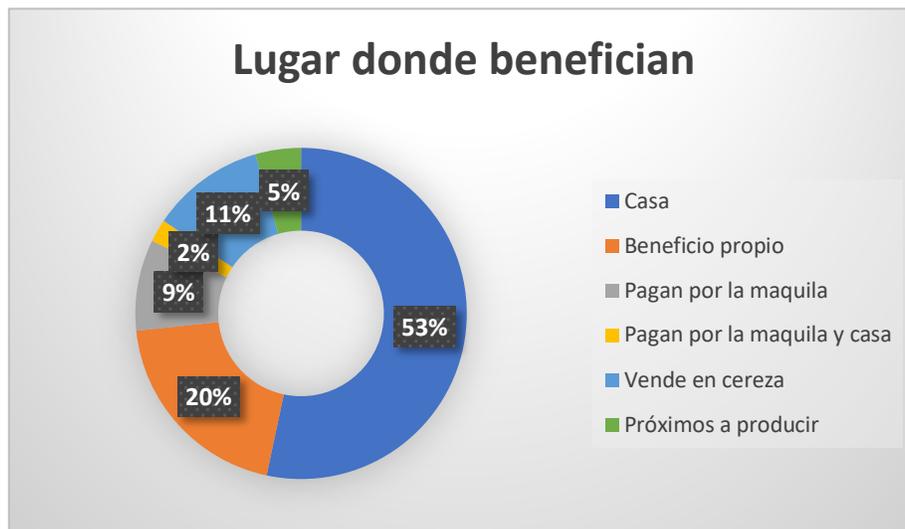


Figura 7. Lugar de beneficiado del fruto del café, Jilotepec, Veracruz. 2021
Fuente: datos propios

El hecho de que lo realicen en su casa, puede estar relacionado con un bajo nivel de volumen cosechado, ya que el 82% de los productores tiene menos de 3 ha. De igual forma, el lugar del beneficiado puede explicar el por qué, de los 31 que realizan

el beneficiado húmedo, el 61% usa agua de la red pública (figura 8) que provee la Oficina de la Comisión del Agua del estado de Veracruz (la CAEV en Jilotepec). Esto va en detrimento del acceso de los habitantes al agua potable. Ya que de las 31 localidades con que cuenta el municipio, sólo 17 cuentan con acceso al agua y 10 al drenaje. De igual forma lo hacen sobre las 49 fuentes de agua que dotan al municipio (41 de ellas son manantiales y 8 son superficiales), que aportan un volumen diario de 1.12 miles de metros cúbicos.

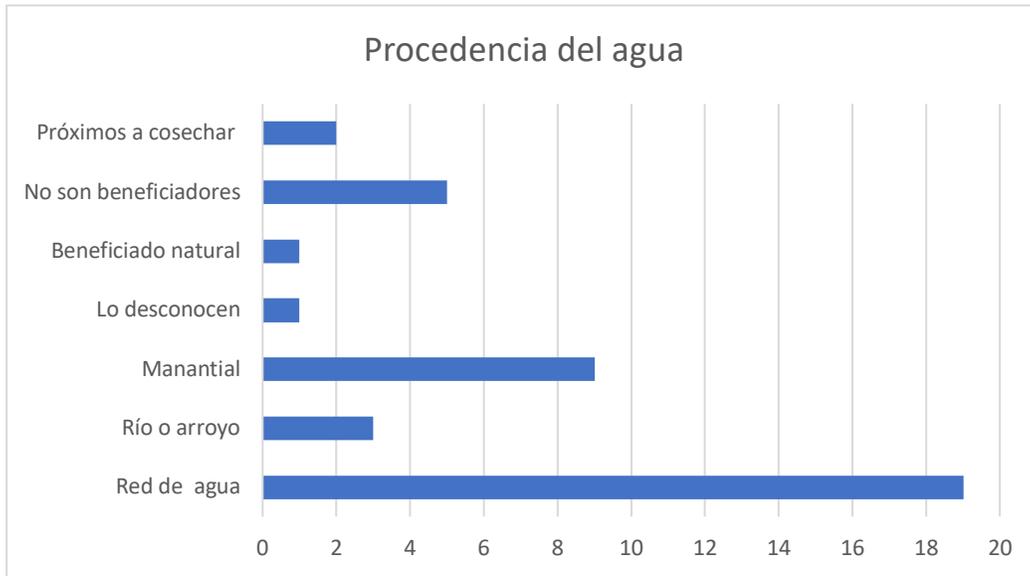


Figura 8. Procedencia del agua para el beneficiado del café, Jilotepec, Veracruz. 2021
Fuente: datos propios

Es decir, que no cuentan con permiso por parte de Conagua para el uso del agua. Esta gestión la realiza la Oficina del Agua, es decir, CAEV, que cuenta con 31 permisos ante el REPDA, por un volumen asignado de 443 321 m³. En la figura 9 se muestra esta situación y donde un sólo productor cuenta con el permiso de concesión.



Figura 9. Permiso para el uso del agua ante el REPDA, Jilotepec, Veracruz. 2021
Fuente: datos propios

Del volumen total concesionado para el municipio de Jilotepec (1 129 041 m³), los dos mayores usuarios son el sector agrícola y el público urbano, con el 44% y 39%, respectivamente. El único permiso para beneficiado, que se ubica en “diferentes usos”, representó el 4% del total concesionado en el municipio. La práctica de uso del agua de la red pública, fue identificado por Ruelas (2018), en productores entrevistados de Teocelo, donde el 95% dijo poseer permiso de uso del agua, que resultó ser de la red pública municipal. Situación que también se presentó en los entrevistados de Xico, ya que el 60% también utilizaban el agua de la red pública municipal.

El 84% de los cafecultores que aportaron información vierten las aguas usadas en el despulpado y lavado del café al drenaje público, solo un entrevistado mencionó que cuenta con un tanque de tratamiento del agua residual (figura 10).

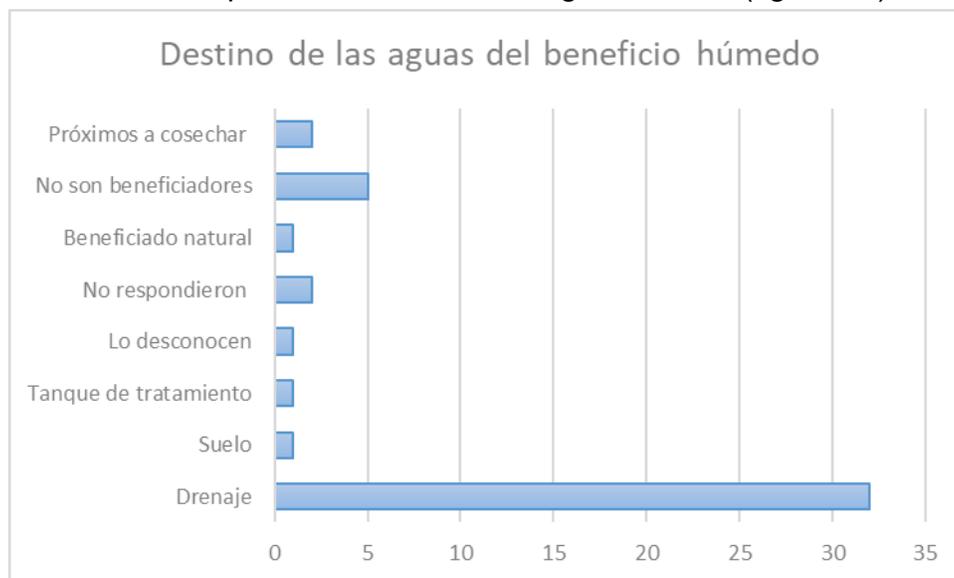


Figura 10. Destino de las aguas del beneficiado húmedo, Jilotepec, Veracruz, 2021
Fuente: datos propios

Dada la fuente de contaminación que representa la disposición inadecuada de las aguas procedentes del beneficiado húmedo, el 1991 se expidió la norma técnica ecológica NTE-CCA-027/90, de carácter obligatoria, y que establece los límites máximos permisibles de los parámetros de los contaminantes, para las descargas de aguas residuales provenientes de la industria del beneficio del café a cuerpos receptores. Se refiere a todas aquellas agua que provienen de los procesos de despulpado, fermentado, y lavado del café (Ruelas, 2018).

Otros residuos del beneficiado que contribuyen a la contaminación ambiental son los de la pulpa y la cascarilla. Estos residuos pueden constituir alrededor del 40% del peso seco del fruto fresco. Cuando se disponen en cuerpos de agua o en los alrededores de áreas agrícolas o de pastizales, representan un problema de salud para los cafecultores que viven en los alrededores de las plantas de procesamiento del café (Woldesenbet, Woldeyes y Chandravanshi, 2016). En el área de estudio, el

60% de los que repondieron la pregunta sobre el destino que le da a los residuos de pulpa y cascarilla, mencionaron que lo incorporan a su finca (figura 11), ninguno dijo verterlo a los cuerpos de agua.

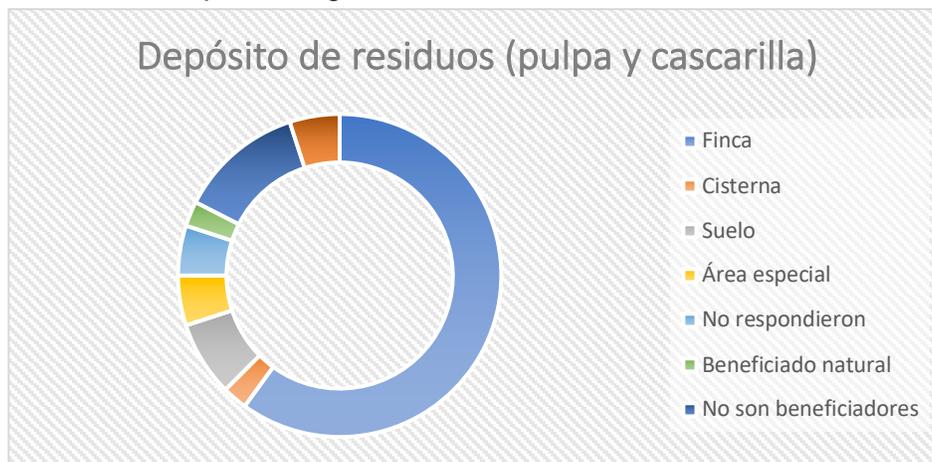


Figura 11. Disposición de los residuos de pulpa y cascarilla del fruto, Jilotepec, Veracruz, 2021

Fuente: datos propios

Si bien esta práctica puede ser sustentable, el uso de estos residuos pueden tener otras aplicaciones, más redituables para los productores. Por ejemplo, la composición química de la cascarilla y pulpa de café tienen potencial uso como alimento para animales. La pulpa de café tiene un alto contenido de compuestos fenólicos, cuya alta capacidad antioxidante tienen beneficios a la salud humana, ya que previenen o retrasan la aparición de enfermedades degenerativas (Mussato et al., 2011). El manejo responsable de los residuos es un factor para crear una cadena de suministro responsable de café, que puede proveer rendimientos de hasta 22 a 35% ganancia económica a los productores debido a que generan mayores rendimientos y precios premium de los productos sustentables que el mercado internacional responsable con el ambiente, cada vez demanda más y paga por ello (Ramesh et al. 2010).

Conclusión

La actividad cafetalera la realizan productores adultos, minifundistas, que se ubican en las dos últimas etapas de envejecimiento funcional, donde se presentan riesgos relacionados con la vejez, tales como la pérdida de salud, capacidad y autonomía. Se observa que a menor edad, menor porcentaje de productores ocupados en esta actividad. Es decir, que ya no existe un relevo generacional en la ocupación, lo que representa un reto para la continuidad de la actividad. A la pérdida de interés de las nuevas generaciones, se le suma el que la actividad deba ser complementada por los ingresos de otras ocupaciones. Estas características sociodemográficas, entre otros factores, influyen en la adopción de nuevas prácticas de agricultura sustentable. Entre estas prácticas se encuentra el que el fruto se coseche en estado verde o mezclado y con diferentes grados de madurez. El nivel de madurez influye

en la cantidad de agua utilizada para el beneficiado. El cual se realiza mediante el lavado. El beneficio húmedo se caracteriza por el uso de altas cantidades de agua, alrededor de 40 a 60 l/kg de café pergamino seco (cps). El hecho de que lo realicen en su casa, puede estar relacionado con un bajo nivel de volumen cosechado, ya que los productores tienen menos de 3 ha. De igual forma, el lugar del beneficiado puede explicar el realizan el beneficiado húmedo con agua de la red pública. El único permiso para beneficiado, que se ubica en “diferentes usos”, representó el 4% del total concesionado en el municipio. Los residuos de pulpa y cascarilla se incorporan a la finca. Por lo que se requiere seguir impulsando el apego a la normatividad por parte de los cafecultores, ya no sólo se pone en riesgo la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente para la actividad, sino para todos usuarios de la misma. Sin duda, es uno de los mayores desafíos a enfrentar y manejar por parte de este sector esencial en la economía, en la ecología y para la sociedad.

Referencias

- Canda, A.P. (s/f). Cosecha y poscosecha de cerezas. [Archivo PDF]. https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-fyd50_posco.pdf.
- Chacón, E.O. (2001). Evaluación de los sistemas tradicional y ecológico de beneficio húmedo de café [Tesis de Licenciatura. Universidad Zamorano], Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1425/1/CPA-2001-T023.pdf>
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. (2012). Guía práctica para la obtención de concesiones o permisos para el uso y explotación del agua y programas de apoyo disponibles https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114274/Guia_Practica_OCUEA.pdf
- Contreras-Hernández, A. (2010). Los cafetales de Veracruz y su contribución a la sustentabilidad. *Revista Estudios Agrarios*, 16(45), 143-161.
- Crowder, D. W., & Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(24), 7611–7616
- Díaz Cárdenas, S. & Escamilla Prado, E. (2013). Cafecultura mexicana: crisis recientes y tendencias actuales. En P. Pérez Akaki y A.A. González Cabañas (Coords.). *Del sabor a café y sus nuevas invenciones. Escenarios cafetaleros de México y América Latina* (Pp.187-218). México: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Acatlán.
- González, César A., & Ham-Chande, R. (2007). Funcionalidad y salud: una tipología del envejecimiento en México. *Salud Pública de México*, 49(Supl. 4), 448-458. Recuperado en 14 de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342007001000003&lng=es&tlng=es.
- Hernández Sánchez, M.I. & Nava Tablada, M.E. (2018). Capital social en organizaciones cafetaleras. Un estudio de caso para dos regiones de Veracruz. En O. Vázquez Guzmán y M. M. Carrillo Huerta (Coords.) *Políticas públicas, educación, tecnología y cultura para un desarrollo sostenible con equidad*. México: Montiel y Sorina.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Jilotepec, Veracruz de Ignacio de la Llave. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30093.pdf Consultado en febrero 2021.
- López Blanco, C. (2013). Optimización del uso del agua en el lavado del café en los tanques de fermentación. [Tesis de maestría, Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía]. <https://docplayer.es/80745584-Universidad-mayor-de-san-andres.html>

- Mestries Benquet, F. (2006). Migración internacional y campesinado cafetalero en México: fases, circuitos y trayectorias migratorias. *Análisis Económico*, 21(46), 263-289.
- Kivaisi, A. & Assefa, B. (2010). Sustainable utilization of agro-industrial wastes through integration of bio-energy and mushroom production. Nairobi: ILRI.
- Mussatto, S. I., Ballesteros, L. F., Martins, S. & Teixeira, J.A. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification-Technology*, 83, 173-179.
- Nava Tablada, M.E. (2010). Migración y desarrollo rural en cuatro regiones campesinas de Veracruz. México: Fondo Mixto Veracruz–El Colegio de Veracruz.
- Negatu, W. & Parikh, A. (1999). The impact of perception and other factors on the adoption of agricultural Technology in the Moret and Jiru Woreda (district) of Ethiopia. *Agricultural Economics*, 21, 205–216.
- Ramesh, P., Panwar, N., Singh, A., Ramana, S., Yadav, S., Shrivastava, R., & Rao, A. (2010). Status of organic farming in India. *Current Science*, 98(9):1190–1194.
- Ramírez, S. & Nava Tablada, M.E. (2019). *Comercio justo y empoderamiento. Realidades y expectativas de los pequeños cafetaleros en Veracruz y Chiapas*. Veracruz: Editora del Gobierno del Estado de Veracruz.
- Ruelas-Monjardin, Laura C. (2018). Manejo de las aguas residuales del beneficiado del café. Un asunto relegado en Veracruz, México. *Revista Internacionales*, 4 (7):44-79
- Ruelas Monjardín, L.C., Arias Mota, R.M. & Rodríguez Ramos, L. (2020). Impacto de la cafecultura en la contaminación del agua. En G. Ortega P., D.A. Fabre P. y Y.I. Cano P. (Coords). *Dialogando lo ambiental, compartiendo experiencias e intercambiando saberes* (pp.291-307). Editorial Resistencia.
- Secretaría de Turismo [SECTUR]. (2021). Jilotepec. <https://veracruz.mx/destino.php?Municipio=93> consultado en febrero 2021.
- SEFIPLAN (2020). Cuadernillos municipales 2020: Jilotepec. Disponible en http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2020/12/Jilotepec_2020.pdf Consultado en febrero 2021.
- Woldesenbet, A.G., Belay Woldeyes, B. & Chandravanshi, B.S.(2016). Bio-ethanol production from wet coffee processing waste in Ethiopia. *SpringerPlus* (2016) 5:190. Doi: 10.1186/s40064-016-3600-8

GENERACIÓN DE BIOGÁS DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL NO CONTROLADOS ABANDONADOS EN LA REGIÓN SOTAVENTO VERACRUZ, MÉXICO.

MANUEL SUSUNAGA MIRANDA¹, BENIGNO ORTÍZ MUÑIZ², REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ³,
MARÍA HERNÁNDEZ BERRIEL⁴

Resumen

Cuando un sitio de disposición final no controlado es abandonado por las autoridades municipales se convierte en un pasivo ambiental, ya que no se toman las acciones para su rehabilitación provocando la emisión de biogases que en su conjunto son gases de efecto invernadero, en la región Sotavento del Estado de Veracruz existen seis de estos sitios que almacenan alrededor de 5,524,061 de Toneladas de Residuos Sólidos Urbano, mismos que por los procesos de descomposición han generado un total de 4,278.65 millones de Toneladas de Biogás desde 1990 hasta el 2019, lo anterior se realizó para determinar la cantidad de gases de efecto invernadero emiten estos sitios, para lo cual se utilizó el mecanismo propuesto por el modelo mexicano de biogás 2.0 mediante el análisis de cada uno de los basureros y la obtención de los factores necesarios para la estimación del Biogás por este método, cuyos resultados permiten reconocer el impacto ambiental que estos generan por la emisión de Biogases.

Palabras clave: Biogás, Basureros, Efecto Invernadero, Modelo Mexicano de Biogás.

Abstract

When an uncontrolled final disposal site is abandoned by the municipal authorities, it becomes an environmental liability, since no actions are taken for its rehabilitation, causing the emission of biogases that as a whole are greenhouse gases, in the Sotavento region. of the State of Veracruz there are six of these sites that store around 5,524,061 Tons of Urban Solid Waste, which due to decomposition processes have generated a total of 4,278.65 million Tons of Biogas from 1990 to 2019, the above was done to determine the amount of greenhouse gases emitted by these sites, for which the mechanism proposed by the Mexican model of biogas

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer). Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Veracruz. manuel.sm@veracruz.tecnm.m

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer). Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBoca). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca (ITToluca). Av. Tecnológico s/n. Colonia Agrícola Bellavista C.P. 52149 Metepec, Edo. De México, México.

2.0 was used by analyzing each of the dumps and obtaining the necessary factors for the estimation of Biogas by this method, whose results allow recognizing the environmental impact that these generate by the emission of Biogases.

Keywords: Biogas, Dumpsites, Greenhouse Effect, Mexican Biogas Model.

Introducción

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que son denominados comúnmente como basura se generan en las casas, los comercios y por los servicios públicos municipales (Iqbal et al., 2020), están constituidos por una mezcla heterogénea de desechos que se clasifican fundamentalmente en materia orgánica (restos alimenticios y de jardinería, papel, cartón etc.) e inorgánica (vidrio, plásticos, metales, etc.), los cuales a los sitios de disposición producen una mezcla de gases (CO_2 , CH_4 , H_2S) denominados en su conjunto biogases, un líquido muy tóxico conocido como Lixiviado y partículas sólidas (SEMARNAT, 2017).

De los residuos sólidos urbanos que llegan a los sitios de disposición final a nivel global casi dos terceras partes son biodegradables, los cuales cuando se descomponen producen gases que son nocivos y que contribuyen al calentamiento global por lo que son considerados como gases de efecto invernadero (Kumar et al., 2020), en México para el año 2020 aproximadamente el 53.53% de los residuos son susceptibles a procesos biológicos que generan cerca de 40 millones de toneladas de CO_2 equivalentes (SEMARNAT, 2020)

En los países en vías de desarrollo como México, el incremento de la población y la modificación de los hábitos domésticos ha ocasionado que la cantidad de residuos sólidos urbanos que se genera en los centros urbanos no permita a las autoridades municipales darles una disposición adecuada (Agbeshie et al., 2020); es por esto que en su mayor parte los sitios de disposición final en los que se deposita la basura no tienen la infraestructura que establece la normatividad nacional y se clasifican como Sitio no Controlado (DOF, 2021) a estos se les denominan como Tiraderos a Cielo Abierto. Estos sitios al ser cerrados y abandonados por diversos motivos representan un riesgo para su entorno debido a la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, la emisión de gases tóxicos, explosiones y malos olores (Lobo et al., 2016) con efectos adversos para el ambiente y la salud (Morita et al, 2020).

La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero de los sitios de disposición final está influenciado por factores como el volumen de los residuos acumulados, el contenido de materia orgánica, la humedad, la temperatura y la edad de los desechos, los cuales intervienen en las diferentes etapas de estabilización de los RSU. (Zhang et al. 2019), al no existir mucha información experimental sobre la generación de biogases en los basureros se han desarrollado modelos matemáticos para estimar específicamente la cantidad de metano que se produce en un tiempo determinado, que se han basado en ecuaciones de orden cero, primer

orden y segundo orden (Aguilar-Virgen et al., 2014), entre los que se encuentran el Modelo de primer orden (TNO), Modelo Afvalzorg multi-fase, los modelos de orden cero, orden uno y dos de la Solid Waste Association of North America (SWANA), el modelo EPER francés, El modelo LandGEM, desarrollado por la EPA de EEUU, entre otros (Colomer-Mendoza et al. 2017)

Desde 2003 se a desarrollado para la estimación de la generación y recuperación de Biogás rellenos sanitarios el Modelo Mexicano de Biogás, actualizado en 2009 logrando la versión 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014), este mecanismo aproxima a los resultados reales mediante una ecuación de degradación de primer orden, la cual asume que la generación de biogás se da un año después del inicio del depósito de los residuos y que utiliza datos como el año de apertura, de cierre, la cantidad de residuos depositados al año, tasas de eliminación, y precipitación pluvial entre otros (García-Darás et al. 2013; Aguilar-Virgen et al. 2014), por lo que el presente documento pretende estimar con este modelo la generación de biogás en los Sitios de Disposición final abandonados en la Región Sotavento del Estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

a) La Región del Sotavento, Veracruz, México

La región Sotavento se localiza en la zona centro del Estado de Veracruz y consta de 12 municipios: La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlaxicoyan, Úrsulo Galván y Veracruz, en su conjunto cuenta con una extensión territorial de 3,961 km² (5.5% del territorio estatal) (SEFIPLAN, 2013) y una población en el año 2020 de 1,085,751 habitantes (INEGI, 2021) lo que representa el 13.46% del total estatal

Figura 1. Región Sotavento. SEFIPLAN (2013)



b) Análisis sitios de disposición final abandonados en la Región Sotavento

La localización de los sitios de disposición final abandonados, su área de cobertura, altura media y superficie que ha presentado incendios se realizó por medio del Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis de imágenes satelitales con Google Earth, (Tamrat et al., 2019; Kapilan y Elangoyan, 2018).

c) El Modelo Mexicano de Biogás 2.0

Para la estimación de la generación de biogás en los sitios de disposición final abandonados de la Región Sotavento del Estado de Veracruz, se utilizó el Modelo Mexicano de Biogás 2.0 mediante una hoja de cálculo en Excel, el cual utiliza la ecuación de degradación de primer orden (Aguilar-Virgen et al. 2014)

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kLo \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-ktij})(MCF)(F) \quad \text{eq. 1}$$

Donde:

Q_{LFG} = Es el flujo de biogás máximo esperado en m³/año.

i = Es el incremento en tiempo de 1 año.

n = Es el año del cálculo (año inicial de disposición de RSU).

j = Es el incremento de tiempo en 0.1 años.

k = Es el índice de generación de metano (1/año).

Lo = Es la generación potencial de metano en m³/Ton.

M_i = Es la masa de residuos dispuestos en el año i (Ton).

tij = Es la edad j de la masa de residuos M_i dispuestas en el año i (años decimales).

MCF = Es el factor de corrección de metano.

F = Es el factor de ajuste por incendios.

La ecuación del Modelo Mexicano de Biogás estima la generación de biogás considerando la cantidad de residuos acumulados en un año, donde la composición del gas asumida por el modelo es del 50% Metano y 50% Dióxido de Carbono y otros compuestos, el exponencial asume que después de seis meses de la disposición de los residuos se inicia el proceso de obtención del biogás y que seis meses después disminuye a medida que se consume la fracción orgánica de los desechos, además de que la generación máxima se da en el año de abandono o cierre del sitio de disposición final (Escamilla, 2019)

a) Índice de Generación de metano (k)

Los valores para el índice de generación de metano (k) para el modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 dependen del tiempo que tardan los residuos en degradarse, los cuales pueden ser: DDR Degradación de residuos muy rápida. DRMR, degradación de residuos moderadamente rápida, DRML, degradación de residuos moderadamente lenta y DRL degradación de residuos muy lenta (Aguilar-Virgen et al. 2011), para determinar los valores de k para la Región Sotavento se modificaron los valores establecidos en el modelo mexicano con el porcentaje de los residuos

que se obtuvieron tanto de datos obtenidos en campo y de resultados proporcionados por la Procuraduría de Medio ambiente del Estado de Veracruz, mediante la ecuación siguiente:

$$k_{ponderada} = \sum_{i=1}^9 (\%ri)(vp) \quad \text{eq 2}$$

Donde:

%ri = porcentaje de residuos en cada categoría

vp = valor de k predeterminado por el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 en cada una de las categorías de degradación.

b) Potencial de generación de metano (L_0).

El parámetro define la cantidad potencialmente producida de metano (CH_4) por unidad de masa de residuos cuando se degrada, lo cual depende exclusivamente de ellos. (Aguilar-Virgen et al. 2014)

$$L_0 = \frac{16}{12} (MCF \times DOC \times DOCF \times F) \quad \text{eq 3}$$

Donde:

MCF = Factor de corrección para el metano

DOC = Fracción de carbono orgánico degradable

DOCF = Fracción de carbono orgánico degradable asimilado (Teóricamente 0.77)

F = Fracción de metano en el Biogás (Se asume 0.5)

16/12 = Constante Estequiométrica

El contenido de Carbono Orgánico Degradable (DOC) se puede calcular por la ecuación 4, este depende de la composición de los residuos y varía con el sitio de disposición final, el cual se obtiene por la ecuación siguiente (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017)

$$DOC = 0.4A + 0.17B + 0.15C + 0.3D \quad \text{eq 4}$$

Donde:

A = Porcentaje de los residuos que corresponde al papel, cartón y los textiles.

B = Porcentaje de los residuos que corresponde a los desechos de jardinería, de parques y jardines públicos.

C = Porcentaje de los residuos que corresponde a los restos alimenticios

D = Porcentaje de los residuos que corresponde a madera y paja.

c) Factor de Corrección para el metano (MFC)

Este ajuste de la estimación de la generación de Metano para el modelo considera la degradación anaeróbica de los residuos y depende de la profundidad de los mismos en el sitio de disposición final y de sus prácticas de manejo (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017) que se pueden tabular de la siguiente manera (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factor de Corrección del Metano (Aguilar-Virgen et al. 2014; Salmerón-Gallardo et al. 2017)

Manejo del Sitio de Disposición Final	Profundidad < 5 m	Profundidad ≥ 5 m
Sin manejo	0.4	0.8
Con Manejo	0.8	1.0
Semi aeróbico	0.4	0.5
Desconocido	0.4	0.8

d) Factor de Ajustes de Incendios (F)

Este valor considera que cuando se producen incendios en los sitios de disposición final los residuos se consumen como combustible produciendo cenizas las cuales no contribuyen a la generación de biogás, en caso de que se presente este fenómeno se debe descontar de la generación de biogás el porcentaje del área impactada multiplicando por el ajuste dada la severidad del impacto del incendio (1/3 para impacto bajo, 2/3 para impacto medio, y 1 para impacto severo).

Resultados y Discusión

De acuerdo a la información documental obtenida, y la información que se generó por medio de la técnica de entrevista semiestructurada para 2019 y los datos para los años 2015 y 2011 de la Secretaría de Finanzas y Planeación del Gobierno del Estado de Veracruz; que se realizó en los municipios de la Región Sotavento del estado de Veracruz (SEFIPLAN, 2015; SEFIPLAN, 2019) se identificaron las toneladas diarias de residuos sólidos urbanos que se disponen en los sitios de disposición final por los Ayuntamientos de la Región (Cuadro 2)

Cuadro 2 Toneladas de residuos sólidos urbanos (R.S.U) diarios dispuestos en sitios de disposición final de la en la Región Sotavento, Veracruz, México

Municipio	Años		
	2019	2015	2011
Boca del Río	200.00	141.00	135.06
Cotaxtla	10.00	11.00	12.05
Jamapa	8.50	8.21	7.94
La Antigua	35.00	32.60	21.09
Manlio Fabio Altamirano	17.00	16.40	15.89
Medellín de Bravo	100.00	70.13	47.94
Paso de Ovejas	20.00	21.09	24.93
Puente Nacional	12.00	13.69	15.06
Soledad de Doblado	20.00	19.17	18.08
Tlalixcoyan	20.00	16.43	15.61
Úrsulo Galván	20.00	20.00	20.00
Veracruz	800.00	700.00	600.00

El incremento en la generación de los R.S.U en la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México presenta variaciones significativas dependiendo del grado de urbanización, en los municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín por el aumento de la población, la rápida urbanización, progreso económico y el incremento en el nivel de vida se ha acelerado la generación de desechos (Abdel-Shafy y Mansour, 2018), Tlaxicoyan si bien no se encuentra en la corona urbana de la Ciudad de Veracruz, ha logrado eficientizar su sistema de recolección, dada la mejora de los servicios de Limpia. Para los municipios de Paso de Ovejas, Cotaxtla y Puente Nacional presentan decrementos en la generación de residuos, debido principalmente a la problemática existente en sus sistemas de limpia, toda vez de que son los municipios con el mayor número de comunidades rurales, con una deficiente recolección, escasos vehículos de recolección y con caminos en mal estado (Caucchi et al., 2018)

De acuerdo con las Imágenes satelitales de Google Earth™, se ha desarrollado un cuadro donde se pueden mencionar los años de operación de los sitios de disposición final no controlados y abandonados de los municipios de la región Sotavento, así como su clasificación (DOF, 2021)

Cuadro 3 Apertura, Abandono y Clasificación de los Sitios de Disposición Final no controlados abandonados en la Región Sotavento

Municipio	Sitio de Disposición Final	Año de Inicio	Año de Abandono	Clasificación*
Boca del Río	Col. 9 de marzo	1990	2008	B
La Antigua	Playa Oriente	2005	2010	D
Manlio Fabio Altamirano	La Plataforma	2017	2018	D
Medellín	El Guayabo	2010	2015	C
Tlaxicoyan	Mata Verde	2013	2018	D
Veracruz	Carretera a Cardel	2000	2019	A

* tonelaje recibido: A de 500 o más ton/día, B mayor a 100 y menor de 500 ton/día, C mayor a 50 y menor de 100 ton/día y D menor a 50 ton/día.

Para determinar el índice de Generación de Metano (k) para el modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 tomaron los valores propuestos de cuantificación dados por el Programa Estatal para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Veracruz 2014 para la macro región Centro-Norte que incluye a los municipios de Veracruz, Boca del Río, Paso de Ovejas, Medellín y La Antigua (PEPGIRS, 2014), los valores de k modelo Mexicano de Biogás versión 2.0 para la Región Sureste (Aguilar-Virgen et al., 2012) donde se encuentra el Estado de Veracruz y la k para la Región Sotavento calculada a partir de la ecuación 2

Cuadro 4 Determinación de la k para la Región Sotavento

Subproducto	Categoría de Degradación	Porcentaje de los RSU	Valor de k para la Región Sureste	Valor de k modificada
Residuos Alimenticio	DR	36.8	0.300	0.1104
Papel y Cartón	DML	8.2	0.050	0.0041
Residuo de Jardinería	DMR	9.0	0.130	0.0117
Papel Higiénico	DMR	11.7	0.130	0.0152
Pañales	DR	5.8	0.300	0.0174
Madera	DL	1.0	0.025	0.0003
<i>k ponderada</i>				0.1591

Cuando la materia orgánica (principalmente de los residuos alimentarios y de jardinería) es depositada en los sitios de disposición final, generalmente se compacta y se cubre, por lo que se reduce el oxígeno y genera un proceso de descomposición anaeróbica, lo que eventualmente permite la generación de metano y dióxido de carbono con las implicaciones que representan para el calentamiento global y al cambio climático (Kumar et al., 2020) es por esto que en lugares con humedad elevada los valores de k son mas altos comparados con Mexicali (0.0307) y Tijuana (0.0584) en la región Noreste del País con clima cálido y seco (Aguilar-Virgen et al., 2014)

El cuadro 5 contiene factor de corrección de metano (MCF) y el potencial de generación de metano (L_0) para cada uno de los sitios de disposición final no controlados abandonados de la región Sotavento, los cuales se determinaron por medio de las diferencias de los niveles con las Imágenes satelitales de Google Earth™ y con los valores del cuadro 1

Cuadro 5 Factor de Corrección de Metano y potencial de generación de metano (L_0) para los sitios de disposición final no controlados abandonados de la Región Sotavento

Sitio de Disposición Final	Manejo del Sitio	Profundidad (m)	MCF	L_0 (m^3 /Ton)
Boca del Río	Con Manejo	4.0	0.8	43.6
Playa Oriente	Desconocido	2.0	0.4	21.8
La Plataforma	Sin Manejo	2.0	0.4	21.8
El Guayabo	Con Manejo	2.0	0.8	43.6
Mata Verde	Sin Manejo	2.0	0.4	21.8
Veracruz	Con Manejo	12.5	1.0	54.5

Al tener diferentes tipos de manejo y alturas los sitios de disposición final no controlados abandonados, los valores del factor de corrección de metano (MCF) tienen los tres diferentes rangos propuestos para el modelo mexicano de Biogás 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014), el Relleno Sanitario clausurado del Municipio de Veracruz tiene el más alto factor que es comparable con los de otras ciudades costeras como Acapulco en el estado de Guerrero (Salmerón-Gallardo et al., 2017), además de que potencial de generación de metano (L_0) es mas bajo en comparación de lo propuesto para la región sureste propuesto por el mismo modelo (Aguilar-Virgen et al., 2014).

Para la determinación del factor de ajuste por incendios se revisó la información documental disponible y el único sitio de disposición final no controlado abandonado que presentó este tipo de contingencias fue el Basurero Municipal de Veracruz, en los años 2018 y 2019 con una muy baja severidad y poco impacto, por lo que se despreciara este factor

En cuanto a la generación y disposición de los desechos en los sitios de disposición final no controlados abandonados de la región Sotavento, estos se calcularon y se tabularon en el cuadro 6, cabe hacer mención que si bien el basurero de Boca del Río, fue abandonado en a finales del 2008, el ayuntamiento dispuso sus residuos hasta 2015 en el Sitio de Disposición Final en el Municipio de Veracruz, se calculó la generación de biogás de cada uno de los basureros desde el año 1990 hasta 2025 utilizando el modelo Mexicano de Biogás 2.0 con las consideraciones particulares para cada uno de ellos (Cuadro 6)

Cuadro 6 Disposición de R.S.U y generación de Biogás por año en los Sitios de Disposición Final No Controlados Abandonados de la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México

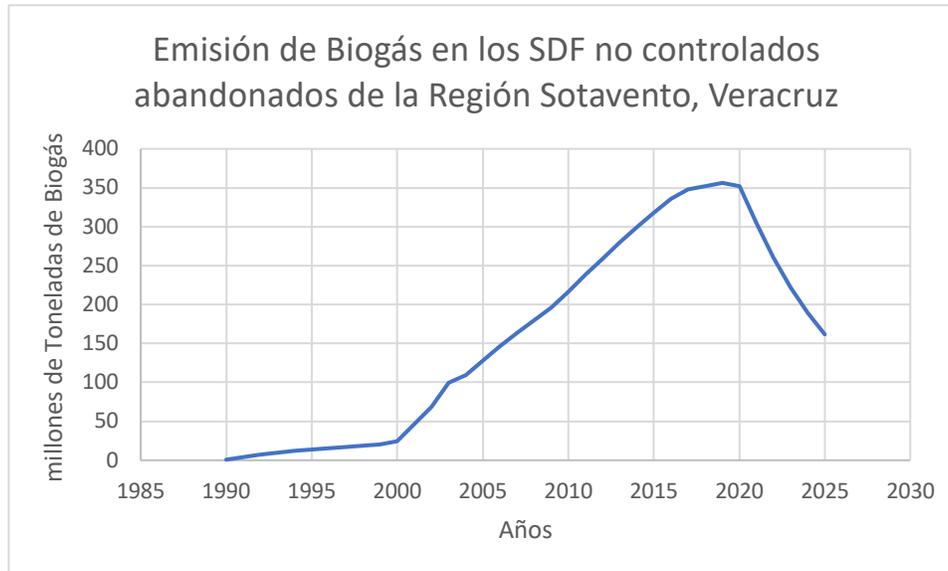
Periodo (Años)	Generación de RSU (Ton)	Emisión de Biogás (millones de Ton)
1990-1994	194,988	32.28
1995-1999	208,543	84.90
2000-2004	905,373	348.15
2005-2009	1,174,036	811.99
2010-2014	1,506,324	1,291.44
2015-2019	1,534,797	1,709.89
2020-2024		1,329.71

Los resultados obtenidos del cuadro 6 indican que de 1990 a 2019 que el total de residuos sólidos urbanos acumulado en los seis sitios de disposición final no controlados abandonados en la región Sotavento del Estado de Veracruz fue de 5,524,061 toneladas y la emisión de Biogás en ese mismo periodo fue de 4,278.65 millones de Toneladas. El modelo mexicano de Biogás 2.0 estima que en el período del 2020 al 2024 se emitan 1,329.71 millones de Toneladas de biogás.

Si bien hay datos reportados para algunos sitios de disposición final utilizando el modelo mexicano de biogás 2.0 (Aguilar-Virgen et al., 2014; Salmerón-Gallardo et al., 2017), no se tienen resultados para una región en específico con quien comparar

los obtenidos para este estudio, por lo anterior la proyección de la generación de Biogás no concuerda con algún sitio en particular

Figura 2 Proyección de la Generación de Biogás de los Sitios de Disposición Final no controlados abandonados en la Región Sotavento del Estado de Veracruz, México



Como se puede apreciar la figura 2 de 1990 a 2019 existe incremento constante en la emisión de biogases resultado de la disposición constante de residuos sólidos urbanos, sin embargo, a partir del año 2020 esta situación cambia al abandonarse el sitio de disposición final no controlado de la ciudad de Veracruz, por lo que del modelo mexicano de biogás 2.0 estima que a partir del año 2020 empieza una disminución constante en la emisión de biogás en la región Sotavento del Estado de Veracruz por el abandono de los sitios de disposición final no controlados

Conclusión

Si bien la Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, publicada el 10 de mayo del 2021 establece una clasificación de los sitios de disposición final en operación y los mecanismos para la cuantificación de las emisiones de biogás para su clausura, no contempla a aquellos que están abandonados previo a la entrada en vigor de la misma

El resultado de este estudio si bien demuestra que la generación máxima de Biogás se presentó en el año 2020, la emisión de estos gases de efecto invernadero continuará por muchos años en cantidades considerables, lo que repercutirá de manera negativa en el cambio climático local al contribuir con el calentamiento global con sus efectos adversos que esto conlleva.

Es importante que las autoridades municipales, responsables de la disposición final de los RSU contemplen el cierre de los Tiraderos a Cielo Abierto, los que se encuentran abandonados no continúen como pasivos ambientales, mediante trabajos de rehabilitación de los emplazamientos de los mismos a fin de que se cumpla con la normatividad ambiental mexicana y garanticen un mínimo impacto al ambiente

Referencias

- Agbeshie A., Adjei R., Anokye J., Banunle A., (2020) Municipal waste dumpsite: Impact on soil properties and heavy metal concentrations, Sunyani, Ghana, *Scientific African*, Volume 8. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00390>
- Aguilar-Virgen Q., Ojeda-Benítez S., Taboada-González P., Quintero-Núñez M. (2012). Estimación de las constantes k y L0 de la tasa de generación de biogás en sitios de disposición final en Baja California, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28 Sup. (1) 43-49
- Aguilar-Virgen Q., Taboada-González P., Ojeda-Benítez S. (2014) Analysis of the feasibility of the recovery of landfill gas: a case study of Mexico, *Journal of Cleaner Production*, Volume 79, Pages 53-60, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.025>.
- Cauci S., Hettiarachchi H., Silva-Martínez R. (2018). Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*. 3.. <https://doi.org/10.3390/recycling3020019>
- Colomer Mendoza, F., García Darás, F., Altabella, J., Robles Martínez, F., & Aranda, G. (2017). Emisiones gaseosas de un relleno sanitario en México. Comparación con los modelos de generación de biogás. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 113-122. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.08>
- DOF (2021) Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. *Diario Oficial de la Federación* del 10 de mayo del 2021
- Escamilla García, Pablo Emilio (2019). Eficiencia y confiabilidad de modelos de estimación de biogás en rellenos sanitarios. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1),32-44 ISSN: 1390-3799.: <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.03>
- García Darása F., Colomer Mendoza F., Robles Martínez F, Arandac G., (2013) Análisis comparativo entre los modelos de generación de biogás aplicados a las emisiones de un relleno sanitario en México, V Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos sólidos, recuperado el 20 de Julio del 2021 de <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/TratamientoYValorizacionDeResiduos/Analisis%20Comparativo%20Modelos%20Generacion%20de%20Biogas%20Vertedero%20Mexico.pdf>

- INEGI (2021) Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave. Censo de Población y Vivienda 2020, consultado el 4 de agosto del 2021 de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825198039.pdf
- Iqbal A., Liu X., Chen G., (2020) Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques, *Science of The Total Environment*, Volume 729, 138622, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138622>.
- Kapilan, S., Elangovan, K. (2018). Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). *J. Cent. South Univ.* 25, 570–585 <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3762-3>
- Kumar C., Mishra P., Singh N., Ashish Kumar Pathak (2020) Landfill Emissions and Their Impact on the Environment, *International Journal of Engineering Research & Technology*, Volume 09, 08 <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV9IS080187>
- Morita A., Pelinson, N., Wendland, E. (2020). Persistent impacts of an abandoned non-sanitary landfill in its surroundings. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08451-7>
- Salmerón-Gallardo Y., Cabrera-Cruz R., Juárez-López A., Sampedro-Rosas M., Rosas-Acevedo J., Rolón-Aguilar J., Valera-Pérez M., (2017) Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos Parte B: Mitigación de Biogás en Acapulco, México. *RelbCi*, Abril 38-49 consultado el 4 de Agosto del 2021 de <http://www.reibci.org/publicados/2017/abr/2200107.pdf>
- SEFIPLAN (2013) Programas Regionales Veracruzanos, Región Sotavento 2013-2016, Gobierno del Estado de Veracruz, consultado el 23 de agosto del 2020 de <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2014/04/tf07-pr-sotavento.pdf>.
- SEFIPLAN (2015) Cuadernillos Municipales Edición 2015 Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Finanzas y Planeación, Recuperado el 7 de febrero del 2020 de <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/05/09/cuadernillos-municipales-2015>
- SEFIPLAN (2019) Cuadernillos Municipales Edición 2019 Gobierno del Estado de Veracruz. Secretaría de Finanzas y Planeación. Recuperado el 7 de febrero del 2020 de <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2019/05/09/cuadernillos-municipales-2019>
- SEMARNAT (2017). Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial, Acciones y Programas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. recuperado el 20 de marzo del 2020 de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>

- SEMARNAT (2020) Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Primera edición, mayo 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, recuperado el 19 de junio del 2021 de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Tamrat, M., Muralitharan, J. and Yahya, A. (2019). GIS and Remote Sensing Based Suitable Site Selection for Solid Waste Disposal: A Case Study of Gondar Town, North West Ethiopia. *J. Acad. Indus. Res.* 8(2): 38-44. <https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1770105>
- Zhang, C.; Xu, T.; Feng, H.; Chen, S. (2019) Greenhouse Gas Emissions from Landfills: A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 11, 2282. <https://doi.org/10.3390/su11082282>

CONTAMINACIÓN FECAL EN AGUA POTABLE QUE ABASTECE ZONAS DE CAMPECHE, MÉXICO.

SHIRLEY HERNÁNDEZ MORALES¹, WADI ELIM SOSA GONZÁLEZ², CARLOS POOT DELGADO³

Resumen

Se evaluaron los parámetros microbiológicos en el agua potable en dos zonas de influencia en el estado de Campeche, para detectar la presencia de coliformes fecales (CF) y evaluar la cantidad de microorganismos presentes en el agua potable. El proceso se determinó de acuerdo con la norma NMX-AA-42-1987, donde se establece un método para la detección y enumeración en agua de los organismos coliformes fecales mediante el cultivo en un medio líquido en tubos múltiples, así como del cálculo de sus números más probables (NMP). Se desarrollaron pruebas usadas en la detección y confirmación, se realizó la selección de 2 zonas del estado de Campeche: E1 (Av. Central) y en E2 (Presidentes México). La recolecta de las muestras, se efectuaron en áreas de influencia de cada zona de acuerdo a las tomas de abastecimiento de agua potable, se evaluaron pruebas por triplicado e inocularon. Dentro de los resultados se encontró la presencia de Coliformes fecales en los sitios de muestreo. Durante el periodo del muestreo se obtuvieron resultados elevados en relación a los límites permisibles establecidos en la norma, se registró presencia de CF a pesar que el agua presenta composición de cloro, que inhibe en cierta cantidad la proliferación de ciertos microorganismos, con valores máximos de 2800 de NMP por cm³ en cada zona de muestreo.

Palabras clave: Coliformes totales, contaminación, parámetros, calidad.

Abstract

Microbiological parameters in drinking water were evaluated in two areas of influence in the state of Campeche, to detect the presence of fecal coliforms (FC) and to evaluate the amount of microorganisms present in drinking water. The process was determined in accordance with the NMX-AA-42-1987 standard, which establishes a method for the detection and enumeration of fecal coliform organisms in water by means of culture in a liquid medium in multiple tubes, as well as the calculation of their most probable numbers (MPN). Tests used in the detection and confirmation were developed, the selection of 2 zones of the state of Campeche was made: E1 (Av. Central) and E2 (Presidentes México). The collection of the

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Champotón (ITSCH), Carretera Champotón Isla Aguada KM2 col Arenal CP 24400. Shirley.hm @champoton.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Champotón (ITSCH), Carretera Champotón Isla Aguada KM2 col Arenal CP 24400.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Champotón (ITSCH), Carretera Champotón Isla Aguada KM2 col Arenal CP 24400.

samples was carried out in the areas of influence of each zone according to the drinking water supply intakes, tests were evaluated in triplicate and inoculated. Among the results, the presence of fecal coliforms was found in the sampling sites. During the sampling period, high results were obtained in relation to the permissible limits established in the standard, the presence of CF was recorded despite the fact that the water has a chlorine composition, which inhibits the proliferation of certain microorganisms to a certain amount, with maximum values of 2800 NMP per cm³ in each sampling area.

Keywords: Total coliforms, contamination, parameters, quality.

Introducción

El problema de contaminación del agua, siempre ha estado vigente en los sistemas de salud y en materia de cuerpos de agua, principalmente en las zonas de alto impacto cercanos a la población, afectando también de manera localizada a zonas rurales, debido también a la falta de educación ambiental en materia de residuos, que son arrojados a los cuerpos acuáticos provocando que el agua se contamine y represente problemas de salud graves, ya que la mayor parte del agua potable se toma de los mismos cuerpos de agua que se encuentran contaminados. El agua que procede de estos cuerpos de agua contaminados se convierte en un vehículo de agentes infecciosos como hongos, virus y bacterias, además de sustancias tóxicas como pesticidas y metales pesados entre otros, que son perjudiciales para la salud crónicas (De Rosa, El-Masri, Pohl, Cibulas y Mumtaz 2004). Diversas investigaciones sobre contaminantes del agua han demostrado que los microorganismos de origen fecal son comunes, tales como las bacterias coliformes totales y *Escherichia Coli*, utilizadas como indicadores de contaminación fecal en agua y alimentos, lo cual significa que su detección es una señal de posible presencia de organismos enteropatógenos (Chávez, Rodríguez, Ruíz y Serrano 2006). Para proteger el agua de consumo humano, tanto de origen superficial como subterráneo, es necesario realizar rutinariamente pruebas de calidad microbiológica y aunque no es posible determinar todos los patógenos intestinales, ni es práctico ni económico, en su lugar se pueden medir indicadores de contaminación fecal fáciles de detectar, ya que junto con ellos es posible la presencia de distintos patógenos (Harwood et al., 2005).

De acuerdo con los reportes de la CONAGUA (2004), los principales contaminantes del agua son: Los agentes patógenos, bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua, provenientes de desechos orgánicos. Los desechos orgánicos, que pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos, aumentando la demanda de oxígeno. Las sustancias químicas inorgánicas, ácidos, compuestos de metales tóxicos (mercurio, plomo), que envenenan el agua. Los nutrientes vegetales, que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas, que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y

de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta). Las sustancias químicas orgánicas, petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes, sedimentos o materia suspendida, y partículas insolubles de suelo que enturbian el agua y que son la mayor fuente de contaminación.

Durante la distribución del agua ocurren diversas prácticas no realizadas correctamente lo que contribuye a favorecer el desarrollo de enfermedades diarreicas o por intoxicación debido al deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua elevando el nivel de riesgo sanitario, de ahí la importancia de atender los sistemas de abastecimiento como probable fuente de contaminación (Burrows, 1993).

Los principales factores de impacto en la salud se consideran las propiedades organolépticas, físicas, químicas y biológicas alterando directamente las fuentes de obtención del agua y elevando el nivel de riesgo sanitario. (Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua, 2002), este riesgo se debe a la posibilidad de propagar por el transporte y distribución del agua agentes contaminantes causales de enfermedades o modificar labores y/o producto en el sector industrial o el hogar (Sabogal, 2000).

La norma NOM-251-SSA-1-1994, considerando los tipos de riesgo menciona que la calidad de cualquier producto para consumo humano es un reflejo de tres factores:

- **Calidad biológica:** presencia de organismos en la fuente de agua que pueden significar un riesgo para la salud humana.
- **Calidad química:** presencia de iones disueltos y su concentración dentro de la fuente de agua.
- **Calidad física:** presencia de partículas potencialmente de causar un riesgo físico a la salud humana.

De esta manera nos plantea en lo que refiere al suministro de agua potable los aspectos más importantes son la ausencia de microorganismos patógenos y la de productos químicos nocivos o desagradables. Estas normas se aplican tanto a los pozos o fuentes que se usen para el suministro de agua para consumo humano o de uso industrial. Así mismo, nos plantea en lo que refiere al suministro de agua potable los aspectos más importantes son la ausencia de microorganismos patógenos y la de productos químicos nocivos o desagradables. Estas normas se aplican tanto a los pozos o fuentes que se usen para el suministro de agua para consumo humano o de uso industrial. De igual forma es necesario llevar un control microbiológico adecuado que permitan establecer los parámetros indicados para poder considerar el producto como inocuo, para garantizar la pureza del agua (Garza et al 2019).

Por otro lado, el método de desinfección más utilizado es la cloración, que consiste en adicionar hipoclorito de sodio (de 0.2 a 1.5 mg/) al agua, en algún punto de la red de distribución, dependiendo también del PH del agua y de la cantidad que puede suministrar la red, según la NOM-001-SEMARNAT-96. La eficiencia de cloración se relaciona con la eliminación efectiva de organismos patógenos del agua, que fue sujeta al proceso de desinfección en las fuentes de abastecimiento

(Flores, 2002). Los parámetros bacteriológicos de calidad del agua deben cumplir con la NOM-127-SSAI-1994. Según COFEPRIS, el volumen de agua desinfectada se ha incrementado en forma gradual, de 84.5, en 1991 a 97.1 por ciento, en 2009. El promedio nacional conocido como eficiencia de cloración es de 86 por ciento. En Aguascalientes, Campeche, Chihuahua, Colima y Tabasco la cobertura de desinfección llegó a 100 por ciento. Los agentes infecciosos que causan diarrea por lo general se transmiten por vía fecal-oral, por consumo de agua o alimentos contaminados.

La problemática de acceso a fuentes de agua con la calidad y disponibilidad adecuada para abastecimiento humano es un tema de vital importancia tanto para las autoridades como para la sociedad en general (Sánchez-Pérez et al. 2000, Pérez et al. 2011, CARE 2012). En México, la cobertura nacional de agua potable es del 92.5 %, (95.7 % en zonas urbanas y 81.6 % en zonas rurales). En sistemas de alcantarillado, la cobertura nacional es de 91.0 % (96.6 % en zonas urbanas y 74.2 % en zonas rurales) (CONAGUA, 2016).

Por lo tanto, el presente trabajo pretende mostrar datos relevantes de esta problemática y profundizar estos conocimientos sobre la relación de la calidad microbiológica del agua potable, además de ofrecer información de interés, sobre el daño ambiental que la presencia de estos microorganismos ocasiona en el agua potable, generando con esta investigación alternativas de concientización a la población.

Materiales y Métodos.

Área de estudio.

Campeche, se ubica al sureste de México y es una de las entidades que conforman la península de Yucatán, ocupando la zona suroeste de la península. Se extiende por una superficie de 57507 km² ocupando un 2.9% del territorio nacional, su capital es la ciudad de San Francisco de Campeche. Al norte 20°51', al sur 17°49' de latitud norte, al este 89° 06', al oeste 92° 28', de longitud oeste. Cuenta con una superficie con una extensión de los 57.507 kilómetros cuadrados(km²) ocupando el lugar 17 a nivel nacional.

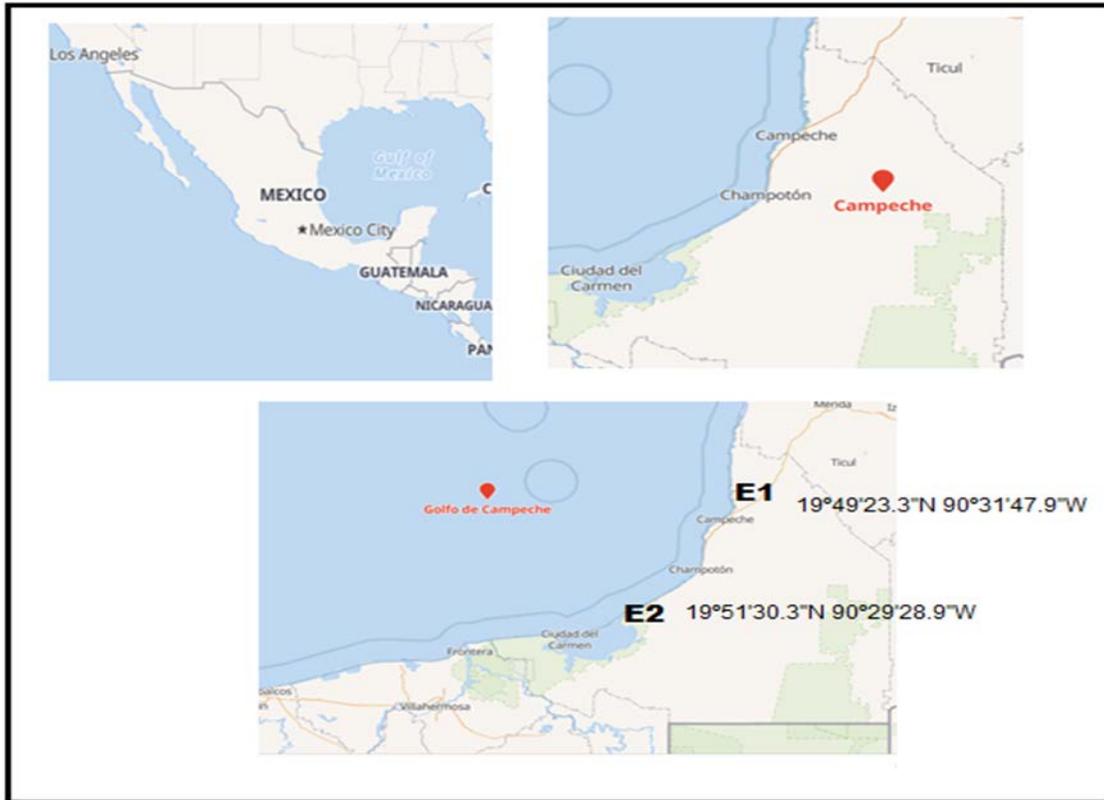


Figura 1. Mapa de Localización de las estaciones de estudio.

Fuente: Google Maps. (2021)

La metodología y el análisis se considera en dos zonas de estudio de Campeche, respectivamente, en dos puntos de muestreo de cada zona; la zona E1 (Av. Central) y zona E2 (Presidentes México). Tabla 1. Sitios de Muestreos. Las muestras de agua se tomaron por triplicado en cada zona y fueron recolectadas en las tomas de abastecimiento del agua potable respectivamente. En los frascos muestreadores se colocaron el tiosulfato de sodio al 1% para inhibir la acción del cloro. Las muestras fueron colectadas en recipientes de plástico previamente esterilizados y se transportaron bajo condiciones de refrigeración para su análisis. La determinación de CF fue realizada de acuerdo con la norma NMX-AA-42-1987 que incluye una prueba presuntiva y una confirmativa. De cada muestra de agua se inocularon 0.1, 1 y 10 ml de la muestra por triplicado en tubos de 25 ml con 10 ml de caldo lactosado con tubos Durham invertidos en su interior y fueron incubados a 36°C durante 24 h Thermoscientific-51028111 IMH180-S. Los tubos que resultaron positivos fueron resembrados en tubos con caldo de verde bilis brillante al 2% con tubos Durham invertidos en su interior y fueron incubados a 36°C durante 24 h. Lo anterior con la finalidad de cuantificar los (CF). Los resultados fueron contrastados con los lineamientos que establecen los límites máximos permitidos de calidad del agua de la norma anteriormente descrita. Los resultados se reportan como NMP/100cm³ de coliformes en agua.

Mediante tablas estadísticas se lleva a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes que pueden estar presentes en 100 cm³ de las muestras, a partir de los tubos que den resultados confirmativos positivos.

A partir de número de tubos que dan reacciones positivas en los medios de aislamiento y confirmativo, se calcula por referencia y en tablas estadísticas. Tabla 2. Índice del NMP, el número más probable de organismos coliformes presuntivos en 100 cm³ de la muestra. Tabla 3 Índice del NMP. Se observan los números de muestras positivas en el estudio y su comparación.

Tabla 1. Sitios de Muestreo en la Zona de Campeche.

Estación	Coordenadas
E1(Av. Central)	19°49'23.3"N 90°31'47.9"W
E2(Presidentes de México)	19°51'30.3"N 90°29'28.9"W

Tabla 2. Índice de NMP y límite confiable del 95%. (Norma NMX-AA-42-1987)

No. de Tubos con reacciones positivas			Índice Del NMP por cm ³	Límite Confiable de 95%	
3 tubos con cm ³	3 tubos con 1 cm ³	3 tubos con 0.1 cm ³		Interior	Exterior
0	0	0	<3	<0.5	
0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3		13
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	280
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1,300
3	3	1	460	71	2,400
3	3	2	1,100	150	4,800
3	3	3	2,400		

Tabla 3. Índice de NMP y limite confiable del 95%. (Norma NMX-AA-42-1987)

No. de Tubos con reacciones positivas			Índice Del NMP por cm ³	Limite Confiable de 95%	
3 tubos con cm ³	3 tubos con 1 cm ³	3 tubos con 0.1 cm ³		Interior	Exterior
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150

Resultados.

Con respecto a la presencia de CF en las dos estaciones (E1, E2) se observaron valores altos de 2100 A 2800 CF, Por lo que no se observaron diferencias significativas entre las estaciones. Pudiera ser que esto se deba a que en el estado de Campeche muchos municipios no cuentan con drenajes y alcantarillado; el rio Champotón, la laguna Pom y la península de Atasta tienen problemas por estas situaciones, también por los desechos de Ciudad de Carmen que llega a la costa (Nava, 2008).

En relación a los resultados se observan que en las zonas de estudio presentaron elevados índices de presencia de CF aproximadamente de 2800 de NMP por cm³ en cada zona de muestreo, de los límites permisibles de la norma, esto puede ser debido a que en las zonas de estudio existen actividades antropogénicas mayores y la actividad comercial puede generar grandes cantidades de desechos que pueden estar encaminados a los canales de abastecimiento de agua.

Conclusiones.

La presencia de CF en las zonas de estudio presenta una relación evidente con las características del lugar donde fueron extraídas las muestras. Los valores de CF en las muestras tomadas parecen estar asociados con los aportes de aguas residuales y la afluencia de la población cercana a cada zona de muestreo El estudio de contaminación por CF durante el mes de octubre en las dos zonas de estudio de Campeche, representa un indicador de alerta para implementar medidas de saneamiento en las fuentes de abastecimiento de agua potable, ya que se puede observar que a pesar que existen un nivel de cloración en el agua, se presentan altos índices de CF en estas zonas.

Referencias.

- Burrows, W. (1993). Tratado de microbiología, Interamericana. México
- Chávez, A., Rodríguez, R., Ruiz, R., y Serrano, M. (2006). La importancia de la verificación de coliformes en el agua, para consumo humano y en las aguas de deshecho. Facultad de Ingeniería Civil DES Ingenierías, Arquitectura, UMSNH. http://www.des_ia.umich.mx/~des_ia/fades06/C15.
- CARE (2012). Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 8: Gestión integrada del recurso hídrico. CARE Internacional-Avina. Informe. Quito, Ecuador, 181 pp.
- CONAGUA. (2004). Situación de los recursos hídricos. En Estadísticas del agua en México. CONAGUA. México:22-50.
- CONAGUA (2016). Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua, Ciudad de México, 96 pp.
- De Rosa, T El-Masri, Pohl H, Cibulas W., & Mumtaz, M. (2004) Implications of chemical mixtures in public health practice. J Toxicol Environ Health B Crit Rev; 7(5): 339-50.
- Flores Luna, J. L. (2002). Modelo de evaluación de riesgos sanitarios derivados del consumo de agua y alimentos. Ginebra: Food and Agricultural Organization. Corporate Document Repository.
- Garza, R. (2019). Evaluación de la calidad microbiológica de cuatro diferentes marcas de agua embotellada comercializadas en el estado de Nuevo León. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol 4.
- Harwood, V. J., Levine, A. D., Scott, T. M., Chivukula, V., Lukasik, J., Farrah, S. R., y Rose, J. B. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. Applied and environmental microbiology, 71(6), 3163-3170.
- Nava, J. (2008). Diagnóstico para el manejo costero integrado para el saneamiento de la zona costera de la ciudad de San Francisco de Campeche (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma de Campeche–EPOMEX. Campeche, Camp. 115 pp
- NOM-127-SSA1-1994. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su Potabilización.
- NOM-AA-42-1994. (1987). Norma Oficial Mexicana NOM-AA-42-1994. (1987). Calidad del agua determinación del número más probable(NMP)de coliformes Totales, Coliformes Fecales (Termotolerantes) y Escherichia coli Presuntiva.

- Norma Oficial Mexicana. (2009). Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. (NOM-251-SSA1-2009). D.F., México: DOF.
- Sabogal, L. (2000). El riesgo sanitario y la eficiencia de los sistemas de tratamiento en la selección de tecnologías para la potabilización del agua. Cali: Universidad del Valle.
- Sánchez Pérez, H., Vargas Morales, M. y Méndez Sánchez, J. (2000). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. Salud Pública México 42 (5), 397-406.

ANÁLISIS DE LA ACTITUD Y EL CONOCIMIENTO SOBRE EL USO DEL CUBREBOCAS EN UNA MUESTRA DE UNA POBLACIÓN DE VERACRUZ

ALEJANDRA RAMÍREZ MARTÍNEZ¹, FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA², ABIMAE LAGUNES CASTRO³, FRANCISCO OSORIO ACOSTA⁴

Resumen

Actualmente, la pandemia del Covid-19 en el estado de Veracruz, México, se ha extendido como en todo el mundo, la importancia del uso de cubrebocas ha sido relevante, por ende, el objetivo de este estudio fue analizar la actitud (afectiva, cognitiva y conductual) y el grado de conocimiento de pobladores de la ciudad de Veracruz sobre la efectividad del cubrebocas para reducir el contagio del SARS-CoV-2. Para responder a la pregunta de investigación: ¿Cuál es la actitud y conocimiento de una muestra de pobladores de la ciudad de Veracruz sobre el uso de cubre bocas? La pregunta de investigación se responde a través de una escala Likert de 21 ítems, la cual fue aplicada a un total 105 participantes. Las respuestas recibidas mostraron que en promedio la población es proclive al uso del cubrebocas y que el miedo es un factor importante en el uso de este medio de protección. Las personas con más estudios son también más proclives el uso del cubrebocas.

Palabras clave: Covid-19, cubrebocas, actitud, conocimiento, Veracruz.

Abstract

Currently, the Covid-19 pandemic in the state of Veracruz, Mexico, has spread like throughout the world, the importance of the use of face masks has been relevant, therefore, the objective of this study was to analyze the attitude (affective, cognitive and behavioral) and the degree of knowledge of residents of the city of Veracruz about the effectiveness of the face mask to reduce the spread of SARS-CoV-2. To answer the research question: What is the attitude and knowledge of a sample of residents of the city of Veracruz about the use of face masks? The research question is answered through a 21-item Likert scale, which was applied to a total of 105 participants. The responses received showed that on average the population is prone to the use of face masks and that fear is an important factor in the use of this

¹ Colegio de Postgraduados campus Veracruz. Km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, C.P. 91690, Tepetates, Veracruz. fosorioa@colpos.mx

² Colegio de Postgraduados campus Veracruz. Km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, C.P. 91690, Tepetates, Veracruz

³ Colegio de Postgraduados campus Veracruz. Km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, C.P. 91690, Tepetates, Veracruz

⁴ Colegio de Postgraduados campus Veracruz. Km 88.5 carretera federal Xalapa-Veracruz, C.P. 91690, Tepetates, Veracruz

means of protection. People with more studies are also more likely to use face masks.

Keywords: Covid-19, face mask, attitude, knowledge, Veracruz.

Introducción

A finales de 2019 en Wuhan, China, se dio a conocer una nueva enfermedad llamada coronavirus novel 19 (2019-nCoV). Tiempo después, recibió el nombre de coronavirus 2019 (COVID-19), debido a su similitud y relación con el Síndrome Respiratorio Agudo Severo por lo que se le denominó SARS-CoV-2 (Rodríguez-Morales *et al.*, 2020). Los intentos iniciales por contener el contagio del coronavirus 2019 fracasaron, por lo que la organización Mundial de la Salud la declaró como una pandemia (OMS, 2020). Debido a los efectos en la salud humana causados por este nuevo tipo de coronavirus, varios países tomaron como medida preventiva poner en cuarentena a sus habitantes para evitar la propagación del mismo, entre otras medidas.

En el caso de México, además de la cuarentena de la población, las medidas preventivas para evitar la propagación del coronavirus incluyen evitar lugares públicos, no asistir o realizar convivios, no tocarse la cara, mantener una distancia de dos metros entre personas, lavarse bien las manos, estornudo de etiqueta, limpiar espacios de trabajo y hogar, así como el uso de cubrebocas (Secretaría de Salud, 2020). A pesar de estas medidas, la propagación de SARS-CoV-2 no se ha detenido. Esto se debe principalmente a que parte de la sociedad no atiende de forma correcta las medidas de prevención estipuladas por la Secretaría de Salud (Suárez *et al.*, 2020). En este sentido, es notable que, al caminar por la calle, es fácil percibir personas que no utilizan el cubrebocas, o que lo usan incorrectamente. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar la actitud (afectiva, cognitiva y conductual) y el grado de conocimiento de pobladores de la ciudad de Veracruz sobre la efectividad del cubrebocas para reducir el contagio del SARS-CoV-2. La información obtenida en el presente trabajo, enriquecerá el conocimiento existente sobre las actitudes y el conocimiento de la población al uso uno de las principales medidas de prevención del contagio por COVID-19.

Materiales y Métodos

En el análisis de la actitud, se consideraron tres componentes que influyen en esta: la dimensión afectiva (DAfec), la dimensión cognitiva (DCog) y la conductual (DCond). El grado de conocimiento (Conocimiento de los medios de contagio del virus responsable del COVID-19: Concont y Conocimiento del uso del cubrebocas: Concubre) de los pobladores de la ciudad de Veracruz al uso de cubrebocas se realizó a través de una encuesta con 21 ítems en la cual se utilizó una escala de respuestas tipo Likert de cinco puntos. A cada respuesta se asignaron valores de 5

a 1, los cuales se utilizaron para calcular el grado de acuerdo o desacuerdo con las actitudes evaluadas, así como el grado de conocimiento.

Los ítems de la encuesta aplicada se muestran a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Ítems utilizados para la evaluación de actitudes y conocimiento relacionado al uso del cubrebocas

ítem	Tipo de actitud/conocimiento
Considero utilizar cubrebocas aun cuando el semáforo de mi municipio sea verde	DCog
Considero que el uso de cubrebocas es importante	DCog
Considero correcto que las personas utilicen cubrebocas cuando salen de casa	DCog
Uso cubrebocas cuando salgo de casa	DCond
Utilizo de manera correcta el cubrebocas para reducir el contagio de COVID-19	DCond
Todos los días consulto información sobre la situación del COVID-19	DCond
Sintonizo las noticias (radio o televisión) para informarme sobre la situación actual del COVID-19 en mi municipio	DCond
El uso de cubrebocas me molesta	DAfec
Me siento cómodo(a) cuando uso cubrebocas	DAfec
Uso cubrebocas por miedo a contagiarme	DAfec
El virus que provoca el COVID-19 se impregna en la ropa	Concont
Los objetos que compro en el supermercado pueden estar contaminados por el virus que provoca el COVID-19	Concont
Un cubrebocas puede quedar impregnado por el virus que provoca COVID-19	Concont
El COVID-19 se transmite por el aire	Concont
El virus que provoca el COVID-19 sobrevive en superficies	Concont
Lavo los cubrebocas reciclables	Concubre
Cuando me coloco el cubrebocas lo hago tomando las cintas	Concubre
No es necesario que el cubrebocas cubra mi nariz	Concubre
Es correcto tocar el cubrebocas con las manos mientras se está utilizando	Concubre
Cambio con regularidad mi cubrebocas	Concubre
No es necesario utilizar cubrebocas una vez vacunado(a)	Concubre

La encuesta fue realizada en línea durante el mes de abril de 2021. No se impusieron restricciones a los participantes de la encuesta, a excepción del hecho que fuesen mayores de edad y residentes de la ciudad de Veracruz.

Análisis de los datos

El análisis de clúster se realizó con el método de Ward como medida de agrupamiento y a la distancia euclidiana como medida de distancia. Este análisis se contrastó con el análisis de Componentes Principales. Todos los análisis de estos datos se hicieron mediante el software RStudio.

Resultados y Discusión

Características generales de la población encuestada

La encuesta fue contestada por 105 personas todas habitantes de la ciudad de Veracruz. Se registró una mayor participación de jóvenes entre 18 y 30 años (40.0%), seguido por adultos jóvenes (entre los 31 y 40 años (23.81%)), adultos entre los 51 y 60 años (17.14%) e individuos entre los 41 y 50 años (14.29%). En general, la encuesta fue respondida por personas de estudios superiores (licenciatura (40.95%), Maestría (28.57%) y Doctorado (9.52%)), seguido por jóvenes de nivel bachillerato (11.43%). La encuesta también logró captar a individuos con estudios de nivel primaria (1.91%) y posdoctorado (1.91%).

Análisis de las actitudes de los individuos encuestados hacia el uso de cubrebocas

Las actitudes pueden definirse como tendencias determinantes o como aquellos modos en los que se procede habitualmente y se basan en tres tipos de componentes: cognitivos, afectivos y conductuales (Perloff, 1993; Zimbardo y Leippe, 1991; McGuire, 1985). La Tabla 1 muestra los valores promedio correspondientes a las respuestas asignadas por los encuestados a los ítems que evaluaban las actitudes, así como el grado de conocimiento del virus y del uso del cubrebocas.

Tabla 1. Resultados generales de las actitudes y el conocimiento de los encuestados

	Actitud Cognitiva	Actitud Conductual	Actitud Afectiva	Conocimiento del virus	Conocimiento del uso del cubrebocas
Media	4.42	4.03	3.56	3.92	3.91
Mediana	4.66	4	3.66	4	4
Moda	5	4	3.66	4.2	3.83

Ya que a las respuestas de “muy de acuerdo” se les asignó un valor de 5 (a excepción de algunos ítems correspondientes a la dimensión afectiva), valores promedio cercanos o igual a 5 en la dimensión cognitiva corresponden a individuos que tienden a considerar al cubrebocas como importante, mientras que valores promedio cercanos a 5 asignados a los ítems que evaluaban la actitud conductual, se interpretan como personas que tienden a portar el cubrebocas. En el caso de las actitudes afectivas, valores cercanos a cinco corresponden a personas que no consideran al cubrebocas molesto, pero que lo utilizan por miedo, mientras que valores promedio cercanos o iguales a tres, se interpretan como actitudes en las

que el individuo no considera al cubrebocas molesto y no lo usa por miedo. En el mismo orden de ideas, valores cercanos a cinco corresponden a personas con mayor grado de conocimiento tanto de los medios de contagio del virus, como del uso del cubrebocas. De manera general, los valores promedio de la Tabla 1 indican que el promedio de los individuos encuestados muestra una tendencia a reconocer que el uso del cubrebocas es importante y tienden a usarlo mientras que en lo que respecta a la actitud afectiva, los valores asignados revelaron que el miedo es un factor preponderante en el uso del cubrebocas. En general, los encuestados mostraron un conocimiento aceptable tanto de los medios de contagio del virus responsable del COVID-19 como del uso del cubrebocas, en promedio. Particularmente, las encuestas revelaron que los participantes están conscientes de la transmisión del virus a través de objetos, ya que el 71% de los encuestados considera que el virus del COVID-19 se impregna en la ropa y una proporción similar, cree que los productos que compra en el supermercado pueden estar contaminados o impregnados por el virus que provoca el COVID-19 (72.5%). Asimismo, la mayoría considera que el virus sobrevive en las superficies (80.3%) y considera que un cubrebocas puede quedar impregnado por el virus que provoca el COVID-19 (84.3%). Es notable que una menor proporción de encuestados está consciente de que el virus se transmite por el aire (63.7%), siendo considerable el porcentaje de encuestados que opina que el virus no puede ser transmitido por este medio (21.5%).

En lo que concierne al uso del cubrebocas, la mayoría de los participantes conocen el uso correcto del cubrebocas. Los encuestados consideran utilizar correctamente el cubrebocas (94%); colocarse el cubrebocas a partir de las cintas (tal como lo dicta la Secretaría de Salud) (82%); cambiar con regularidad su cubrebocas (87%); no tocar el cubrebocas mientras se está utilizando (tal como lo dicta la Secretaría de Salud) (88%) y considerar necesario que el cubrebocas cubra su nariz (ítem 29, 89%).

Es interesante notar que uno de los comportamientos revelados por los encuestados, pero no acorde con lo dictado por la Secretaría de Salud, es el lavado de cubrebocas reciclables. El 54.9% declaró lavar los cubrebocas reciclables, mientras que un 34.3% no, lo que sugiere que una parte de la población encuestada reutiliza los cubrebocas.

En cuanto a los medios de comunicación en los cuales se informan los encuestados, es interesante notar que parecen estar menos pendientes de la información diaria sobre la situación de la pandemia por otros medios (51%), así como de la situación de la pandemia en el municipio (ítem 26, 59%). Estos resultados sugieren que hay un declive en el interés por la pandemia, lo que puede explicarse por tres factores: a) los meses que han transcurrido desde que esta comenzó; b) la certidumbre que provoca la vacunación, ya que, al haber más vacunados la situación debe mejorar; y/o c) desinterés. Considerando que los primeros meses existía una gran cantidad

de información en los medios (y de boca en boca) y que el nivel de conocimiento de los encuestados sobre el COVID-19 es bueno, es plausible pensar que los dos primeros factores explican en mayor medida el aparente menor interés por la situación actual de la pandemia provocada por el COVID-19.

A pesar de que la tendencia general en la población encuestada fue de apertura al uso del cubrebocas, así como de un conocimiento aceptable, el análisis de las similitudes en las respuestas asignadas a las actitudes y conocimientos reveló detalles interesantes sobre los individuos que participaron en la encuesta. A continuación, se presenta el análisis de estos individuos.

Análisis individual de las actitudes y conocimiento del uso del cubrebocas

La Figura 1 muestra el dendrograma de los valores de las respuestas a los ítems de la actitud y el conocimiento al uso del cubrebocas, evaluados en conjunto. Como se mencionó en la Sección de Materiales y Métodos, este análisis se contrastó con el Componentes Principales, el cual mostró que cinco clústeres o grupos explicaban el 100% de la variabilidad observada en los datos. Los resultados promedio de los grupos identificados se muestran en la Tabla 2.

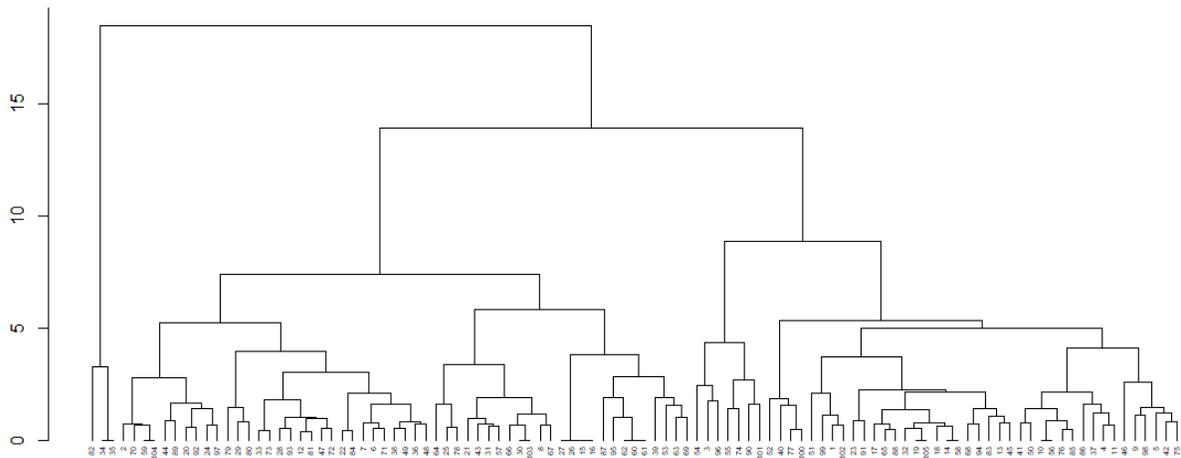


Figura 1. Dendrograma de los resultados de los valores promedio de la actitud hacia el uso del cubrebocas y el conocimiento de este

Tabla 2. Resultados generales de las actitudes y el conocimiento de los encuestados

	Edad (años)	Nivel de estudios		DCog	DCond	DAfec	Concont	Concubre
Grupo 1 (N = 3)	18-30 (66.67%) 31 a 40 (33.33%)	Secundaria (66.67%) Maestría (33.33%)	Media	1	1	1	2.2	1.94
			Mediana	1	1	1	2.6	1.5
			Moda	1	1	1	2.6	1.5
Grupo 2 (N = 29)	18- 30 (24.14%) 31-40 (37.93%) 41-50 (10.34%) 51-60 (20.69%) 61-85 (6.90%)	Primaria (3.45%) Bachillerato (6.89%) Licenciatura (37.93%) Maestría (27.59%) Doctorado (24.14%)	Media	4.94	4.76	4.23	4.29	4.28
			Mediana	5	4.75	4.33	4.4	4.17
			Moda	5	5	5	5	4.17
Grupo 3 (N = 25)	18- 30 (48%) 31-40 (4%) 41-50 (36%) 51-60 (12%)	Secundaria (4%) Bachillerato (16%) Licenciatura (32%) Maestría (36%) Doctorado (8%) Posdoctorado (4%)	Media	4.71	3.81	3.84	4.45	4.04
			Mediana	5	4	4	4.4	4
			Moda	5	4	3.67	5	4.33
Grupo 4 (N = 7)	18- 30 (57.14%) 31-40 (28.57%) 41-50 (14.29%)	Licenciatura (85.71%) Maestría (14.29%)	Media	2.428	3.357	2.428	3.4	3.809
			Mediana	2.333	3	2.333	3.2	4
			Moda	2.333	4.25	2.667	--	4
Grupo 5	18- 30 (41.46%) 31-40 (24.39%) 41-50 (4.88%) 51-60 (21.95%) 61-85 (7.32%)	Primaria (2.44%) Secundaria (7.32%) Bachillerato (14.63%) Licenciatura (43.90%) Maestría (26.83%) Doctorado (2.44%) Posdoctorado (2.44%)	Media	4.483	4.006	3.325	3.55	3.725
			Mediana	4.667	4	3.333	3.6	3.833
			Moda	5	4	3.667	3.6	3.833

Los resultados de la Tabla 2 revelan que la tendencia general observada al estudiar el promedio de la población (apertura al uso del cubrebocas, así como de un conocimiento aceptable tanto del virus causante del COVID-19 como del uso del cubrebocas) no puede generalizarse a toda la población encuestada. En este

sentido, es importante notar que los grupos (clústeres) con un mayor número de individuos corresponden a los grupos 2, 5 y 3 (Figura 1 y Tabla 2). Los encuestados agrupados en estos clústeres tienden a actitudes cognitivas que son acordes al uso del cubrebocas (les parece importante su uso, les parece importante que otros lo usen, consideran usarlo aún con semáforo epidemiológico verde), sin embargo, muestran diferencias en las actitudes conductuales y afectivas, así como en el conocimiento de los mecanismos de transmisión del virus y del uso correcto del cubrebocas. El grupo 2, por ejemplo, tuvo los valores en las actitudes conductuales más cercanos a 5, lo que sugiere que los individuos de este grupo tienden a consultar las noticias para tener información sobre el COVID-19 y a usar el cubrebocas. Asimismo, estos individuos mostraron un mayor conocimiento de los modos en que el virus del COVID-19 se contagia, así como del uso correcto de cubrebocas ya que el virus responsable del COVID-19 puede transmitirse por contacto directo (depositado en personas) o indirecto (depositado en objetos) y rutas aéreas (gotitas y aerosoles), siendo este último, el que se ha identificado como el principal mecanismo de transmisión en los últimos meses (Zhang et al., 2020). Este grupo es notable por otros dos hechos: a) alrededor del 90% de los individuos cuenta con grados académicos de Licenciatura, Maestría y Doctorado y b) muestra altos valores asignados a las respuestas que evaluaban la actitud afectiva, lo que indica que estos individuos tienden a considerar el uso del cubrebocas poco molesto y a usarlo por temor a contagiarse. Similarmente, los individuos agrupados en el clúster 5 muestran actitudes conductuales propensas al uso del cubrebocas, sin embargo, tienden a una actitud neutra en lo que respecta a la comodidad del cubrebocas y el miedo como factor de uso de éste, mientras que el grupo 3 está formado por individuos con actitudes conductuales neutras pero mayor conocimiento del virus responsable del COVID-19 y del uso del cubrebocas. En ambos casos, la mayor parte de los encuestados contaban con estudios de licenciatura y posgrado. Estos resultados sugieren que los individuos que tienden a considerar importante el uso del cubrebocas cuentan con estudios avanzados, no siempre tenderán a usarle (grupo 5), así como que el miedo, junto con el conocimiento, constituyen factores que contribuyen al uso del cubrebocas (grupo 2).

Es notable que dos grupos mostraron actitudes poco proclives al uso del cubrebocas (grupos 1 y 4). Una diferencia notable entre ambos grupos fue que el grado de conocimiento (tanto del virus como del uso del cubrebocas), la actitud conductual y el grado de estudios de los encuestados de estos grupos. Los individuos del grupo 4, por ejemplo, se mostraron más dispuestos a usar el cubrebocas (valores de la actitud conductual más cerca de 5) aunque lo consideraron incómodo y no tan importante (valores de actitud cognitiva más bajos, Tabla 2). El grupo 1 constituye el grupo menos abierto al uso del cubrebocas, ya que estos individuos no consideran que el uso del cubrebocas sea importante, no tienden a usarlo

físicamente y lo consideran incómodo (Tabla 2). Asimismo, este último grupo es el que demostró un menor conocimiento lo que coincide, a su vez, con su menor nivel de estudios. Es notable que pocos individuos de ambos grupos consideraron al miedo como una condición para usar el cubrebocas (tal como se notó en el grupo 2). Estos resultados sugieren dos fenómenos importantes: a) existen individuos que, aunque no consideren importante el uso del cubrebocas, lo usarán, probablemente por fenómenos externos, tales como la presión social, por ejemplo y b) existe un sector de la población sin apertura al uso del cubrebocas el cual puede considerarse como un caso extremo de acuerdo a los valores actitudinales y de poco conocimiento mostrado.

Conclusión

Los resultados del cuestionario aplicado para evaluar las actitudes y el conocimiento de jóvenes y adultos de la ciudad de Veracruz revelaron que la mayor parte de la población encuestada estaba abierta al uso del cubrebocas (90.48%). Notablemente, el miedo resultó una actitud importante en el uso del cubrebocas en las personas propensas al uso del cubrebocas y resultó ser menos importante para las personas que no estaban abiertas al uso de este.

Referencias

- Cheok, G. J., Gatot, C., Sim, C. H., Ng, Y. H., Tay, K. X., Howe, T. S., & Koh, J. S. (2021). Appropriate attitude promotes mask wearing in spite of a significant experience of varying discomfort. *Infection, Disease & Health*, 26(2), 145-151.
- Guadalupe Leyva Ruiz. (2009). El cubre bocas ó mascarilla, un recurso para garantizar la seguridad del personal de salud y del paciente. *Revista Enfermería Universitaria ENEO-UNAM. Número Especial Influenza, Vol.1, 5.*
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020). COVID-19: cronología de la actuación de la OMS. Recuperado en marzo 2021. <https://www.who.int>
- Rodríguez-Morales, A. J., Sánchez-Duque, J. A., Hernández Botero, S., Pérez-Díaz, C. E., Villamil-Gómez, W. E., Méndez, C. A., ... & Paniz-Mondolfi, A. (2020). Preparación y control de la enfermedad por coronavirus 2019 (COVID-19) en América Latina. *Acta Medica peruana*, 37(1), 3-7.
- Ruben Fernandez Garcia. (2014). Actitudes y comportamiento social. *Universitat Jaume, Vol.1, 46.* 2021, De Universitat Jaume Base de datos.
- Sandra Lopez Leon, Cipatli Ayuzo Carol Perelman , Rosalinda Sepulveda , Iris J. Colunga-Pedraza, Angélica Cuapio , Talia Wegman-Ostrosky. (2020). CUBREBOCAS EN TIEMPOS DE PANDEMIA, REVISIÓN HISTÓRICA, CIENTÍFICA Y RECOMENDACIONES PRÁCTICAS. *Scielo Preprints, Vol. 1, 12.*
- Secretaría de Salud. (2020). La nueva normalidad. Recuperado en marzo 2021. <https://salud.edomex.gob.mx>
- Silvia Ubillós, Sonia Mayo, Darío Páez rdomo,. (2010). Componentes de la actitud. Modelo de la acción razonada y acción planificada. *Psicología Social, Cultura y Educación, vol.1, 37.*
- Suárez, V., Quezada, M. S., Ruiz, S. O., & De Jesús, E. R. (2020). Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Revista clínica española*, 220(8), 463-471.
- Zhang, R., Li, Y., Zhang, A. L., Wang, Y., & Molina, M. J. (2020). Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(26), 14857-14863.

DESARROLLO DE 3 NUEVOS PÉPTIDOS CONTRA STAPHYLOCOCCUS AUREUS RESISTENTE A METICILINA ASOCIADO AL GANADO (LA-MRSA) MEDIANTE DISEÑO COMPUTACIONAL

OSCAR ROBLES RAMÍREZ¹, RODOLFO CANSECO SEDANO², PATRICIA CERVANTES ACOSTA³, JOSÉ ARMANDO LOZADA GARCÍA⁴, CAROLINA BARRIENTOS SALCEDO⁵

Resumen

La bacteria *Staphylococcus aureus* es el agente etiológico en más de la tercera parte de casos de mastitis bovina (MB), una enfermedad cada vez más difícil de tratar debido a la aparición de *S. aureus* meticilino-resistente asociado al ganado (LA-MRSA) una variante sobre la cual los antibióticos betalactámicos y sus derivados tienen poco o nulo efecto. Las consecuencias por la diseminación mundial de LA-MRSA abarcan desde la salud animal y la inocuidad alimentaria hasta las metas para el desarrollo sostenible y la salud pública. Los péptidos antimicrobianos (AMP) de origen natural han demostrado inhibir el crecimiento de MRSA *in vitro*. En contraposición, estas mismas moléculas presentan; actividad hemolítica y vida media corta que entre otros factores obstaculizan el avance de estos péptidos hacia ensayos clínicos a gran escala. Ante este panorama resulta apremiante desarrollar nuevos biofármacos con óptimos índices terapéuticos. Por todo lo anterior; el objetivo de esta investigación es desarrollar nuevos péptidos anti-MRSA basados en el diseño computacional. El análisis de 170 péptidos naturales con actividad anti MRSA demostrada experimentalmente condujo a la obtención de una secuencia consenso. Mutaciones dirigidas a promover y optimizar parámetros fisicoquímicos y estructurales fueron efectuadas a dicha secuencia con la finalidad de mantener la actividad antibacteriana y reducir el efecto hemolítico, con ayuda de métodos de minería de datos, química teórica y modelado molecular. Como resultado final se obtuvieron 3 nuevos péptidos uno de ellos con efecto bacteriostático y bactericida contra aislados y una cepa de referencia MRSA. El diseño dirigido de péptidos permite optimizar el tiempo de desarrollo de fármacos potenciales para abatir cepas bacterianas resistentes, que se asocian a problemas como la mastitis bovina.

¹ Universidad Veracruzana, Miguel Ángel de Quevedo esq. Yáñez s/n, Col. Unidad Veracruzana, CP 91710 Veracruz, Veracruz, México.

² Universidad Veracruzana, Miguel Ángel de Quevedo esq. Yáñez s/n, Col. Unidad Veracruzana, CP 91710 Veracruz, Veracruz, México.

³ Universidad Veracruzana, Miguel Ángel de Quevedo esq. Yáñez s/n, Col. Unidad Veracruzana, CP 91710 Veracruz, Veracruz, México.

⁴ Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, C. P. 91090, Xalapa, Veracruz, México.

⁵ Universidad Veracruzana, Miguel Ángel de Quevedo esq. Yáñez s/n, Col. Unidad Veracruzana, CP 91710 Veracruz, Veracruz, México. cabarrientos@uv.mx

Palabras clave: Mastitis bovina, LA-MRSA, Péptidos antimicrobianos, Diseño racional.

Abstract

The bacterium *Staphylococcus aureus* is the etiological agent in more than a third of cases of bovine mastitis (MB), a disease that is increasingly difficult to treat due to the appearance of methicillin-resistant *S. aureus* associated with cattle (LA-MRSA) a variant on which beta-lactam antibiotics and their derivatives have little or no effect. The consequences of the global spread of LA-MRSA range from animal health and food safety to goals for sustainable development and public health. Naturally occurring antimicrobial peptides (AMPs) have been shown to inhibit the growth of MRSA in vitro. In contrast, these same molecules present; hemolytic activity and short half-life that, among other factors, hinder the advance of these peptides towards large-scale clinical trials. Given this scenario, it is urgent to develop new biopharmaceuticals with optimal therapeutic indexes. All of the above; The objective of this research is to develop new anti-MRSA peptides based on computational design. The analysis of 170 natural peptides with experimentally demonstrated anti-MRSA activity led to a consensus sequence. Mutations aimed at promoting and optimizing physicochemical and structural parameters were made to this sequence in order to maintain antibacterial activity and reduce the hemolytic effect, with the help of data mining methods, theoretical chemistry and molecular modeling. As a final result, 3 new peptides were obtained, one of them with a bacteriostatic and bactericidal effect against isolates and a MRSA reference strain. The targeted design of peptides makes it possible to optimize the development time of potential drugs to combat resistant bacterial strains, which are associated with problems such as bovine mastitis.

Keywords: Bovine mastitis, LA-MRSA, Antimicrobial peptides, Rational design.

Introducción

Actualmente la mastitis bovina (MB) es una enfermedad preponderante entre las patologías asociadas al ganado lechero, se encuentra ampliamente distribuida a través de los 5 continentes incluyendo países como; Alemania, Países Bajos, Estados Unidos, Canadá, India, China, México y Brasil (Aghamohammadi *et al.*, 2018; Bell and Wilson, 2018; Bolte *et al.*, 2020; Das *et al.*, 2018; Molineri *et al.*, 2021). Las implicaciones de la MB abarcan áreas como; la calidad e inocuidad alimentaria (Stevens *et al.*, 2019), el bienestar y salud animal (Pettersson-Wolfe *et al.*, 2018), la competitividad económica (Das *et al.*, 2018; Steeneveld *et al.*, 2011) y debido a su naturaleza zoonótica estas implicaciones se extienden a la salud humana (Schmidt *et al.*, 2017) y la lucha contra la resistencia a los antimicrobianos o AMR (Siglas en inglés para “Antimicrobial Resistance”) en las bacterias (Molineri

et al., 2021). En tal sentido la MB es un fenómeno que conviene abordar desde el enfoque “Una salud” como ha propuesto la OMS (Hernando-Amado *et al.*, 2019). De entre los diversos agentes etiológicos de la MB, *Staphylococcus aureus* es considerado el de mayor importancia debido a su contagiosidad resultado de la habilidad que posee para persistir en el entorno de las vacas (Abebe *et al.*, 2016), además del potencial zoonótico que conlleva ya sea por contacto directo o indirecto (Maity and Ambatipudi, 2021). Aunado a esto, la virulencia producida por enterotoxinas estafilocócicas es otro componente importante de *S. aureus* debido a su estrecha relación con intoxicaciones alimentarias por consumo de derivados de leche contaminada (Guimarães *et al.*, 2013). Por último, el efecto sinérgico de estos factores se refleja en una incidencia de hasta 40% de *S. aureus* en los casos reportados de MB (Bradley *et al.*, 2007; McParland *et al.*, 2019).

La ya de por sí complicada MB por *S. aureus* es cada vez más difícil de tratar debido a la propagación de *Staphylococcus aureus* Meticilino-Resistente Asociado al Ganado (Devriese and Hommez, 1975) o LA-MRSA (siglas en inglés para: “Livestock-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*”) una variante sobre la cual principalmente los antibióticos β -lactámicos y sus derivados tienen poco o nulo efecto (Khairullah *et al.*, 2020). Cabe mencionar que LA-MRSA es una de las tres categorías en las que se clasifica a MRSA de acuerdo con el ambiente en el que persiste y en el cual ha sido aislado, de tal manera que existen a su vez: MRSA asociado al hospital (HA-MRSA) y MRSA asociado a la comunidad (CA-MRSA).

La falta de inversión en I+D de nuevos y eficaces antibióticos contra las diversas clases de MRSA por las farmacéuticas (Vickers *et al.*, 2019), aunado al impacto ambiental producido por la contaminación por los antibióticos utilizados actualmente (Le Page *et al.*, 2017), son dos factores más que añadir a la MB por LA-MRSA, razón por la cual se ha estudiado el uso péptidos antimicrobianos o AMP (siglas en inglés para “Antimicrobial Péptidos”) (Ghosh *et al.*, 2019). Estas moléculas presentes en la mayoría de seres vivos como parte de su respuesta inmune innata, pueden ser descritas de manera general como; cadenas menores a 100 aminoácidos que estructuralmente presentan conformaciones que van desde hélices alfa, láminas beta, híbridos lineales-laminares hasta diversas formas estabilizadas por enlaces disulfuro (Koehbach and Craik, 2019). Tanto los componentes como las estructuras que adoptan son determinantes para la actividad de los AMP de origen natural, que en principio fueron considerados como buenos candidatos para combatir la ARM debido a las propiedades selectivas modeladas evolutivamente dentro los organismos en defensa de los agentes patógenos o entre distintos patógenos en la competencia por los sustratos del medio (Li *et al.*, 2012). Además de poder estimular elementos del sistema inmunológico y reprimir componentes con efecto proinflamatorio (Ageitos *et al.*, 2017; Lewies *et al.*, 2019) entre otras cualidades. Sin embargo diversos péptidos demostraron tener actividad

sobre membranas de células eucariontes, además de una vida media corta por efecto de las enzimas proteolíticas tanto de las bacterias como de los organismos donde fueron administrado (Li *et al.*, 2017; Marr *et al.*, 2006; Mourtada *et al.*, 2019; Sharma *et al.*, 2018). Estos y otros factores han obstaculizado el avance de los péptidos hacia ensayos clínicos a gran escala.

Con la relevancia que tienen ahora disciplinas como la bioinformática, la biología computacional y el aprendizaje automatizado, los AMP han tenido una segunda oportunidad para hacer frente a la AMR (Prieto-Martínez *et al.*, 2019). Si bien el descubrimiento de nuevos péptidos naturales sigue siendo importante, ahora el diseño guiado por la química computacional, la biología sintética y el aprendizaje automatizado ofrece herramientas útiles para la optimización de los AMP conocidos o el descubrimiento de nuevos AMP (Bhattacharjya and Straus, n.d.; Mohamed *et al.*, 2016; Mourtada *et al.*, 2019; Souza *et al.*, n.d.). La premisa del diseño de péptidos es maximizar la actividad antimicrobiana y la resistencia a la degradación proteolítica, mientras se minimiza la toxicidad hacia el huésped.

Materiales y métodos

Generación de las bases de datos y análisis múltiple de secuencias

Fueron analizados diversos repositorios electrónicos especializados en la curación y almacenamiento de secuencias de péptidos antimicrobianos (Aguilera-Mendoza *et al.*, 2015)

Se Obtuvieron 5160 secuencias de péptidos antimicrobianos utilizando el filtrado de datos donde se priorizaron los péptidos específicos contra MRSA, péptidos anti-bacterias Gram+, péptidos patentados y péptidos anti-Gram+ con estructura conocida. Fueron tomadas en cuenta solo aquellas secuencias experimentalmente validadas. Con la finalidad de encontrar motivos de secuencia altamente conservados se utilizó el programa CLUSTALW (Thompson *et al.*, 2003) para llevar a cabo el alineamiento múltiple de las secuencias de péptidos.

Mutación dirigida

Se utilizaron algoritmos basados en SVM (support vector machines) y “random forest” incorporados en las bases de datos CAMPR3 y APD3 a partir de los cuales se obtuvieron los descriptores: índice de Boman, GRAVY, índice de hidrofobicidad, carga neta, vida media y punto isoeléctrico teóricos. Cada mutación de la secuencia consenso fue escrutada bajo la estrategia de parámetros antes mencionada con la finalidad de dirigir las mutaciones hacia la conformación más favorable con base a los parámetros del consenso de los péptidos con actividad experimental demostrada.

También se identificaron el ángulo hidrofóbico y la distribución de regiones polares y no polares mediante la representación helicoidal con base a los métodos desarrollados por Gautier *et al.*, 2008.

Modelado estructural de las secuencias candidatas.

Con base a los descriptores antes mencionados, se obtuvieron 4 secuencias de las 5160 analizadas. Se obtuvieron los modelos por homología. Para ello se buscaron estructuras previamente reportadas en trabajos experimentales que cumplieran con los requisitos de identidad $\geq 40\%$ y una resolución $\geq 2 \text{ \AA}$ (Arsmstrongs), posteriormente se hizo el modelado comparativo de la estructura de proteínas mediante la correlación de las restricciones espaciales ocupando el programa Modeller (Webb and Sali, 2016). Las estructuras de los péptidos diseñados fueron sometidas a una evaluación de calidad utilizando parámetros geométricos como: distancia interatómica, ángulos de torsión, RMSD (Desviación cuadrática media entre las coordenadas atómicas del modelo estructural respecto a las estructuras validadas experimentalmente) con ayuda de los servidores MOLPROBITY y SAVES. Se llevó a cabo el refinamiento de las estructuras 3D y finalmente se obtuvieron modelos con buena calidad geométrica y estructural.

Finalmente se llevaron a cabo análisis experimentales de microdilución en caldo de acuerdo con un esquema de 8 concentraciones entre $1 \mu\text{g/mL}$ y $1600 \mu\text{g/mL}$.

Resultados y discusión

Elaboración de bases de datos

La recopilación de datos dio como resultado 5 grupos de secuencias (Figura1) estos grupos están compuestos por dos subgrupos, el primero obtenido a partir del repositorio APD3 con el subgrupo 1 con 169 péptidos con actividad específica contra MRSA, el subgrupo 2 con 474 secuencias con actividad reportada contra bacterias gram positivas, el grupo 2 a su vez está compuesto por el subgrupo 3 con 47 secuencias con actividad mixta de amplio espectro y con estructura dilucidada experimentalmente, el subgrupo 4 con 2145 secuencias con actividad demostrada contra bacterias gram positivas y por último el subgrupo 5 compuesto por 1929 secuencias con actividad mixta las cuales cuentan con registro de patente.

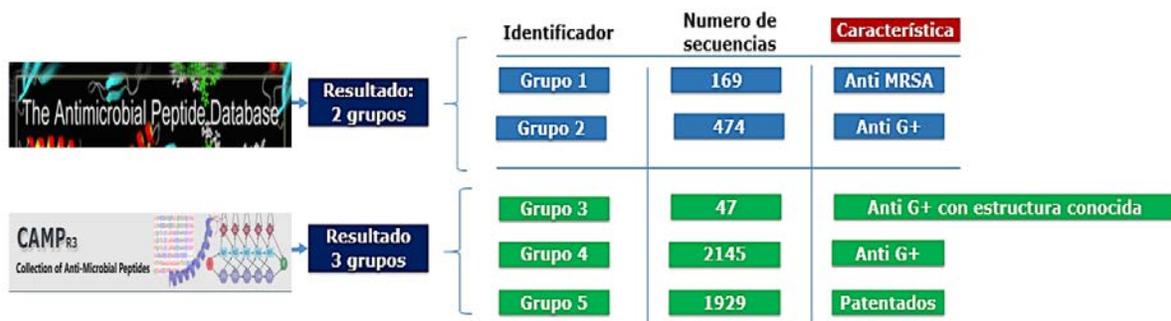


Fig. 1 Organización de la base de datos de péptidos antimicrobianos obtenidos de los repositorios en línea APD3 y CAMPR3 respectivamente.

Alineamiento de secuencias

El alineamiento y posterior visualización del subconjunto de datos numero 1 (Anti MRSA) dio como resultado la secuencia consenso del péptido-0 (Figura 2) la cual está compuesta por los aminoácidos con mayor grado de conservación en 169 secuencias analizadas.

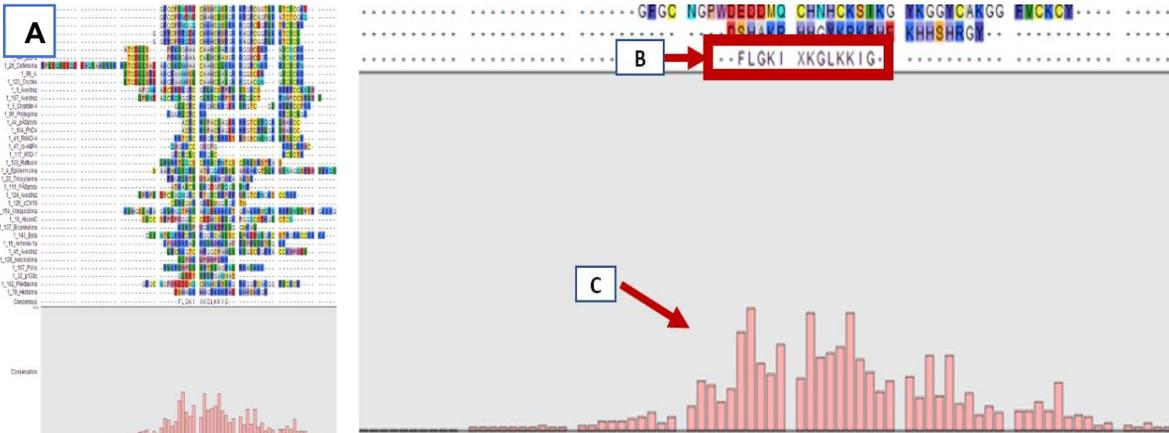


Fig. 2 A) Vista general del alineamiento múltiple de secuencias. **B)** Secuencia consenso representativa del conjunto de datos analizados. **C)** Porcentaje de conservación para cada residuo de la secuencia consenso.

Diseño de péptidos

A partir de la secuencia consenso péptido-0 (PEP-0) se obtuvieron 11 variaciones (Cuadro 1) o mutantes, los mutantes péptido-2 (PEP-2), péptido-4 (PEP-4) y péptido-9 (PEP-9) fueron los candidatos con los índices fisicoquímicos y antimicrobianos más favorables. Con índices de probabilidad antimicrobiana de 0.997, 0.991, 0.994 respectivamente, además de poseer una carga neta de 4, 2, 3 respectivamente con lo cual no superan el umbral >5 reportado como predisponente a la actividad (Li *et al.*, 2020), los índices de Boman (Mishra *et al.*, 2017) de cada uno de estos candidatos a su vez también fue el esperado con valores que van de los -0.64 hasta -0.97.

Predicción estructural

Cuadro 1 Resultado de diseño racional mediante mutación dirigida de la secuencia consenso péptido-0.

ID	pl	Índice Antimicrobiano (Probabilidad)	% Hidrofobicidad	Carga neta	Hidrofilicidad Promedio	Hidrofobicidad total (kcal/mol)	Índice de Boman kcal/mol	Vida Media (Horas)	Índice de inestabilidad
Péptido-0	10.48	0.89	38	4	0.169	1.13	-0.32	1.1	-29.95
PEP1	10.48	0.997	53	4	0.376	-4.44	-0.64	2.8	-13.93
PEP2	10.3	0.999	53	3.25	0.437	-0.82	-0.71	2.8	32.93
PEP3	11	0.991	52	2	0.7	-2.14	-0.73	100	44.6
PEP4	11	0.9915	55	2	0.94	-2.7	-0.97	100	34.41
PEP5	11	0.988	50	2	0.97	-0.84	-0.89	100	52
PEP6	11	0.9875	50	2	0.97	-0.84	-0.89	100	49.04
PEP7	11	0.988	50	2	0.8	-0.4	-0.47	100	45.82
PEP8	11.17	0.9985	53	3	0.3	-2.11	-0.32	100	29.51
PEP9	11.17	0.997	46	3	0.3	-0.25	-0.21	100	28.79
PEP10	11.17	0.9945	53	3	0.7	-1.21	-0.59	100	28.79
PEP11	11.17	0.8965	46	3	0.46	-0.69	-0.29	100	31.27

Los mutantes: PEP-2, PEP-4, PEP-9 (Fig. 2). Presentaron estructuras alfa helicoidales, en el péptido UV-DCA-PEP-9 la hélice se ve interrumpida por un ángulo promovido por la falta de estabilización del puente de hidrogeno en la prolina de la posición 5 de su cadena de 18 aminoácidos, esto es debido a la conformación cíclica que adopta la cadena lateral de la prolina con el grupo amino de esta. Las estructuras PEP-2 y PEP-4 se encuentran estabilizadas por puentes de hidrogeno ininterrumpidos a lo largo de la cadena principal, y a su vez las 3 estructuras segregan a las cadenas laterales hidrofóbicas e hidrofílicas en sectores opuestos, esta propiedad de anfipaticidad aunada a la carga neta positiva (catiónica) y la conformación helicoidal son características estrechamente relacionadas con la actividad antibacteriana (Hollmann *et al.*, 2018).

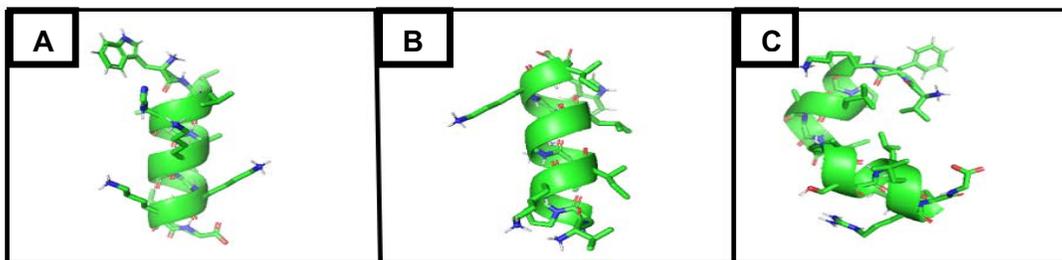


Fig. 3 Predicción estructural de los péptidos **A) PEP-2**, **B) PEP-4** y **C) PEP-9**, obtenidos a partir de la modificación/mutación dirigida de la secuencia consenso PEP-0.

Efectuando análisis de microdilución en placa, se logró demostrar la actividad anti-MRSA de uno de los 3 nuevos péptidos desarrollados en este estudio. (datos no presentados).

Conclusiones

A partir de la minería y análisis de datos, así como empleando métodos de la química computacional y el modelado molecular, fue posible desarrollar 3 moléculas peptídicas, una de las cuales en ensayos experimentales demostró actividad bacteriostática y bactericida en aislados y una cepa de referencia MRSA.

En los últimos años la carrera por desarrollar nuevas moléculas contra bacterias con resistencia a los antibióticos ha impulsado el estudio de los péptidos antimicrobianos, sin embargo en su forma natural estas moléculas presentan limitantes para su uso clínico como: actividad hemolítica, vida media corta, actividad antimicrobiana moderada (Cardoso *et al.*, 2021). Diversos trabajos han bordado estas limitantes con un enfoque basado en la creación de nuevos péptidos o la modificación de los péptidos ya reportados (Li *et al.*, 2017), este trabajo se basó en la segunda premisa.

Referencias

- Abebe, R., Hatiya, H., Abera, M., Megersa, B., Asmare, K., 2016. Bovine mastitis: prevalence, risk factors and isolation of *Staphylococcus aureus* in dairy herds at Hawassa milk shed, South Ethiopia. *BMC Vet Res* 12, 270. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0905-3>
- Ageitos, J.M., Sánchez-Pérez, A., Calo-Mata, P., Villa, T.G., 2017. Antimicrobial peptides (AMPs): Ancient compounds that represent novel weapons in the fight against bacteria. *Biochemical pharmacology* 133, 117–138.
- Aghamohammadi, M., Haine, D., Kelton, D.F., Barkema, H.W., Hogeveen, H., Keefe, G.P., Dufour, S., 2018. Herd-Level Mastitis-Associated Costs on Canadian Dairy Farms. *Front Vet Sci* 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00100>
- Aguilera-Mendoza, L., Marrero-Ponce, Y., Tellez-Ibarra, R., Llorente-Quesada, M.T., Salgado, J., Barigye, S.J., Liu, J., 2015. Overlap and diversity in antimicrobial peptide databases: compiling a non-redundant set of sequences. *Bioinformatics* 31, 2553–2559. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btv180>
- Bell, M.J., Wilson, P., 2018. Estimated differences in economic and environmental performance of forage-based dairy herds across the UK. *Food and Energy Security* 7, e00127. <https://doi.org/10.1002/fes3.127>
- Bhattacharjya, S., Straus, S.K., n.d. IJMS, Vol. 21, Pages 5773: Design, Engineering and Discovery of Novel α -Helical and β -Boomerang Antimicrobial Peptides against Drug Resistant Bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.3390/ijms21165773>
- Bolte, J., Zhang, Y., Wenthe, N., Mahmmod, Y.S., Svennesen, L., Krömker, V., 2020. Comparison of phenotypic and genotypic antimicrobial resistance patterns associated with *Staphylococcus aureus* mastitis in German and Danish dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103, 3554–3564. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17765>
- Bradley, A.J., Leach, K.A., Breen, J.E., Green, L.E., Green, M.J., 2007. Survey of the incidence and aetiology of mastitis on dairy farms in England and Wales. *Veterinary Record* 160, 253–258. <https://doi.org/10.1136/vr.160.8.253>
- Cardoso, P., Glossop, H., Meikle, T.G., Aburto-Medina, A., Conn, C.E., Sarojini, V., Valery, C., 2021. Molecular engineering of antimicrobial peptides: microbial targets, peptide motifs and translation opportunities. *Biophys Rev*. <https://doi.org/10.1007/s12551-021-00784-y>
- Das, D., Panda, S.K., Jena, B., Sahoo, A.K., 2018. Economic Impact of Subclinical and Clinical Mastitis in Odisha, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7, 3651–3654. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.422>

- Devriese, L.A., Hommeez, J., 1975. Epidemiology of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in dairy herds. *Research in Veterinary Science* 19, 23–27. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(18\)33549-5](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)33549-5)
- Gautier, R., Douguet, D., Antony, B., Drin, G., 2008. HELIQUEST: a web server to screen sequences with specific α -helical properties. *Bioinformatics* 24, 2101–2102. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btn392>
- Ghosh, C., Sarkar, P., Issa, R., Haldar, J., 2019. Alternatives to conventional antibiotics in the era of antimicrobial resistance. *Trends in microbiology* 27, 323–338.
- Guimarães, F. de F., Nóbrega, D.B., Richini-Pereira, V.B., Marson, P.M., Pantoja, J.C. de F., Langoni, H., 2013. Enterotoxin genes in coagulase-negative and coagulase-positive staphylococci isolated from bovine milk. *Journal of Dairy Science* 96, 2866–2872. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5864>
- Hernando-Amado, S., Coque, T.M., Baquero, F., Martínez, J.L., 2019. Defining and combating antibiotic resistance from One Health and Global Health perspectives. *Nature Microbiology* 4, 1432–1442. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0503-9>
- Hollmann, A., Martinez, M., Maturana, P., Semorile, L.C., Maffia, P.C., 2018. Antimicrobial Peptides: Interaction With Model and Biological Membranes and Synergism With Chemical Antibiotics. *Front Chem* 6, 204. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00204>
- Khairullah, A., Sudjarwo, S., Effendi, M., Harijani, N., Tyasningsih, W., Rahmahani, J., Permatasari, D., Ramandinianto, S., Widodo, A., Hendriana, K., Riwu, P., 2020. A Review of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) on Milk and Milk Products: Public Health Importance. *Systematic Reviews in Pharmacy* 11, 59–69. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.8.9>
- Koehbach, J., Craik, D.J., 2019. The Vast Structural Diversity of Antimicrobial Peptides. *Trends in Pharmacological Sciences* 40, 517–528. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2019.04.012>
- Le Page, G., Gunnarsson, L., Snape, J., Tyler, C.R., 2017. Integrating human and environmental health in antibiotic risk assessment: A critical analysis of protection goals, species sensitivity and antimicrobial resistance. *Environment International* 109, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.09.013>
- Lewies, A., Plessis, L.H., Wentzel, J.F., 2019. Antimicrobial Peptides: the Achilles' Heel of Antibiotic Resistance? *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 11, 370–381. <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9465-0>
- Li, H., Hu, Y., Pu, Q., He, T., Zhang, Q., Wu, W., Xia, X., Zhang, J., 2020. Novel Stapling by Lysine Tethering Provides Stable and Low Hemolytic Cationic Antimicrobial Peptides. *J. Med. Chem.* 63, 4081–4089. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.9b02025>

- Li, J., Koh, J.-J., Liu, S., Lakshminarayanan, R., Verma, C.S., Beuerman, R.W., 2017. Membrane Active Antimicrobial Peptides: Translating Mechanistic Insights to Design. *Front. Neurosci.* 11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00073>
- Li, Y., Xiang, Q., Zhang, Q., Huang, Y., Su, Z., 2012. Overview on the recent study of antimicrobial peptides: Origins, functions, relative mechanisms and application. *Peptides* 37, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.07.001>
- Maity, S., Ambatipudi, K., 2021. Mammary microbial dysbiosis leads to the zoonosis of bovine mastitis: a One-Health perspective. *FEMS Microbiology Ecology* 97. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa241>
- Marr, A.K., Gooderham, W.J., Hancock, R.E., 2006. Antibacterial peptides for therapeutic use: obstacles and realistic outlook. *Current Opinion in Pharmacology, Anti-infectives/New Technologies* 6, 468–472. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2006.04.006>
- McParland, S., Dillon, P.G., Flynn, J., Ryan, N., Arkins, S., Kennedy, A., 2019. Effect of using internal teat sealant with or without antibiotic therapy at dry-off on subsequent somatic cell count and milk production. *J Dairy Sci* 102, 4464–4475. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15195>
- Mishra, B., Reiling, S., Zarena, D., Wang, G., 2017. Host defense antimicrobial peptides as antibiotics: design and application strategies. *Current Opinion in Chemical Biology, Next Generation Therapeutics* 38, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.03.014>
- Mohamed, M.F., Abdelkhalek, A., Seleem, M.N., 2016. Evaluation of short synthetic antimicrobial peptides for treatment of drug-resistant and intracellular *Staphylococcus aureus*. *Scientific reports* 6, 1–14.
- Molineri, A.I., Camussone, C., Zbrun, M.V., Suárez Archilla, G., Cristiani, M., Neder, V., Calvino, L., Signorini, M., 2021. Antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* isolated from bovine mastitis: Systematic review and meta-analysis. *Preventive Veterinary Medicine* 188, 105261. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105261>
- Mourtada, R., Herce, H.D., Yin, D.J., Moroco, J.A., Wales, T.E., Engen, J.R., Walensky, L.D., 2019. Design of stapled antimicrobial peptides that are stable, nontoxic and kill antibiotic-resistant bacteria in mice. *Nature Biotechnology* 37, 1186–1197. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0222-z>
- Muhammed, M.T., Aki-Yalcin, E., 2019. Homology modeling in drug discovery: Overview, current applications, and future perspectives. *Chemical Biology & Drug Design* 93, 12–20. <https://doi.org/10.1111/cbdd.13388>

- Petersson-Wolfe, C.S., Leslie, K.E., Swartz, T.H., 2018. An Update on the Effect of Clinical Mastitis on the Welfare of Dairy Cows and Potential Therapies. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 34, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.07.006>
- Prieto-Martínez, F.D., López-López, E., Eurídice Juárez-Mercado, K., Medina-Franco, J.L., 2019. Chapter 2 - Computational Drug Design Methods—Current and Future Perspectives, in: Roy, K. (Ed.), *In Silico Drug Design*. Academic Press, pp. 19–44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816125-8.00002-X>
- Schmidt, T., Kock, M.M., Ehlers, M.M., 2017. Molecular Characterization of *Staphylococcus aureus* Isolated from Bovine Mastitis and Close Human Contacts in South African Dairy Herds: Genetic Diversity and Inter-Species Host Transmission. *Front. Microbiol.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00511>
- Sharma, G., Dang, S., Gupta, S., Gabrani, R., 2018. Antibacterial Activity, Cytotoxicity, and the Mechanism of Action of Bacteriocin from *Bacillus subtilis* GAS101. *MPP* 27, 186–192. <https://doi.org/10.1159/000487306>
- Souza, P.F.N., Marques, L.S.M., Oliveira, J.T.A., Lima, P.G., Dias, L.P., Neto, N.A.S., Lopes, F.E.S., Sousa, J.S., Silva, A.F.B., Caneiro, R.F., Lopes, J.L.S., Ramos, M.V., Freitas, C.D.T., n.d. Synthetic antimicrobial peptides: From choice of the best sequences to action mechanisms. *Biochimie*. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.05.016>
- Steenefeld, W., van Werven, T., Barkema, H.W., Hogeveen, H., 2011. Cow-specific treatment of clinical mastitis: an economic approach. *J. Dairy Sci.* 94, 174–188. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3367>
- Stevens, M., Piepers, S., De Vlieghe, S., 2019. The effect of mastitis management input and implementation of mastitis management on udder health, milk quality, and antimicrobial consumption in dairy herds. *Journal of Dairy Science* 102, 2401–2415. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15237>
- Thompson, J.D., Gibson, T.J., Higgins, D.G., 2003. Multiple Sequence Alignment Using ClustalW and ClustalX. *Current Protocols in Bioinformatics* 00, 2.3.1-2.3.22. <https://doi.org/10.1002/0471250953.bi0203s00>
- Vickers, R.J., Bassetti, M., Clancy, C.J., Garey, K.W., Greenberg, D.E., Nguyen, M.-H., Roblin, D., Tillotson, G.S., Wilcox, M.H., 2019. Combating resistance while maintaining innovation: the future of antimicrobial stewardship. *Future Microbiology* 14, 1331–1341. <https://doi.org/10.2217/fmb-2019-0227>
- Waghu, F.H., Barai, R.S., Gurung, P., Idicula-Thomas, S., 2016. CAMPR3: a database on sequences, structures and signatures of antimicrobial peptides. *Nucleic Acids Res.* 44, D1094-1097. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1051>

- Wang, G., Li, X., Wang, Z., 2016. APD3: the antimicrobial peptide database as a tool for research and education. *Nucleic Acids Res* 44, D1087–D1093. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1278>
- Webb, B., Sali, A., 2016. Comparative Protein Structure Modeling Using MODELLER. *Curr Protoc Bioinformatics* 54, 5.6.1-5.6.37. <https://doi.org/10.1002/cpbi.3>

EXTRACCIÓN DE ACEITES DE LA BORRA DE CAFÉ EN LA PARA FINES BIOENERGÉTICOS

SARA NÚÑEZ CORREA¹, HUGO PÉREZ PASTENES², MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ³, OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ⁴

Resumen

Una de las problemáticas actual con respecto a la conservación medioambiental radica en cómo otorgarles utilidad a los residuos ocasionados por la actividad industrial y social del hombre. En el caso de la agroindustria del café, es su proceso solo es utilizado el 9.5% del peso total del fruto en la preparación de bebidas y el 90.5% son subproductos resultantes del beneficio los cuales son vertidos a los cuerpos de aguas contaminándolas y disminuyendo la posibilidad de vida de los ecosistemas. Por ese motivo, desde mediados del siglo pasado se han desarrollado alternativas para usar los subproductos como materia prima para la producción de forrajes, bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, enzimas pécticos, proteína, y abono, entre otros. Dentro de este marco, y derivado de la gran demanda a nivel mundial de combustibles, en los últimos años se han buscado fuentes de energías alternas, siendo la producción de biocombustibles una de las opciones más importantes. La producción de biodiesel representa un proceso respetuoso con el medio ambiente al utilizar como materias primas aceites vegetales o de origen animal, así como residuos o desechos orgánicos, entre ellos la borraja del café. A partir de las ideas expuestas, en el presente proyecto se realizó la extracción con etanol, a nivel planta piloto, del aceite contenido en residuos de café. Lo anterior con el fin de obtener aceite con potencial para la obtención de bioenergéticos, contribuyendo a la valoración de los residuos de café en un *carrier* energético para su posterior generación de biodiesel.

Palabras clave: borra de café, extracción de aceite, bioenergéticos, valoración de residuos.

Abstract

One of the current problems regarding environmental conservation lies in how to give utility to the waste caused by the industrial and social activity of man. In the case of the coffee agroindustry, in its process only 9.5% of the total weight of the

¹ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad Km 7.5, Coatzacoalcos, Ver., 96538, México

² Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad Km 7.5, Coatzacoalcos, Ver., 96538, México

³ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad Km 7.5, Coatzacoalcos, Ver., 96538, México

⁴ Universidad Veracruzana (UV), Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad Km 7.5, Coatzacoalcos, Ver., 96538, México. osguzman@uv.mx

fruit is used in the preparation of beverages and 90.5% are by-products resulting from the benefit, which are discharged into bodies of water, contaminating them and reducing the possibility of life of ecosystems. For this reason, since the middle of the last century, alternatives have been developed to use by-products as raw material for the production of fodder, beverages, vinegar, biogas, caffeine, pectin, pectic enzymes, protein, and fertilizer, among others. Within this framework, and derived from the great worldwide demand for fuels, alternative energy sources have been sought in recent years, with the production of biofuels being one of the most important options. The production of biodiesel represents a process that respects the environment by using vegetable or animal oils as raw materials, as well as residues or organic waste, including coffee borage. Based on the exposed ideas, in the present project the extraction with ethanol was carried out, at the pilot plant level, of the oil contained in coffee residues. The foregoing in order to obtain oil with the potential to obtain bioenergy, contributing to the evaluation of coffee residues in an energy carrier for its subsequent generation of biodiesel.

Keywords: coffee grounds, oil extraction, bioenergy, waste assessment.

Introducción

Una de las problemáticas actuales con respecto a la conservación del ambiente radica en cómo otorgarles utilidad a los residuos ocasionados por la actividad industrial y social del hombre. Actualmente, los procesos de reciclaje de desechos constituyen una vía muy utilizada para disminuir las consecuencias ambientales derivadas del vertimiento incontrolado de estos al medio ambiente (Serrat y col., 2016).

Al mismo tiempo, existe en el mundo un creciente interés hacia el desarrollo de nuevas formas de energía alterna y renovable. Así, los biocombustibles se presentan como una alternativa energética teniendo una serie de ventajas frente a los combustibles fósiles: disminuyen el efecto invernadero por lo que mejoran la calidad del aire, disminuyen la lluvia ácida y la cantidad de material de desecho en el proceso, cuando se parte de residuos como materia prima (Risco, 2012). El biodiesel es un combustible producido a partir de grasas y aceites vegetales o animales.

Por otro lado, el café es una de las bebidas más consumidas en el mundo, siendo responsable de la generación de una gran cantidad de residuos (Venegas, 2016). El aceite de café está compuesto por 8 a 11% de ácido graso, 36 a 43% de ácido linoleico, 35 a 42% de ácido palmítico, 7 a 11% de ácido esteárico, 4 a 7% de ácido araquídico, 4 a 7% de ácido behénico y sustancias volátiles como β -sitosterol, estigmasterol y campesterol (Ruiz, 2017). El contenido lipídico en granos de café verde es de ca. 7-17%, y varía de acuerdo con el tipo café (ej. 15 % en Arabica, y 10 % para Robusta). Se ha reportado que después del proceso de tostación este

porcentaje se mantiene constante; dependiendo no solo de la naturaleza del grano sino de las condiciones y método de extracción (Masera y *col.*, 2011).

Existen diversas propuestas para usar los residuos de café como materia prima en la producción de piensos, vinagre, biogás, cafeína, pectina, enzimas pécticas, proteína y abono (Rathinavelu y Graziosi 2005), permitiendo generar un subproducto, eliminar la contaminación y generar beneficios en el orden económico, social y ambiental. Varios intentos están siendo explorados en el aprovechamiento de los residuos de la industria cafetalera, la mayoría de ellos enfocados al aprovechamiento de sus azúcares polimerizados (celulosa y hemicelulosa) principalmente para la producción de bioenergéticos (Mussatto y *col.* 2011).

El presente proyecto se evaluará la extracción de aceite a partir de residuos de café. Lo anterior contribuirá a la valoración de estos residuos con potencial en la generación de biodiesel.

Materiales y Métodos

- *Recolecta de residuos de café:* Durante un tiempo de dos semanas se realizó la recolección de los residuos de café en tres puntos del campus Coatzacoalcos de la Universidad Veracruzana: cafetería, oficinas del sindicato y cubículo de profesores.

- *Secado del café:* los residuos de café recolectados fueron secados por dos métodos para evaluar la eficiencia en cada uno: *i)* secado en horno eléctrico (Generatoris, PS-SE-001/PE) por 6 horas a 70 C. El horno cuenta con un ventilador centrífugo de motor (convección forzada), para un caudal de 115 CFM* (28 Lt/min), *CFM: La masa de aire que el ventilador puede desplazar en una unidad de tiempo. *ii)* Secado al sol, aire convección natural por 6 horas.

Extracción de Aceite

La extracción de aceite de la borra de café se llevó a cabo mediante la técnica de extracción por solvente usando etanol (PUREX, 96%) en un equipo de extracción sólido- líquido (Generatoris) mostrado en la Figura 1. La extracción se realizó a 78° C, temperatura de ebullición del etanol. Se realizaron tres pruebas de extracción con duración de 1.5, 3 y 6 horas



Figura 1. Extracción por solvente

Resultados y Discusión

Recolección de café

Al iniciar el proyecto se establecieron tres puntos de recolección del café usado dentro de las instalaciones de la Universidad Veracruzana, campus Coatzacoalcos: cafetería Betitas, oficinas del Sindicato de profesores y cubículo de profesores. Después de la recolección, la borra fue secada para evitar el crecimiento microbiano por la humedad.

Secado

El secado es uno de los más antiguos y comunes métodos usados para la preservación de alimentos. En el secado por convección con aire, el gas calienta la superficie del producto, produciendo la evaporación del agua y un incremento en la temperatura, como consecuencia dentro del alimento se genera una conducción de calor y difusión del agua. El contenido de agua en los alimentos y en especial de los granos es uno de los criterios más importantes para la conservación de su calidad y su comercialización. Los alimentos en su estado natural están compuestos por materia seca y agua en cantidades específicas. El agua influye en la textura, sabor y calidad de los granos, pero es también una causa de su naturaleza perecedera. Las Ecuaciones 1 y 2 expresan la humedad de un producto en forma porcentual en base húmeda (bh) o en base seca (bs), como la cantidad de agua contenida en el producto húmedo o seco, respectivamente (Leturia, 2015):

$$\text{Húmedad en base húmeda (bh)} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de producto}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Húmedad en base seca (bs)} = \frac{\text{peso de agua}}{\text{peso de producto} - \text{peso de agua}} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de humedad en base húmeda calculados a partir de los resultados de termogravimetría realizados a un lote de café secado en horno eléctrico (Figura 2) y otro lote secado por exposición al sol en charolas de aluminio (Figura 3)

Tabla 1. Porcentaje de humedad en los residuos de café recolectado.

Técnica	% Humedad
Horno	57
Sol	68.4

Considerando que en ambas pruebas se realizaron usando el mismo lote de residuos de café recolectado, se demuestran que el secado asistido por luz solar es más eficiente, debido a que empleando el mismo tiempo de secado fue eliminada una mayor cantidad de agua. Adicionalmente, representa un proceso económico y amigable con el ambiente, al no usar energía eléctrica. Este parámetro es importante, dado que al lograr una mayor eliminación de agua se prolonga el tiempo de vida en almacenamiento de este subproducto, evitando posibles alteraciones o deterioros en su composición, que se pueden manifestar por reacciones biológicas con microorganismos.



Figura 2. Residuo de café secado al sol.



Figura 3. Horno de secado (Generatoris)

La diferencia en el porcentaje de eliminación de agua en el horno eléctrico podría estar determinada por mecanismos de transferencia de materia y energía. Siendo la difusividad un parámetro que determina la velocidad a la que se movilizan las partículas en un medio determinado, que depende de la densidad, presión, temperatura y en algunos casos del contenido de humedad, en el proceso de secado se debe considerar, además, la difusión interarticular, los cambios de fase, la heterogeneidad de los componentes de la materia, entre otros. Aun cuando el proceso de secado en el horno eléctrico se realizó en flujo de aire (convección forzada), la tasa de difusión podría haber sido controlada por este mecanismo, a diferencia de la borra secada al sol, en donde el flujo de aire y presión ambiental facilitaron la evaporación del agua contenida en la borra.

Las condiciones de secado usadas en este proyecto son comparables con trabajos de la literatura. Valenzuela (2018) trabajó con pulpa de café, variedad castillo naranjal suministrada por productores del departamento de Risaralda, Colombia y realizaron el secado a 60 °C durante 7 horas empleando una estufa de circulación forzada, estas condiciones fueron establecidas experimentalmente en función del contenido de humedad resultante. Ramírez (2008) utilizó la borra del café obtenida del proceso de preparación de café como bebida en varias cafeterías en la ciudad de Maracaibo, Venezuela. Una vez recolectada, la borra fue secada en una estufa a $60 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 12 horas, para eliminar la humedad y evitar el crecimiento microbiano. La borra seca fue almacenada en envases de plásticos de cierre hermético hasta el momento de su uso.

Extracción

El método empleado de extracción por disolvente se eligió considerando que en las literaturas revisadas se mencionaba que el rendimiento obtenido con extracción con disolvente era mayor que por extrusión (López, 2007; Puerta, 2016). Respecto al disolvente utilizado, se eligió etanol, considerando que es más amigable con el ambiente y en este trabajo se trató de ocasionar la menor cantidad de residuos contaminantes para el ambiente. El etanol a diferencia de otros disolventes mencionados en la bibliografía, como el hexano, es un reactivo menos peligroso y más económico.

En la Tabla 2 se presentan las características de tres pruebas de extracciones realizadas y en la Figura 2 se muestra el sistema de extracción sólido-solvente.

En el proceso de extracción de los sólidos solubles en agua para la elaboración de bebidas de café, solo 1% del aceite es transferido al extracto, lo restante queda contenido en la borra de café (Serna y col. 2018). Por lo anterior, se considera que el porcentaje de aceite en los residuos permanece constante, respecto al porcentaje reportando en los granos de café.

Tabla 2. Resultados de las extracciones

Extracción	1	2	3
Tiempo de extracción, horas	1.5	3	6
Alcohol, litros	4	6	8
Borra de café, gramos	750	900	800
Extracto, litros	1 ½	1 ½	4



Figura 2. Extracción sólido Líquido del aceite de la borra de café

Para dar seguimiento a la concentración y propiedades del aceite, durante la extracción se fueron tomando alícuotas cada 30 min. En Figura 3 se presentan algunas muestras de la extracción del aceite de café, las cuales fueron postramente caracterizadas por reflectancia difusa.



Figura 3. Muestras de la extracción de aceite de café.

Tomando como referencia la muestra final de cada una de las pruebas de extracción, se podrían mencionar las siguientes características físicas y sensoriales similares en las tres muestras:

- Olor: característico a café tostado y alcohol
- Consistencia: aceitosos
- Color Café oscuro brillante.
- Aspecto: a temperatura ambiente es un líquido (poco viscoso).

Finalmente, para eliminar el solvente (etanol) del aceite, el producto de la extracción fue calentado para evaporar en etanol. Es relevante mencionar que debido a las circunstancias de emergencia sanitaria que se presentó cuando se realizaba el desarrollo experimental del proyecto, fueron canceladas las prácticas en los laboratorios y no fue posible realizar la separación por destilación para poder recuperar el etanol y de esta forma hacer el proyecto más redituable y sustentable. Por tales motivos, optamos llevar a cabo un proceso de evaporación en condiciones controladas, en las cuales la temperatura de proceso estuvo alrededor de 78 a 82°C, con un tiempo de proceso de aproximadamente 4 horas en cada muestra. La Tabla 3 muestra el aceite obtenido en cada extracción después de separar y retirar el exceso de etanol del extracto, siendo este el aceite con potencial para la obtención del biodiesel a través de la reacción de transesterificación.

Tabla 3. Datos del aceite obtenido.

TIEMPO	1 ½ horas	3 horas	6 horas
EXTRACTO, Lt	1 ½	1 ½	4
ACEITE OBTENIDO, mL	72	135	122

Para determinar el rendimiento del proceso se consideró la Ecuación 3. Para lo anterior fue determinada densidad de cada muestra de aceite extraída. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos.

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{masa del aceite obtenido}}{\text{masa de la borra de café utilizada}} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Tabla 4. Datos del aceite obtenido

Tiempo, h	mL de Aceite	Densidad, mL/g	g de aceite	g de borra de café	Rendimiento
1 ½	72	0.919	75.4	750	8.82
3	135	0.923	124.6	900	13.85
6	122	0.927	113.1	800	14.14

La densidad en las muestras es comparable con lo reportado por López y Castaño (1999) que reportan una densidad promedio de 0.9359 g/mL en aceite extraído de la borra de café por el método de extrusión, y de 0.919 g/mL por el método de extracción por solventes (utilizando n-hexano). El aceite contenido en el grano de café verde, en el grano tostado y en su residuo (borra) tiene una composición química similar a la de muchos aceites vegetales comestibles como el de la semilla de algodón, soya, maíz, coco, oliva y linaza, entre otros (López, 2007)

En la literatura se ha reportado que en el grano de café verde se tiene un porcentaje entre 16 – 18 % en peso de aceite; y en la borra de café entre el 10 - 15% en base seca (López y Castaño 1999). Por lo anterior, se considera que el rendimiento obtenido en este proyecto es aceptable y comparable con datos reportados en la literatura.

El bajo porcentaje de rendimiento en la extracción 1 ½ horas evidencia que es necesario un tiempo mayor para lograr tener un rendimiento aceptable. Adicionalmente se puede observar que incremento en el rendimiento al realizar la extracción en 3 h y en 6 h no es significativo, siendo las 3 horas adicionales un factor de gasto de energía, además de requerir una mayor cantidad de solvente.

Caracterización

En la Tabla 5 se presentan los resultados de las pruebas de caracterización realizadas a los tres aceites obtenidos. El parámetro de índice de refracción está ligado a la densidad, ya que la luz encontrará mayor dificultad para propagarse, cuanto mayor sea la cantidad de materia que haya que atravesar para una misma distancia (López y Castaño 1999). Se puede observar que la variación del índice de refracción se incrementa con el tiempo de la extracción al ser más concentrado, obteniendo mayor cantidad de aceite.

Tabla 5. Pruebas de índice de refracción y pH.

Tiempo de extracción	Índice de refracción	pH
1 ½ hora	1.3602	5.6
3 horas	1.6625	4.78
6 horas	1.6997	4.94

El índice de refracción determinado en las extracciones realizadas en 3 y 6 hs son mayores en 12% a lo reportado en la literatura de 1.468 a 1.4773, índices que se calcularon en el aceite de café tipo genuino Antigua @ 22.5 C (Patoja, 2016). Lo anterior podría deberse a la temperatura de las muestras al realizar las determinaciones. De acuerdo con la literatura, los índices de refracción de las sustancias grasas oscilan entre 1.46 y 1.50 medidos a 15 o 20 °C. Se ve afectado por la temperatura y los ácidos grasos libres (al aumentar ambos disminuye el índice de refracción) (Calle y Mendoza 2017).

Para los aceites la determinación se hace a 25°C, para las grasas parcialmente hidrogenadas a 40, para grasas hidrogenadas a 60 y para ceras a 80. Se pueden hacer las determinaciones a otras temperaturas, pero se deben hacer las correcciones.

Para hacer esta medición se emplea el refractómetro con escalas de 1.3 a 1.7. Si el equipo permite calibrar la temperatura se debe hacer antes de empezar el análisis (Calle y Mendoza 2017).

Derivado de la comparación de los datos de la literatura y los obtenidos en este proyecto, concluimos que la temperatura influye en los parámetros del índice de refracción, ya que en nuestra caracterización obtenemos los resultados en un margen de 1.3 a 1.7 como lo menciona la literatura a 25 °C.

Respecto a los resultados de pH, en la literatura se reportan valores entre 4.58 a 4.78 (Puerta, 2016), observamos que en los datos de la Tabla 5, los valores de pH que más se aproximan a la bibliografía son los obtenidos en tiempos de 3 y 6 horas de extracción, y con un valor menor en el aceite obtenido en 1 ½. Es importante destacar que los datos obtenidos en la literatura corresponden a pruebas realizadas al aceite extraído de muestras de café de un solo tipo, mientras que, en este proyecto, la recolecta de los residuos de café se realizó en distintos puntos y por consecuente el café tenía distinta naturaleza o tipo.

Humedad y cenizas

La obtención del contenido en cenizas se considera un parámetro de gran importancia para obtener las condiciones necesarias para los suministros de combustibles ya que se trata de un subproducto de la combustión que acaba como ceniza de fondo o volante y debe eliminarse. La ceniza se puede depositar o se puede usar para la producción de otros productos (Sánchez y Figueroa, 2013). Con relación a esto y tratando que nuestro trabajo fuera lo más sustentable, se llevó a cabo la obtención de cenizas y sus porcentajes

En la Figura 4 se presenta el porcentaje de cenizas resultante al calcinar el residuo de café a 800 °C en función del tiempo, observando que este porcentaje permanece prácticamente constante al realizar la calcinación a 2 h y hasta 6 h. Por lo anterior se sugiere realizar la calcinación de los residuos de café a 2 h, usando así menor energía obteniendo otro subproducto después de realizar la extracción de aceite.



Figura 6. Comportamiento de los porcentajes de cenizas de las muestras.

Se sabe que el uso de las cenizas de las cáscaras del café para combatir los brotes de psoriasis es una alternativa natural a los ya conocidos corticoides ya que es mucho menos invasiva. Las cenizas tienen un alto poder de secado, por lo que es algo muy valorado por todos los que sufren psoriasis y otras afecciones en la piel (Medina, 2018). No obstante, sabemos que la obtención de cenizas mediante la calcinación en una mufla incluye un gasto de energía que tendría que ser tomado en cuenta. Sin embargo, podemos hacer uso de la combustión de la biomasa y de esta manera poder aprovechar a un más estos residuos (Blasco, 2018).

La combustión de biomasa es el proceso más económico para la producción de calor y energía. Trascurre con liberación de energía en forma de calor y los productos principales resultantes, como se ha mencionado, son el dióxido de carbono, agua y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible. Las sales minerales constituyen las cenizas del proceso que, bajo determinadas condiciones, pueden ser, en general, restituidas al suelo como fertilizantes (Omil, 2007).

Este proceso posee una serie de ventajas económicas y medioambientales, un tipo de producción de energía más barata, renovable y con menos emisiones por su forma de combustión (Vargas, 2018).

Como parte de un estudio realizado por Carrasco acerca del proceso de extracción de palma se caracterizaron diferentes tipos de biomasa, dentro de estas biomásas se encuentran los residuos de café y muestran un porcentaje de cenizas de 1.2, que comparado con los resultados obtenidos en nuestro trabajo está dentro de ese rango, las variaciones que puedan existir en ese dato, es posible que se deba al tipo de café que se utilizó en ambos experimentos (Carrasco 2008).

En la época del reciclado, hoy se han encontrado nuevos usos a los residuos para aprovechar sus propiedades. Actualmente se utilizan estos residuos para producir biodiesel, sustrato de crecimiento para hongos, compostaje, combustible, alimento para animales y producción de biocombustibles sólidos como *pellets* (Blasco 2018). En el sector de generación de electricidad, los *pellets* se queman en centrales eléctricas a base de carbón, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero. También se utilizan en hornos y calderas pequeñas (Blasco 2018).

Para concluir la valorización de los residuos, la borra de café también se utiliza como abono para las plantas, mejora la calidad de la tierra y aporta nitrógeno, Cogua (2019) menciona que uno de los retos actuales de la ingeniería química, se encuentra en el diseño de procesos químicos que cierren los ciclos de producción, incorporando los desechos y los productos luego de cumplir su funcionalidad, a un ciclo que disminuya el impacto ambiental de la producción industrial. En su trabajo concluye que a través de procesos simples se puede sintetizar formulaciones de liberación controlada de nutrientes utilizando borra de café

Conclusión

Se logró la extracción de aceite a partir de la borra de café, contribuyendo a la valoración de estos residuos en un *carrier* energético con potencial en la generación de biodiesel.

La borra de café contiene gran cantidad de agua que debe ser eliminada después de la recolecta para evitar el crecimiento microbiano por la humedad. El proceso de secado se realizó en dos formas, una prueba en horno eléctrico y otro asistido por energía solar. Se determinó por termo gravimetría que haciendo el secado con solar se extraía mayor porcentaje de agua, lo cual garantiza un almacenamiento seguro de la borra de café antes del proceso de extracción. Adicionalmente es de gran importancia el ahorro energético en esta etapa del proceso, contribuyendo al cuidado del ambiente; En 3 horas de extracción se obtuvo un rendimiento del proceso de extracción de aceite del 13.85 %, y siendo del 14.14% en 6 horas. La variación del rendimiento es poco significativa incrementando 3 horas más el proceso, siendo que además del gasto energético, se genera un mayor consumo del solvente (etanol). Por lo anterior, se considera que al realizar el proceso en 3 h sería aceptable, con la sugerencia de realizar pruebas posteriores a 4 horas. Cabe mencionar que los porcentajes máximos reportados en la literatura, con base al contenido de aceite en la borra de café es del 15- 16%

Mediante los resultados obtenidos en la caracterización del aceite se obtuvieron variaciones en los índices de refracción y pH en función del tiempo de las extracciones, evidenciando que la cantidad de aceite extraído se incrementaba con el tiempo concentrando más. Los valores del pH son comparables con lo reportado en la literatura. Las variaciones en el índice de refracción, aun cuando se podría considerar comparables con la literatura, podría tener cambios debido a la calibración del equipo y a la temperatura en la que se realizó la prueba. Parámetros que se podrían verificar en trabajos posteriores.

El porcentaje de cenizas obtenido en este proyecto refleja que el residuo de café se encuentra en el rango de 1.2%, valorizado el residuo, ya que tiene aplicaciones en farmacéutica y cosmetología, entre otros. De igual forma que el residuo de la borra, sin calcinar, tiene usos como abono de plantas y como biomasa principalmente.

Referencias

- Blasco S. C. (2018). Evaluación de los recursos agrícolas para su valorización energética en calderas Spouted bed reactors. (Tesis). Universidad Politécnica de Valencia.
- Biodiesel a partir de residuos de café. (2014). Recuperado de <https://biodiesel.com.ar/8548/biodiesel-a-partir-de-residuos-de-cafe>
- Calle Chumo, D. A., Mendoza San Martín, J.C. (2017). Extracción de Taninos de la borra de café mediante lixiviación Soxhlet. (Tesis). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Carrasco García J. E. (2008). Combustión directa de la Biomasa. Máster en Energías Renovables y Mercado Energético.
- Cogua Barrera. H. R. (2019). Tesis. Estudio de la borra de café para su uso en formulaciones de liberación controlada de nutrientes. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Leturia, M. L. S. (2015). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. Enfoque UTE ,6, 4.
- López Fontal, E.M. (2007) Extracción de aceite de café. Revista de Ingeniería e Investigación, 27, 1, 25-31.
- López F., E.M.; Castaño C., J.J. (1999). Extracción de aceite a partir de subproductos de la trilla de café pergamino. Cenicafé 50, 1, 66-77.
- Masera Cerutti , O., Coralli , F., García Bustamente, C., Riegelhaupt , E., Arias Chalico , T., Vega Gregg , J., .Cecotti, L. (2011). La Bioenergía en México Situación actual y perspectivas. México. Cuaderno Temático No. 4. Edición original publicada por Red Mexicana de Bioenergía A.C.
- Medina, G. B. (2018). Aceites y grasas comestibles. Universidad de Antioquia departamento de farmacia Bromatología
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., y Teixeira, J. A. (2011b). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. Food Bioprocess Technology, 4, 661–672.
- Omil Ignacio, B. (2007). Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de Pinus radiata. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela Escuela Politécnica Superior de Lugo.
- Pantoja Chamorro A. L. (2016). Extracción de aceites con fluidos supercríticos a partir de semillas de frutas con potencialidad en la industria cosmética. (Tesis) Universidad Nacional de Colombia.
- Puerta Quintero, G. I. (2016). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Cenicafé. Avances Técnicos 352.
- Rathinavelu R., Graziosi G. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. ICS-UNIDO, Science Park, Padriciano, Trieste, Italia; Departamento de Biología de la Universidad de Trieste (Italia).

- Ramírez Ovalle L. M. (2008) Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización del aceite fijo de café tostado tipo genuino antigua obtenido por el proceso de prensado. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Risco Manzano, C. (2012). Producción de biodiesel a partir de residuos de café. Tesis. Universidad rey Juan Carlos.
- Ruiz Rodríguez, C. J. (2017). Tendencia del uso de Bioenergéticos en el estado de Tabasco, México. Tesis. Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, Instituto Politécnico Nacional, Instituto Politécnico Nacional.
- Sánchez Paz, I. M., & Figueroa Barrera, M. D. (Abril de 2013). "Extracción y caracterización fisicoquímica de aceite fijo obtenido por Expresión de 5 especies nativas y cultivadas en Guatemala: Crescentia cujete (Morro), Mamea americana (Mamey), Pachira aquatica (Zapotón) Cucumis Melo (Melón) y Acrocomia mexicana (Coyolio)". (Tesis) Universidad de San Carlos de Guatemala
- Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez Cortínez, K., & Hernández Sandoval, M. C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. Revista Ion, 3, 37-42.
- Serrat Díaz, C.M., Ussemame Mussagy, C., Camacho Pozo, M. I., Méndez Hernández, A. A., Bermúdez, C. (2016). Valorización de Residuos Agroindustriales Ricos en Pectinas por Fermentación. Revista Tecnológica Química 37, 1, 1-13.
- Valenzuela T. L S., Martínez K. G., Serna J. J. A. y Hernández M. C. (2018). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas. Información Tecnológica 30, 2, 1-8.
- Vanegas F. (2016, 30 julio). Manejo de Subproductos del café en el beneficio húmedo. Coffe Media. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/07/30/manejo-de-subproductos-del-cafe-en-el-beneficio-humedo/>
- Vargas Lazo, A. M. (2018). Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café. Tesis. Universidad Nacional de Colombia Facultad de ingeniería Bogotá, Colombia.

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO BIODEGRADABLE EN ELECTRODOS DE LABORATORIO SIN AFECTAR SU FUNCIONAMIENTO

YOLANDA LAGUNES PAREDES¹, MIRIAM DANIELA ROGEL CASTRO², ERNESTO FRANCISCO RUBIO CRUZ³, ESLI VÁZQUEZ NAVA⁴

Resumen

El uso de polímeros derivados del petróleo trajo consigo numerosos beneficios, sin embargo, el incremento en la industria del plástico presenta un uso excesivo de estos materiales, y ha causado altos niveles de contaminación.

Por otro lado, los residuos de piña, en su mayoría son depositados en el suelo el cual es el que se encarga de degradarlos. La preocupación por la contaminación ambiental se incrementa día con día, y los métodos para disminuirla son cada vez mayores, por lo tanto, el objetivo de esta investigación es obtener un polímero biodegradable como una alternativa sustentable, sustituyendo de esta forma los derivados del petróleo, dándole una aplicación primeramente a nivel laboratorio; entre los polímeros biodegradables más utilizados está el ácido poliláctico (PLA), éste, ha sido estudiado ampliamente por su alto grado de biodegradabilidad, teniendo como base el fermentado de residuos de piña para la producción del ácido láctico (AL), aplicándolo en esta investigación como recubrimiento biodegradable en superficies de electrodos utilizados en el laboratorio, permitiendo proteger y aumentar la vida útil de estos materiales y demostrando una considerable afectación en la conductividad. Esta información ofrece el utilizar al AL como monómero precursor para producir al PLA, describiendo el método de polimerización por rompimiento de anillo (ROP) para la obtención de PLA, y el método empleado para adherirlo a la superficie de los electrodos, mostrando los resultados del análisis de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE) y determinando que el PLA sirve como un aislante debido a que aumenta su resistencia e impedancia permitiendo la protección de material, sin embargo no permite la conductividad, por lo que el electrodo no cumple con su principal función, y es recomendable su uso como aislante o protector hacia materiales que puedan degradarse bajo agentes oxidantes.

¹ Universidad Veracruzana (UV), Boulevard Adolfo Ruiz Cortínez No. 455, C.P. 94294. Boca del Río, Veracruz. ylagunes@uv.mx

² Universidad Veracruzana (UV), Boulevard Adolfo Ruiz Cortínez No. 455, C.P. 94294. Boca del Río, Veracruz

³ Universidad Veracruzana (UV), Boulevard Adolfo Ruiz Cortínez No. 455, C.P. 94294. Boca del Río, Veracruz

⁴ Universidad Veracruzana (UV), Boulevard Adolfo Ruiz Cortínez No. 455, C.P. 94294. Boca del Río, Veracruz

Palabras clave: ácido láctico (AL), ácido poliláctico (PLA), polimerización, biodegradable, sustentable, polimerización por rompimiento de anillo (ROP), espectroscopía de impedancia electroquímica (EIE)

Abstract

The use of petroleum-derived polymers brought with it numerous benefits, however, the increase in the plastics industry presents an excessive use of these materials, and has caused high levels of pollution.

On the other hand, pineapple residues are mostly deposited in the soil, which is responsible for degrading them. The concern about environmental pollution increases day by day, and the methods to reduce it are increasing, therefore, the objective of this research is to obtain a biodegradable polymer as a sustainable alternative, thus replacing petroleum derivatives, giving it an application first at the laboratory level; Among the most widely used biodegradable polymers is polylactic acid (PLA), which has been extensively studied for its high degree of biodegradability, based on the fermentation of pineapple residues for the production of lactic acid (LA), applying it in this research. as a biodegradable coating on electrode surfaces used in the laboratory, allowing to protect and increase the useful life of these materials and showing a considerable effect on conductivity. This information offers the use of AL as a precursor monomer to produce PLA, describing the method of ring-breaking polymerization (ROP) to obtain PLA, and the method used to adhere it to the surface of the electrodes, showing the results of the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIE) analysis and determining that PLA serves as an insulator because it increases its resistance and impedance allowing material protection, however it does not allow conductivity, so the electrode does not fulfill its main function, and its use is recommended as an insulator or protector towards materials that can degrade under oxidizing agents.

Keywords: lactic acid (LA), polylactic acid (PLA), polymerization, biodegradable, sustainable, ring-break polymerization (ROP), electrochemical impedance spectroscopy (EIE)

Introducción

Debido a la gran disponibilidad del petróleo, la mayoría de los polímeros han sido producidos usando esta materia prima. Estos productos resultan ser beneficiosos en la vida cotidiana, debido a que tienen propiedades que facilitan las tareas diarias. Sin embargo, la gran cantidad de estos productos representa una problemática desde el punto de vista medio ambiental, causando altos grados de contaminación al ser desechados o incinerados.

Por otro lado, se encuentran grandes cantidades de desechos orgánicos los cuales se les puede dar un uso alternativo, como es el caso de los residuos de piña, que mediante un proceso de fermentación láctica se puede obtener el monómero de ácido láctico (AL) el cual es precursor del ácido poliláctico (PLA).

A modo de alternativa, se desarrollan actualmente muchas investigaciones que priorizan la generación de polímeros biodegradables como una alternativa sustentable ante dicha situación. Uno de ellos es el ácido poliláctico (PLA), el cual es un polímero termoplástico biodegradable derivado principalmente de recursos renovables, que se emplea de manera benéfica, debido a que este biopolímero cuenta con una gran contribución ambiental por su estructura química que hace la gran diferencia con los productos sintéticos.

En el presente trabajo de investigación se plantea la implementación del ácido poliláctico (PLA) como un recubrimiento biodegradable para electrodos de laboratorio, obtenido a partir del monómero de ácido láctico (AL) a través de una fermentación láctica de cáscaras de piña, el cual será polimerizado por el método de rompimiento de anillo (ROP), teniendo como objetivo primordial analizar la efectividad del recubrimiento biodegradable y su protección al material del electrodo para alargar su vida útil, así como demostrar si este afecta o no su conductividad o su adecuado funcionamiento.

El enfoque y relevancia de esta investigación, es establecer los parámetros adecuados para brindar una protección a los electrodos comúnmente empleados en el laboratorio, utilizando como recubrimiento un polímero biodegradable a base de ácido poliláctico (PLA) para aprovechar un residuo orgánico. Para esto, se llevará a cabo la experimentación y recolección de datos que hagan factible esta investigación.

Teniendo como objetivos principales evaluar y definir las condiciones ideales para obtener el biopolímero de ácido poliláctico (PLA), emplear el método de polimerización por apertura de anillo (ROP), utilizar el fermentado de ácido láctico (AL) y como catalizador al octoato de estaño (SnOct_2) en el proceso de polimerización, así como la determinación del método de adherencia del recubrimiento y la evaluación de los electrodos recubiertos con y sin haber estado expuestos en condiciones degradantes, esto mediante la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE).

Por lo que esta investigación se concentra en tres puntos principales, el primero aborda las cuestiones teóricas que sustentan el planteamiento de esta misma, el segundo expone la metodología y desarrollo experimental para llegar a obtener electrodos recubiertos de PLA y el tercero y último se establecen finalmente las conclusiones

Materiales y Métodos

Materiales

Para llevar a cabo el método de polimerización por rompimiento del anillo (ROP) y obtener las primeras pruebas experimentales de PLA antes de ser aplicado como recubrimiento, se emplearon los siguientes reactivos (Tabla 1):

Tabla 1.- Reactivos empleados para el proceso de polimerización.

Reactivo	Marca u Origen	Cantidad	Función
Solución de ácido láctico	Obtenido por fermentación a partir de residuos de piña	10-11 ml	Monómero
Ácido láctico puro	Puro (farmacéutico)	10-11 ml	Monómero
SnOct ₂	SIGMA	Variable	Catalizador (Iniciador de la reacción)
Alcohol	MEYER	20 ml	Medio para llevarse a cabo la polimerización
Cloroformo	GOLDEN BELL	20 ml	Medio para llevarse a cabo la polimerización
Glicerina	SIGMA	150 ml	Medio empleado para calentamiento
	Natural 100% pura		

Es importante mencionar que las cantidades de ácido láctico (AL) que se emplearon varían de 10 a 11 ml, debido a que se realizaron varios ensayos con diferentes cantidades de esta sustancia que iban de 10 ml a 11 ml. El SnOct₂, representa una variable importante en el avance de la reacción. En el caso de la glicerina se utilizó de dos marcas, debido a que la de origen SIGMA se tornó café oscuro por estar expuesta mucho tiempo al calor, por lo que se hizo un cambio de glicerina.

Métodos

Los resultados obtenidos mediante la técnica con la cual se recubrieron a los electrodos, así como los resultados de las técnicas de inspección de recubrimientos (medición de película húmeda y seca), la inspección de la superficie de los electrodos recubiertos a través de un microscopio óptico y por último los resultados de la técnica de Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE), la cual fue aplicada a los electrodos con y sin recubrimiento. Cada técnica y cada ensayo realizado proporcionó información fundamental para determinar si el recubrimiento permitía o no el paso de la conductividad

Medición de película húmeda

Con la finalidad de determinar el espesor del recubrimiento según las Normas ASTM, IRAM, BS, DIN las cuales son el resultado de numerosos estudios e investigaciones que definen las condiciones mínimas de calidad de pinturas y

películas en particular (Giudice & Pereyra , 2000). Se llevó a cabo la medición del espesor de película húmeda sobre una placa de superficie lisa (figura 1) la cual estaba recubierta del polímero biodegradable, por otro lado, también con el objeto de observar sus características físicas, además de comparar el espesor de la película húmeda y seca

Para ello, se empleó un peine perforado de aluminio de película Elcometer 112 con unidad de 1-120 mils y número de serie RF08785. Se colocó el peine de aluminio sobre la placa con superficie húmeda y se tomó su lectura, dando como resultado 9 mils de espesor.



Figura 1. Medición de la película húmeda. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Las siguientes conversiones son el resultado de la técnica de inspección de película húmeda de unidades mils a milímetros y de milímetros a micras.

$$9 \text{ mils} * \frac{0.0254 \text{ mm}}{1 \text{ mils}} = 0.2286 \text{ mm} \quad 0.2286 \text{ mm} * \frac{1000 \mu}{1 \text{ mm}} = 228.6 \mu$$

Medición de película seca

Se determinó el espesor de la película seca (figura 2) cuya finalidad fue observar el espesor final y su homogeneidad en la superficie. Para esto, se llevó a cabo sobre la misma superficie con un medidor de película seca, marca Elcometer, el cual se encuentra dentro de la clasificación de métodos no destructivos.



Figura 2. Medición de película seca. [Fotografía como evidencia de la experimentación]

Este análisis se realizó en 15 diferentes puntos de la placa, los cuales emitían distintos valores, debido a que el espesor del recubrimiento seco no fue homogéneo en toda la superficie.

En la tabla 2 se muestran los valores en unidad mils, obtenidos de las distintas zonas y están ordenadas según la zona respectiva de la placa

Tabla 2.- Valores del espesor de la película seca

3.15	3.74	1.39
1.97	3.79	5.40
2.48	3.11	1.99
2.82	1.54	3.39
1.45	2.47	2.87

En la figura 3 se observó el recubrimiento seco en la placa de acero, donde se presentan zonas más recubiertas que otras, por ello se obtienen diferentes valores de espesor de película y posiblemente la presencia de poros.



Figura 3. Placa de acero recubierta con PLA. Electrodo de carbono expuesto a sustancias ácidas y alcalinas. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Observación microscópica Debido a que los electrodos de carbono recubiertos presentaron degradación al estar expuestos en sustancias ácidas y alcalinas, se optó por analizar la superficie de los electrodos recubiertos de los distintos materiales empleados antes de estar inmersos en esas sustancias, a través de un microscopio óptico con la finalidad de observar la morfología del polímero sobre los electrodos empleando un microscopio óptico marca IROSCOPE (figura 4)



Figura 4. Observación microscópica de las superficies de electrodos recubiertas. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Resultados y discusiones

Se analizaron los electrodos de carbón, aluminio y cobre recubiertos con la primera capa sin haberlos expuesto a las sustancias ácida y alcalina, esto con el fin de observar la morfología del recubrimiento polimérico

Para el caso del electrodo de carbón se observaron pequeñas grietas y una superficie craquelada como se muestra en la (figura 5). Por lo tanto, tiene poros, es decir no es homogéneo.

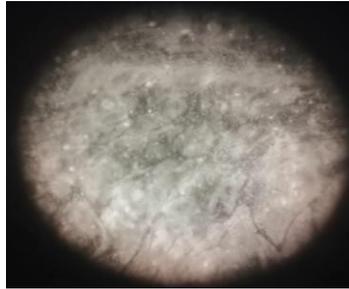


Figura 5. Observación microscópica del electrodo de carbón recubierto. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Por otro lado, se realizó el mismo procedimiento para el caso del electrodo de aluminio recubierto con una capa, de igual manera sin haberlo expuesto a sustancias nocivas, en el cual se pudo observar solo la presencia de diminutas burbujas, (figura 6) las cuales a simple vista no se apreciaban. A diferencia del electrodo de carbón, este material no presentó grietas ni efecto craquelado en la superficie del polímero.



Figura 6. Observación microscópica del electrodo de Aluminio recubierto. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Por último, para el caso del electrodo de cobre recubierto con una capa sin haber estado expuesto a dichas sustancias, se logró observar la presencia de pequeños poros en algunas zonas y aglomeraciones en una parte más que en otra (figura 7).

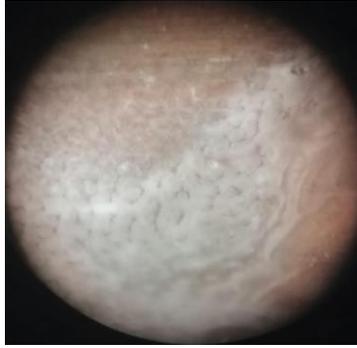


Figura 7. Observación microscópica del electrodo de Cobre recubierto. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Detector de Poros

Para corroborar que el polímero sobre la placa recubierta tenía la presencia de poros, los cuales eran difíciles de apreciar a simple vista, se optó por emplear un detector de poros Elcometer, el cual consta de un rodillo y un contacto eléctrico (figura 8).

Dicho rodillo emitía un sonido al hacerlo pasar sobre la placa recubierta del polímero, lo cual indicaba la presencia de poros en el recubrimiento seco, por lo cual no es homogéneo



Figura 8. Detector de poros. [Fotografía como evidencia de la experimentación].

Potencial de circuito abierto (OCP)

A continuación, se presentan el potencial de circuito abierto (OCP; por sus siglas en inglés) de los electrodos de carbón, cobre y aluminio con y sin recubrimiento de ácido poliláctico y bajo condiciones de degradación en un medio ácido.

El OCP del electrodo de carbón (figura 9) en una solución de NaCl al 3.5% en peso fue de -0.10 V; sin embargo, cuando se añaden las capas del ácido poliláctico el OCP es desplazado a potenciales más positivos en el caso de 1 y 2 capas, mientras que con 3 capas el potencial fue más negativo. Con 3 capas posiblemente no es totalmente homogéneo la distribución del recubrimiento, debido a que el sistema tardó en estabilizarse.

Ahora bien, la degradación de las capas por la presencia del HCl se puede observar valores de potencial positivos, siendo mayor con 3 capas, lo que indica que es más susceptible en degradarse con una menor cantidad de capas de recubrimiento sobre la superficie del electrodo.

En el electrodo de cobre (figura 10) su OCP fue de -0.15 V, mientras que en las capas sin degradar se observa mismo comportamiento con 3 capas donde el sistema tarda en estabilizarse. Los OCP de las capas varían cuando se aplican las capas y puede atribuirse a la falta de homogeneidad del recubrimiento. Las capas degradadas tienen un OCP más positivo que el blanco, los cuales se encuentran entre -0.08 a -0.06 V.

Para el electrodo de aluminio (figura 11) tiene un OCP de -0.70 V, siendo las capas 2 y 3 sin degradar con un potencial más positivo, posiblemente tengan una distribución en comparación con 1 capa de ácido poliláctico. En HCl los OCP de las capas 2 y 3 ahora son más negativos con valores entre los -0.78 y -0.76 V, que podrían indicar una ruptura del recubrimiento

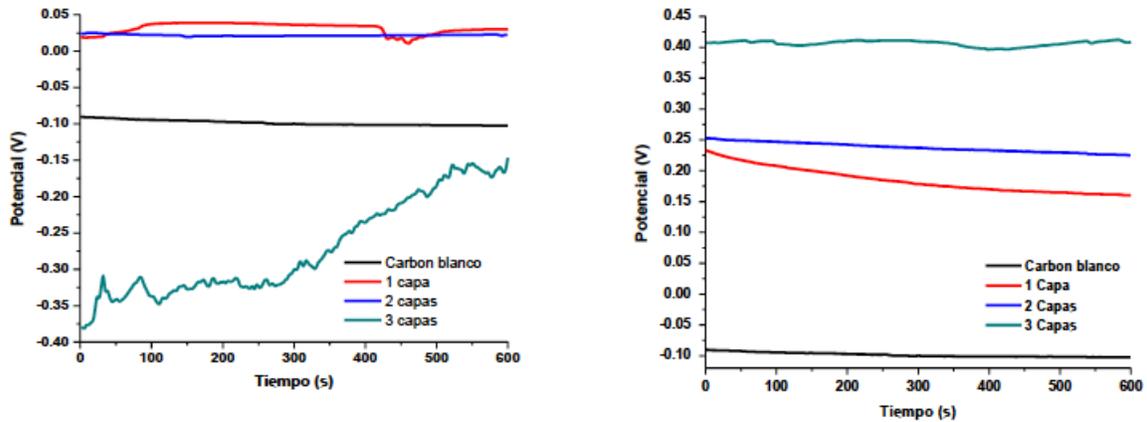


Figura 9. Gráficas OCP de electrodos de carbón recubiertos de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha), en medios ácidos y alcalinos.

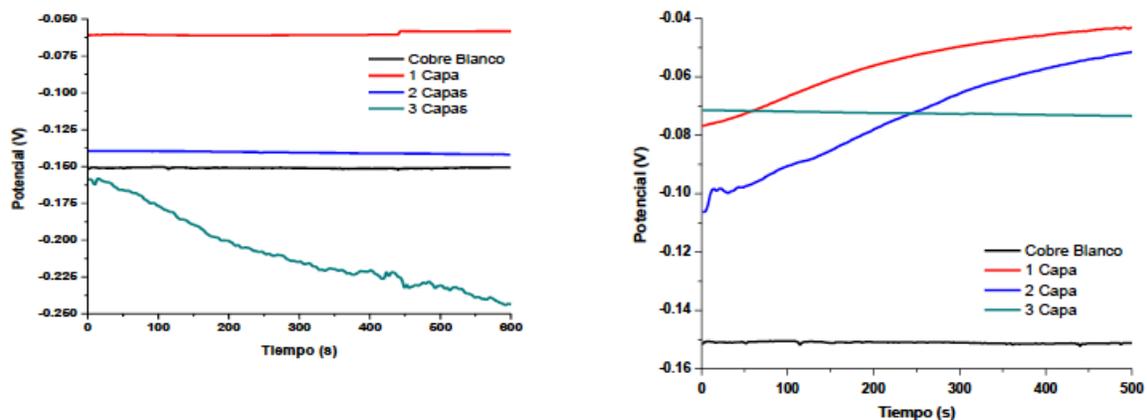


Figura 10. Gráficas OCP de electrodos de cobre recubiertos de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha) en medios ácidos y alcalinos

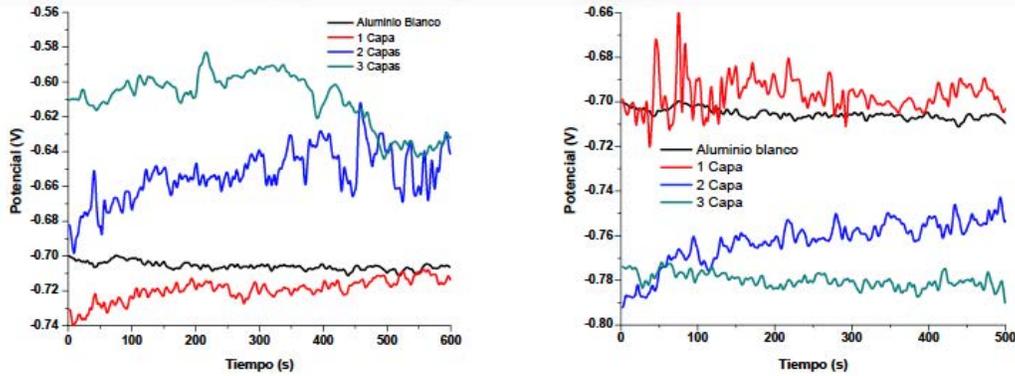


Figura 11. Gráficas OCP de electrodos de aluminio recubiertos de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha) en medios ácidos y alcalinos.

Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIE)

Los resultados de los diagramas de Bode del módulo de impedancia vs logaritmo de la frecuencia de los electrodos con y sin recubrimiento y en condiciones de degradación en un medio ácido se presentan en las (figuras 12-14).

En la (figura 12 izquierda), se observa que el electrodo de carbón tiene valores de impedancia mayor a los $500 \Omega \cdot \text{cm}^2$. La presencia de las capas de ácido poliláctico aumenta la protección del electrodo de carbón con valores para 1 capa de $3000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, 2 capas de $30,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$ y 3 capas de 5×10^{10} . Esto indica que conforme se aumenta la cantidad de capas sobre la superficie del electrodo le otorga una mayor protección.

En el caso de los electrodos con el recubrimiento degradado con HCl (figura 12 derecha) se observa que a pesar de las condiciones agresivas aun así los valores de impedancia total son mayores al blanco. También en el diagrama de Bode se puede apreciar que sufrió más daño el electrodo con 3 capas, mientras que con 2 capas los valores son de alrededor de $2,600,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$.

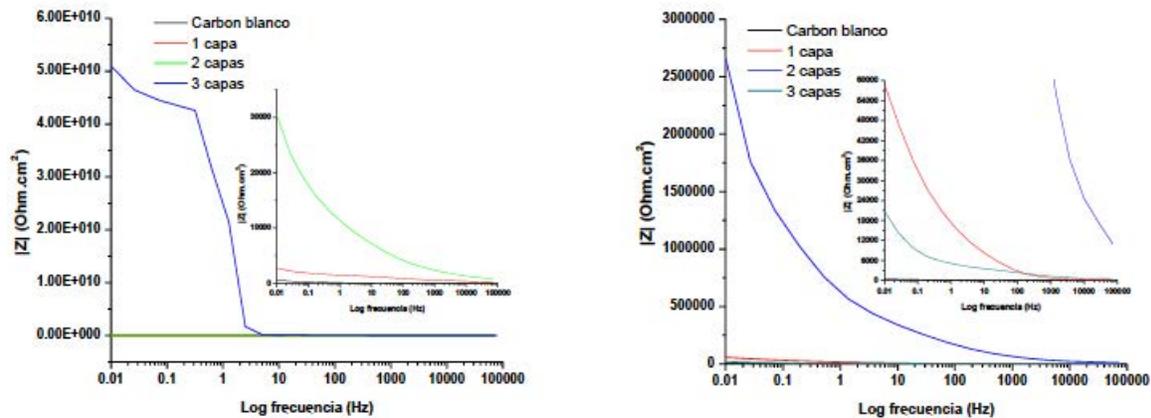


Figura 12. Diagramas de Bode del módulo de la impedancia vs logaritmo de la frecuencia. Electrodos de carbón recubiertos de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha) en medios ácidos y alcalinos.

El electrodo de cobre sin recubrimiento tiene un valor de impedancia total de $3000 \Omega \cdot \text{cm}^2$ y como en el electrodo anterior los valores aumentan con las capas de ácido poliláctico (figura 13 izquierda). Al parecer con 2 capas el material no fue recubierto adecuadamente, sin embargo, con 1 y 3 capas los valores de impedancia son de aproximadamente $20\,000$ y $3 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$ respectivamente. Sin embargo, con el electrodo recubierto dañado (figura 13 derecha) la situación es diferente, siendo con 3 capas la de menor protección y con 2 capas con una mayor protección. Lo anterior resulta que la deposición del recubrimiento sobre los electrodos no fue homogénea o puede deberse a un desprendimiento de las capas que producen una menor protección.

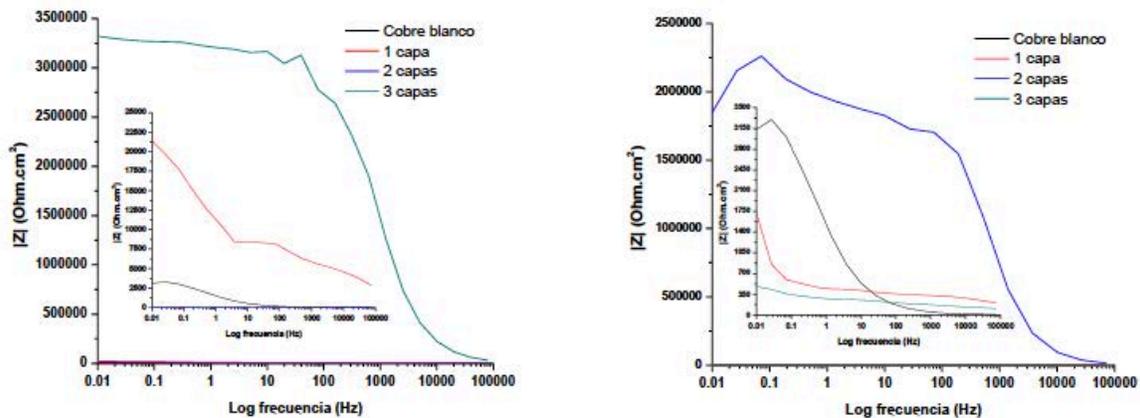


Figura 13. Diagramas de Bode del módulo de la impedancia vs logaritmo de la frecuencia.

Electrodos de cobre recubiertos de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha) en medios ácidos y alcalinos

El aumento de los valores de impedancia total también se ve reflejado en el electrodo de aluminio el cual tiene un valor menor a los $1000 \Omega \cdot \text{cm}^2$. Por su parte, las capas de recubrimiento con ácido poliláctico tienen valores de aproximadamente $10\,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, $20\,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$ y $300\,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$ para 1, 2 y 3 capas, respectivamente (figura 14 izquierda). En el caso de los electrodos recubiertos degradados (figura 14 derecha) las capas 1 y 3 tienen valores de impedancia total menores a los $15\,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$, mientras que la capa 3 de $75\,000 \Omega \cdot \text{cm}^2$.

El recubrimiento de ácido poliláctico les otorga una excelente protección a los electrodos de carbón cobre y aluminio de tal manera que se comporta como un aislante ante la agresividad de los iones cloruro en las pruebas por EIE y en condiciones ácidas a los que fueron sometidos los electrodos. Aunque el comportamiento difiere al degradarse el recubrimiento, aún se mantiene su capacidad protectora. Cabe resaltar que de acuerdo con los resultados el incremento de las capas provoca un aumento en los valores de impedancia total y por ende en la protección. Por lo que es adecuado la deposición de 2 capas como el idóneo de acuerdo con los resultados que se obtuvieron.

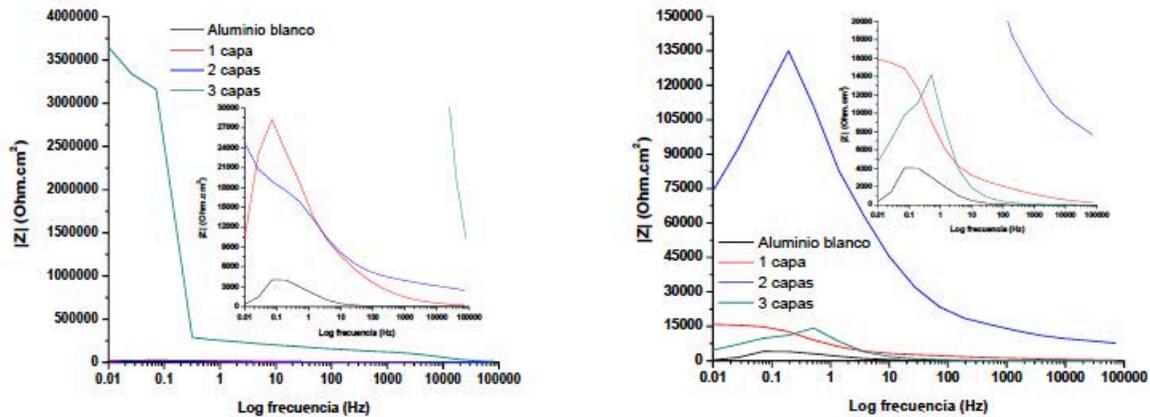


Figura 14. Diagramas de Bode del módulo de la impedancia vs logaritmo de la frecuencia. Electrodo de aluminio recubierto de ácido poliláctico (PLA) sin degradar (izquierda) y degradados (derecha) en medios ácidos y alcalinos.

Conclusión

A continuación, se mencionan las conclusiones de este trabajo de investigación con base en la experimentación y los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta: Fue posible obtener ácido poliláctico (PLA) empleando como base el monómero de ácido láctico fermentado (AL) de residuos de cáscara de piña, mediante el método ROP y aplicarlo como recubrimiento en electrodos

Con el método de polimerización (ROP) empleado, fue posible obtener un biopolímero de alto peso molecular.

Se realizaron nueve ensayos totales y resultó conveniente emplear nuevamente la centrifugación y filtración del caldo fermentado como proceso de purificación, debido a que presentaba partículas en suspensión las cuales afectaban la tonalidad de PLA seco. Se debe emplear ácido láctico fermentado con un alto nivel de pureza, de lo contrario el proceso de polimerización no se podrá completar o tomará más tiempo y para obtener el polímero completamente seco; es decir condiciones adecuadas incluso aun poniéndolo en contacto con el ambiente se emplearon otras técnicas al pesar los reactivos y así como el orden en la colocación de estos.

Se pudo recubrir la superficie de electrodos con PLA mediante el método de inmersión, con el objeto de poder adherir capa sobre capa. Para la aplicación de la primera capa mediante este método, se dejó durante 1 hora el electrodo inmerso en el reservorio, debido a que la solución primero debía volverse viscosa para poder adherirse a la superficie de este y que al retirarlo se secase completamente. La aplicación de la primera capa resultó muy delgada y transparente, al aplicar segunda y tercera capa se volvían más perceptible debido al grosor que adquirían y la coloración que tomaban. De las tres capas que se aplicaron sobre cada electrodo, la tercera tardó más tiempo en secarse en comparación con la primer y segunda capa, en un tiempo aproximadamente de 20 minutos.

Los electrodos de carbón recubiertos que fueron inmersos en sustancias ácidas y alcalinas durante un lapso de 1 hora, presentaron cambios perceptibles tomando un aspecto rugoso y se degradaron aún más al estar expuestos durante 4 horas, a diferencia de los electrodos de cobre y aluminio los cuales se mantuvieron intactos a simple vista.

Al medir el espesor de película seca en la placa de acero, se obtuvieron 15 valores distintos por lo que el recubrimiento seco no es homogéneo posiblemente por la presencia de poros, para corroborar esto, se observó la superficie de electrodos a través de un microscopio y se analizó la superficie recubierta a través de un detector de poros, por lo que se concluye la presencia de poros en el recubrimiento.

Por otro lado, en el análisis de potencial de circuito abierto (OCP) para el caso de los electrodos de carbón sin estar expuestos a degradación es posible que las capas 1 y 2 quedaron recubiertas de manera homogénea debido a que los valores obtenidos de OCP son positivos y en la capa 3 se obtuvieron valores negativos por lo que se indica que posiblemente el recubrimiento no es homogéneo debido a que el sistema tardó en estabilizarse. Si los electrodos recubiertos estuvieron expuestos a medios ácidos y alcalinos, la degradación que hayan tenido se refleja en los valores de OCP, es decir si el valor más positivo se encuentra en la capa 3 entonces el biopolímero está más expuesto a degradarse en las capas 1 y 2. Los OCP de las capas varían cuando se aplica capa sobre capa esto puede atribuirse a la falta de homogeneidad del recubrimiento. Si los OCP de las capas 2 y 3 son más negativos que la capa 1 se podría indicar una ruptura del recubrimiento.

Para el caso de los diagramas de Bode se refleja la protección del electrodo debido a la presencia de PLA; es decir, conforme se aumenta la cantidad de capas sobre la superficie de electrodos el PLA le otorga una mayor protección, por lo que es posible decir que el recubrimiento biodegradable sirve como aislante por el comportamiento debido a que protege al material ante la agresividad de los iones cloruro en las pruebas por EIE ya que estuvo expuesto en sustancias ácidas y alcalinas manteniendo su capacidad protectora, reflejándose en los valores de impedancia total los cuales son mayores aún que un electrodo blanco. Por lo tanto, con estos resultados el incremento de las capas provoca un aumento en los valores de impedancia total y por ende en la protección. Por lo que es adecuado la deposición de 2 capas como el idóneo, debido a que se presentaron casos en donde una capa 3 con valores de impedancia reflejadas por debajo del electrodo blanco o de alguna capa menor a esta, posiblemente se debe a que tuvo un desprendimiento o degradación en los medios ácidos y alcalinos, pero a pesar de esas condiciones se sigue manteniendo protectora, por lo que se concluye que este recubrimiento de tipo orgánico funciona como un aislante debido a que protege al material del electrodo pero no permite la conductividad, es decir que el electrodo no cumple con su función, sin embargo es recomendable como aislamiento o protector hacia materiales que puedan degradarse bajo agentes oxidantes.

Referencias

- Alfaro, A. I. (2017). Estudio del biocompuesto Ácido poliláctico-fibra de hoja de piña. Cartago: TEC.
- Alomoto Masabanda, Y. P. & Ormaza Velásquez, E. D. (2020). Obtención de ácido poliláctico (PLA) a partir del ácido láctico mediante el uso del catalizador de octoato de estaño. Quito: Tesis de grado de Universidad Central de Ecuador.
- Amado Siles, A. (2014). Síntesis, propiedades y aplicación del ácido poliláctico a partir de almidón de la papa. Arequipa, Perú: Propiedad Intelectual de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ameen, S. M., & Caruso, G. (2017). Lactic acid in the food industry. Italia: Springer.
- Ballesteros, L. V. (2014). Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo. Cartagena: Universidad de San Buenaventura Cartagena.
- Campo Erazo, S. D. (2018). Estructura superficial de una película de almidón de yuca y ácido poliláctico sometida a biodegradación. Popayán: Departamento de Ingeniería Agroindustrial.
- Campos, S. (2014). Recubrimientos biodegradables de biopolímeros para su aplicación en frutas. Valencia: UPV.
- Castro, J., & Vera, M. P. (2012). Diseño de reactores de prepolimerización y polimerización para la producción de ácido poliláctico en una planta industrial. Cartagena de Indias: Tesis de la Universidad de Cartagena.
- Garces Vargas, A., & Hernández Alba, Y. (2020). Evaluación de películas poliméricas basadas en almidón, ácido poliláctico y polivenil alcohol como alternativa. Bogotá, D.C.: Tesis de Licenciatura, Fundación Universidad América.
- Guatzozón, M. (2020). Análisis de parámetros para caracterizar ácido poliláctico a partir de ácido láctico fermentado. Boca del Río, Veracruz.: Tesis de Licenciatura (Universidad Veracruzana)
- Laica, T. E. (2020). "Recubrimiento biodegradable a base de mucílago de linaza (*linum usitatissimum*) y glicerina para la conservación de la mora de castilla (*rubus glaucus*)". Latacunga, Ecuador: UTC.
- Amberg-Schwab, S. (2018). Recubrimiento biodegradable para empaquetado. Internacional.
- Ardilla, F. L., Estupiñán, H. A., Vázquez, C., & Peña, Y. D. (2011). Estudio de la biodegradación hidrolítica de recubrimientos de biopolímeros/cerámico mediante EQCM. Revista de Ingeniería.(35), 41-46.
- Cruz-Morfín, R., Martínez-Tenorio, Y., & López-Malo, A. (2013). Biopolímeros y su integración con polímeros convencionales como alternativa de empaques de alimentos. Temas de selección de Ingeniería de Alimentos., 42-52.
- Gallur, M. (2010). Presente y futuro de los biopolímeros como material de envase. easyFairs, 1-51.

- García, L. A., Novoa Betancur, J. A., Franco Ramírez, A. M., & Higuera Arboleda, L. M. (2015). Study of the synthesis of biopolymers of microbial origin. *Revista QUID*(25), 69-78.
- Hernández, H., & Illera, J. D. (2013). Incorporación de materias primas renovables y recicladas en resinas de poliéster insaturado. *Revista Colombiana de Materiales N5*. Edición especial de artículos cortos., 50-55.
- Leal, D., García, L., Moronta, D., & Mantilla, J. (Marzo de 2011). Diseño y construcción de un sistema automatizado para la elaboración de películas delgadas, por el método de inmersión. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 26 (1), 143-148.
- Martínez, F. A., Balculinas, E. M., Salgado, J. M., González, J. M., Converti, A., & Pinheiro, O. R. (2013). Lactic acid properties, applications and production: A review. *Trends in Food Science & Technology* , 30(1), 70-83.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE DE LOS ECOSISTEMAS

AUTORES

ALDO ANTONIO CASTAÑEDA VILLANUEVA, AMADO ENRIQUE NAVARRO FRÓMETA, ANA RUGERIO SUÁREZ, ARMANDO ADRIANO FABRE, ARMANDO GÓMEZ VÁZQUEZ, ARMANDO LOZADA GARCÍA, ARTURO GARCÍA SALDAÑA, CECILIA VÁZQUEZ JIMÉNEZ, CHRISTIAN REYES VELAZQUEZ, CINTHYA ALEJANDRA SOSA VILLALOBOS, CLARIBEL VENTURA LÁZARO, CUAUHTÉMOC GARCÍA LEÓN, DÁMARIS RASGADO GÓMEZ, EDUARDO TORRES RAMÍREZ, ELA ROXANA RIVERA NÚÑEZ, FABIOLA LANGO REYNOSO, FERNANDO PACHECO TORRES, FRANCISCO MARTÍNEZ TLAPA, GABRIELA PÉREZ OSORIO, GABYCARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ, HAYDEE NANCY ALVARADO ROMERO, HÉCTOR NARAVE FLORES, IRVING PÉREZ LANDA, ISAAC TEJEDA LÓPEZ, ISRAEL LÓPEZ PRIETO, ITZEL GALAVIZ VILLA, JESSICA MAYO ALCUDIA, JORGE ALBERTO VÁSQUEZ CONTRERAS, JOSÉ BERNAT RODRÍGUEZ, JOSÉ MIGUEL PÉREZ ENRÍQUEZ, JUAN FONTALVO BUELVAS, JUDITH GUADALUPE HERNÁNDEZ MENA, MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO, MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ, MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ, MARICRUZ GUTIÉRREZ BRAVO, MARIO DÍAZ GONZÁLEZ, MARTHA PERERA GARCÍA, MARTIN MARQUEZ ESPINOZA, MODESTA LORENA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, NANCY BRITO MANZANO, OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO, OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ, PEDRO REYNA GONZÁLEZ, PERLA VARGAS FALCÓN, RAFAEL MARCELINO PÉREZ ENRÍQUEZ, RICARDO MARTÍNEZ DELFÍN, ROMARIO LÓPEZ LUNA, ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN, ROSARIO GALVAN RUIZ, SALVADOR JAIME MERLO RODRÍGUEZ, VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ, YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO.

CARACTERIZACIÓN, IMPACTO Y VALOR DEL USO DE SUELO EN PREDIOS ALEDAÑOS A LAGUNA OLMECA, VERACRUZ.

ISAAC TEJEDA LÓPEZ¹, FABIOLA LANGO REYNOSO², PEDRO REYNA GONZÁLEZ³

Resumen

La laguna Olmeca forma parte importante del sistema lagunar Interdunario de Veracruz por su ubicación tamaño y aportaciones al ecosistema local. Donde su aprovechamiento se ha visto manchado por la invasión de territorio y mala planeación de las actividades dentro y fuera de la misma, así como las descargas clandestinas de aguas residuales y materiales ajenos al ecosistema. Por lo que sus servicios ambientales y área se ha reducido, provocando una gran alteración. En consecuencia, la falta de interés e invasión de los predios aledaños han ocasionado una sobre población y mal manejo de los recursos de la laguna. Ocasionando mala imagen e impacto nocivo para la laguna y su biota.

Palabras clave: Laguna costera, valor inmobiliario, impacto ambiental, manejo adecuado, urbanización

Abstract

The Olmec lagoon is an important part of the Interdunario lagoon system of Veracruz due to its location, size and contributions to the local ecosystem. Where its use has been tainted by the invasion of territory and poor planning of activities inside and outside of it, as well as clandestine discharges of wastewater and materials foreign to the ecosystem. Therefore, its environmental services and area have been reduced, causing a great alteration. Consequently, the lack of interest and invasion of the surrounding properties have caused an overpopulation and poor management of the lagoon's resources. Causing a bad image and a harmful impact on the lagoon and its biota.

Keywords: Coastal lagoon, real estate value, environmental impact, proper management, urbanization

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. alberto.tl@bdelrio.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Introducción

La Laguna Olmeca se encuentra inmersa en la mancha urbana, esta funciona gracias a sus características hidrológicas particulares. Dándole múltiples beneficios a la ciudad y habitantes de Veracruz.

La Laguna forma parte del Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz, el cual se encuentra protegido por la convención RAMSAR. La Ley de Aguas Nacionales los define como “zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”.

Los humedales son indispensables por los innumerables beneficios o “servicios ambientales” que brindan a la humanidad, desde suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción y biodiversidad, hasta control de inundaciones, recargas de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático.

Por lo antes menciona es necesario dar importancia a la preservación y no alteración de las lagunas Interdunarias, siendo de vital importancia la definición de sus áreas aledañas para su manejo apropiado y control de la misma.

De igual manera si dichas ares ya se encuentran impactadas, se requiere de una ayudar con planeación urbana involucrando a los diversos sectores correspondientes, con la finalidad de preservar y mejorar imagen de la laguna; y explotar al máximo los servicios que esta nos proporcione.

Nos enfocaremos en identificar y caracterizar lo existente, sus impactos y valores actuales inmobiliarios, por medio de mapeo y presentar herramientas a las autoridades correspondientes para su valoración y ayudar a la preservación de la laguna.

Materiales y Métodos

Los usos de suelo de manera irracional tienen un impacto en la laguna Olmeca, generando dañando ecológico y afectando el valor inmobiliario de los predios, a causa de las actividades antropogénicas.

Con la finalidad de especificar las actividades a realizar planteamos lo siguiente:

Variables dependientes:

Valor del impacto al ecosistema (**VIE**)

Variables independientes:

Costo recreativo (**CR**)

Costo ecológico (**CE**)

Costo inmobiliario zona (**CIZ**)

$$\underline{\underline{\mathbf{VIE = f(CR+CE+CIZ)}}}$$

Concatenado con lo anterior buscaremos evaluar el impacto que tienen el cambio de uso de suelo en los predios aledaños a Laguna Olmeca y su afectación al valor de la tierra desde el punto de vista inmobiliario.

Siendo necesario enfocarnos en los siguientes objetivos:

- I. Identificar y dividir los usos de suelo y actividades que generan impacto a la Laguna Olmeca.
- II. Generar las áreas en m² de cada una de las zonas de las lagunas involucradas, apoyándonos del análisis espacial.
- III. Calcular el valor del suelo, considerado su valor inmobiliario e impacto ambiental de su entorno.

Para llegar a los objetivos antes mencionados fue necesario:

- Hacer uso de análisis espacial (ARCMAP 10.3), con la finalidad de identificar y caracterizar el uso de suelo aleño y con ello determinar impacto de la zona, así como visitar las zonas para corroborar lo que nos muestra las imágenes y realizar un reporte fotográfico que sustenten los análisis señalados en mapas.
- Generar un diagnóstico cualitativo con apoyo de matrices de impacto ambiental. Proponer un índice de 5.
- Evaluar el impacto con relación a la legislación de la zona federal, mediante el uso de tecnología satelital corroborada con visitas en sitio.
 - En el artículo 3, fracción XLVII, de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), se define como “Ribera o Zona Federal” a: Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional
- Determinar el valor inmobiliario de las zonas considerando factores de impacto ambiental, valor inmobiliario y servicios., sustentados en estatutos de Asociación Mexicana de Profesionales Inmobiliarios.

Conjuntar toda la información determinando con ella los impactos y su influencia ecológica y económica

Resultados y Discusión

Identificación de zona federal y zona de impacto a 100 m de la delimitación de la laguna



1. Propuesta de 100 metros como zona de impacto a la laguna para identificar el uso de suelo que se da

	Delimitación de la laguna
	Buffer 5 m Zona Federal
	Buffer 100 m Propuesto

2. Propuesta de usos de suelo aledaños a las lagunas

	Uso Publico
	Uso Industrial
	Uso Habitacional
	Uso Rustico

3. Propuesta para valorar el impacto por los usos de suelo.

Valor de impacto
Alto
Medio
Bajo
Nulo

Concatenado con lo anterior nos facilitara la identificación de áreas con el uso del color propuesto en la imagen anterior y poder obtener las áreas conforme al uso que se le da.

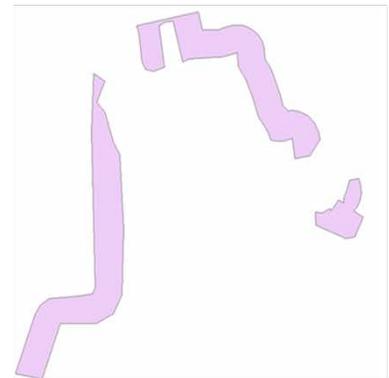
OBTENCIÓN DE ÁREAS



PASO 1



PASO 2



PASO 3

Areas_UHabitacional_Calculat						
OBJECTID *	Shape *	Id	area	Shape_Length	Shape_Area	F_AREA
1	Polygon	0	0	0.024717	0.00001	116269.062959
2	Polygon	0	0	0.022467	0.000008	97282.869381
3	Polygon	0	0	0.006513	0.000002	20075.558012

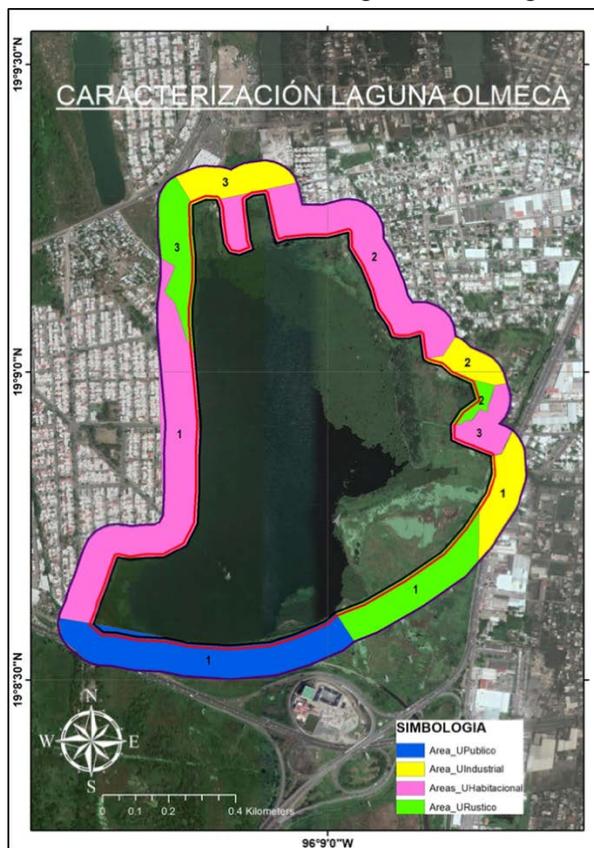
Se obtiene en Arcmap el valor de las áreas y se realiza vaciado en tabla comparativa.

Los cuales descargaremos una tabla como la siguiente:

Creación de tabla de parámetros obtenidos

Tabla de datos laguna Olmeca									
			Ubicación Centroide						
Nombre laguna	Area total	Perimetro	x	y					
Olmeca									
Usos									
Uso habitacional	Area total	Area Z.P.	Area (Z.P. a 100m)	Invaden Z.P.	% de Impacto	Valor impacto	\$/m2 Catastral	\$/m2 Mercantil	\$/m2 Avaluo
Zona H1									
Zona H2									
Zona H3									
Uso Industrial	Area total	Area Z.P.	Area (Z.P. a 100m)	Invaden Z.P.	% de Impacto	Valor impacto	\$/m2 Catastral	\$/m2 Mercantil	\$/m2 Avaluo
Zona I1									
Zona I2									
Zona I3									
Uso Servicios Publicos	Area total	Area Z.P.	Area (Z.P. a 100m)	Invaden Z.P.	% de Impacto	Valor impacto	\$/m2 Catastral	\$/m2 Mercantil	\$/m2 Avaluo
Zona P1									
Usos Rusticos	Area total	Area Z.P.	Area (Z.P. a 100m)	Invaden Z.P.	% de Impacto	Valor impacto	\$/m2 Catastral	\$/m2 Mercantil	\$/m2 Avaluo
Zona R1									
Zona R2									
Zona R3									

Y final mente obtendremos un plano de caracterización de uso de suelos aledaños a la laguna Olmeca como se muestra en la siguiente imagen:



Ya efectuado dicho mapa, se sustenta el análisis especial por medio de un reporte fotográfico el cual nos dice el estado actual de dicha zona. Como lo muestran las siguientes imágenes:



Área de pastizales



Viviendas que al proteger su vivienda invaden



Zonas de recreación y deporte



Rellenos para ganar terreno a la laguna



Asentamientos irregulares los cuales vierten sus desechos la alguna.

Los siguientes valores de impacto se obtuvieron a partir del análisis propuesto por María Andrade Hernández, Guadalupe Morales Abril y Alejandro Hernández Yáñez, en su artículo publicado en The Nature Conservancy de mayo de 1999.

Asignación de valores a los objetos de conservación de las lagunas costeras con base en 4 atributos: contribución, rareza, calidad y valor como herramienta. En el Sistema Laguar Interdunario de la Ciudad de Veracruz.

	Objeto de conservacion	Areas	Contribucion	Rareza	Calidad	VH	Promedio
	LAGUNA OLMECA O REAL	467426.81	4	2	1	4	2.75

Matriz de impactos (Andrade 1999)

Y considerando las puntuaciones para el análisis de sistemas, impactos y sus fuentes, siendo esta una escala geométrica de (West, 1995). Donde el impacto se mide de la siguiente manera.

- 4 = Muy alto
- 2 = Alto
- 1 = Medio
- 0.5 = Bajo

Tenemos que el impacto obtenido en la laguna Olmeca fue de **2.75**, por consiguiente, podemos decir que es **ALTO**.

Por ultimo analizamos el valor de las colonias que colindan con la laguna con la finalidad de obtener el valor del m2 de terreno de la zona, con la finalidad de tener putos comparativos para saber si el paisaje natural se explota de una manera inmobiliaria y se le saca el mejor provecho para su cuidado y aprovechamiento. Recurriendo a los valores proporcionados por la Asociación Mexicana de Profesionales inmobiliarios obtuvios lo siguiente:

	LAGUNA OLMECA O REAL	\$ x m2
c o l o n i a	Laguna Real	\$ 2,550.00
	Enrique C. Rebsamen	\$ 2,250.00
	Articulo 123	\$ 2,250.00
	Cuahutemoc	\$ 1,350.00
	Netzahualcoyotl	\$ 1,350.00
		\$ 1,950.00

Donde podemos observar que el costo del terreno es relativamente muy bajo comparado con los servicios y vistas que presta esta laguna.

Conclusion

Derivado de los análisis presentados se concluye que es La laguna Olmeca esta parcialmente impactada en toda la periferia de la ribera; donde se encuentran los usos rústicos, industrial, municipal y habitacional. Predominando el uso habitacional, ocasionado un impacto de **alto a muy alto**, por lo que es preocupante. Es necesario realizar campañas de reubicación de invasores, limpieza de la ribera, invitaciones a respetar los límites federales por los colonos ya establecidos y con ello obtener una mejor imagen de dicha laguna que sea capaz de prestar servicios diversos y mejorar su valor inmobiliario de la zona. Que como en muchas otras cosas al voltear a ver un valor mayor se pone más entusiasmo y cuidado en preservar.

Señalando que con apoyo de la población, gobierno e iniciativa privada es posible rescatar estas zonas y reconfigurar sus servicios para poder obtener el mayor beneficio de la Laguna Olmeca y a la par conservarla para que siga prestando sus servicios tan necesarios.

Referencias

- Alberto, J. A. (2018). "Geografía y crecimiento urbano. Paisajes y problemas ambientales." *Geográfica digital* 6(11): 1-14.
- Hernández, M. A., Abril, G. M., & Yáñez, A. H. (1999). *Guía de análisis de impactos y sus fuentes en áreas naturales*. Nature Conservancy.
- INEGI (2008). México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía: Recuperado en <https://www.inegi.org.mx/programas/mcs/2008/>
- Jiménez-Orocio, O., et al. (2015). "La investigación científica sobre dunas costeras de México: origen, evolución y retos." *Revista mexicana de biodiversidad* 86(2): 486-507.
- Lang-Ovalle, F. (2018). "Actitud hacia el cambio de uso de suelo en la región golfo centro de Veracruz, México."
- López Portillo, J. A., et al. (2010). "Humedales."
- López Vázquez, D. A. (2019). "Convención de Ramsar: el caso del estado mexicano."
- Moreno Casasola, P. (2008). "Los humedales en México: tendencias y oportunidades."
- Paredes-Lizama, Dora Adriana Estefania¹, Lango-Reynoso, Fabiola^{1*}(2019). "Caracterización de residuos y su impacto en el Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz implementando el análisis espacial" (Tesis de maestría.) Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz
- Pichardo Pagaza, I. (2009). "Responsabilidades municipales en materia ambiental." *Convergencia* 16(49): 291-308.
- Quesada, J. E. (2006). "El cambio de uso de suelo y sus repercusiones en la atmósfera." *Más allá del cambio climático: las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global* (Quesada, J. E., editor). Instituto Nacional de Ecología: 191-193.
- RAMSAR (2005). SUIZA Servicio de Información sobre Sitios Ramsar: Recuperado en <https://rsis.ramsar.org/es/ris/1450>
- Rodríguez, C. J. M. (2018). "El Uso de Suelo y la Resolución Municipal de Ubicación para el control edilicio y actividades: El uso de instrumentos técnicos para el control urbanístico." *Revista Jurídica Ius Doctrina* 11(1).
- Rojas López, C. (2014). "Base técnica para legislar los residuos de construcción en el estado de Veracruz."
- Rossi Guajardo, P. P. (2018). *Plan nacional de protección de humedales 2018-2022*. Comisión de Recursos Hídricos y Desertificación Cámara de Diputados, Ministerio del Medio Ambiente.

Sarabia Bueno, C. d. C., et al. (2004). Sistema lagunar de la ciudad de Veracruz, Mexico: Propuesta de manejo bajo la vision de proyectacion y gestion ambiental, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Programa en Agroecosistemas

Lerner, J. (2003). Acupuntura urbana. Rio de Janeiro: Editora Record.

CADMIO, PLOMO Y ZINC EN EL OSTIÓN *CRASSOSTREA VIRGINICA* DE LA LAGUNA EL CARMEN, TABASCO, MÉXICO

CLARIBEL VENTURA LÁZARO¹, NANCY BRITO MANZANO², PERLA VARGAS FALCÓN³, ARMANDO GÓMEZ VÁZQUEZ⁴

Resumen

En el presente trabajo se empleó al ostión *Crassostrea virginica*, el cual es de gran importancia tanto para el comercio como para el consumo de las comunidades asentadas a lo largo del Golfo de México. El deterioro de las pesquerías del ostión, debidas principalmente a la contaminación ambiental, antropogénica y a la presencia de diversos metales pesados, ocasiona daños a la economía y a la salud de pobladores ribereños dedicados a la producción y captura de este recurso pesquero. Con la finalidad de establecer las concentraciones de cadmio, zinc y plomo encontradas en estos organismos y confirmar su importancia como bioindicadores de contaminación por estos metales, se planteó la realización de este trabajo. 50 ostiones fueron colectados por buceo autónomo mensualmente durante un año y analizados para conocer las concentraciones de metales pesados por cuadruplicado por medio de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La mayor concentración de plomo fue encontrada en los ostiones del banco Yagua 1, con $9.90 \mu\text{g g}^{-1}$, seguida por Ostión largo ($9.64 \mu\text{g g}^{-1}$) mientras que la mínima se reportó en Palma 1 con $8.96 \mu\text{g g}^{-1}$. Con respecto al contenido de Cadmio, las concentraciones se comportaron de manera similar que para el contenido de plomo: Yagua 1 > Ostión Largo > Palma 1. El contenido de Plomo en los tres bancos seleccionados, fue superior a los límites permisibles (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-027-SSA1-1993), mientras que para Cadmio y Zinc en tejido de ostión no existen límites permisibles registrados para conocer el estado de salud de nuestra laguna.

Palabras clave: contaminación, molusco, salud humana

Abstract

In the present work, the *Crassostrea virginica* oyster was used, which is of great importance both for trade and for consumption by the communities settled along the Gulf of Mexico. The deterioration of oyster fisheries, mainly due to environmental

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. nancy.brito@ujat.mx

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

⁴ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

and anthropogenic pollution and the presence of various heavy metals, causes damage to the economy and the health of riverside residents dedicated to the production and capture of this fishing resource. In order to establish the concentrations of cadmium, zinc and lead found in these organisms and confirm their importance as bioindicators of contamination by these metals, this work was proposed. 50 oysters were collected by autonomous diving monthly for a year and analyzed for heavy metal concentrations in quadruplicate by means of Atomic Absorption Spectrophotometry. The highest concentration of lead was found in oysters from the Yagua 1 bank, with $9.90 \mu\text{g g}^{-1}$, followed by long scallops ($9.64 \mu\text{g g}^{-1}$), while the minimum was reported in Palma 1 with $8.96 \mu\text{g g}^{-1}$. With respect to the content of Cadmium, the concentrations behaved in a similar way to that for the content of lead: Yagua 1 > Ostión Largo > Palma 1. The content of Lead in the three selected banks was higher than the permissible limits (NOM-001 -ECOL-1996 and NOM-027-SSA1-1993), while for Cadmium and Zinc in oyster tissue there are no registered permissible limits to know the state of health of our lagoon.

Keywords: contamination, mollusc, human health

Introducción

El desarrollo tecnológico, el crecimiento poblacional y la industrialización son factores que contribuyen a que ingresen al ambiente, de manera continua un gran número de sustancias tóxicas, dichos contaminantes tóxicos son aquellas formas de materia que exceden las concentraciones naturales en un sistema y causa impactos negativos en el medio ambiente, entre estos contaminantes tenemos los pesticidas, aceites y grasas, y los metales pesados (Hart y Fuller, 1974). De estos contaminantes los metales pesados son elementos químicos que el hombre no crea ni destruye, son constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua. Sin embargo, el papel que el hombre ha desempeñado en la presencia ambiental de metales es, por una parte, introducir en el medio ambiente estos elementos como consecuencia de las distintas actividades humanas y, por otra, alterar la forma química o bioquímica en que se encuentran (Moreno, 2003).

La estimación de las concentraciones naturales y de los aportes realizados por los asentamientos aledaños a los cuerpos de agua, nos permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Para ello, es necesario analizar tanto la columna de agua, como los sedimentos y los organismos, especialmente aquellos de hábitos bentónicos y filtradores los cuales han sido extensamente empleados como indicadores de contaminación. Los moluscos bivalvos, como organismos filtradores, son capaces de concentrar en sus tejidos distintos contaminantes del ambiente que los rodea debido al proceso de bioacumulación (Zuykov, Pelletier y Harper, 2013). Entre estos contaminantes se puede mencionar los metales pesados. Dichos contaminantes son adquiridos a través de la cadena alimenticia y son

potencialmente peligrosos para el ser humano. Es por esto que aquellos que representan un peligro comprobado para el consumidor, como el Plomo, Cadmio y Mercurio; están estrictamente regulados por la Unión Europea y los Estados Unidos (Abdallah, 2013).

La cosecha y cultivo de ostiones en México, y particularmente en la región del Golfo, se lleva a cabo en áreas no certificadas que están expuestas a contaminación antropogénica y contaminación (Wong-Chang y Barrera-Escorcía 2005). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb y Zn) en tejidos del ostión *Crassostrea virginica*, en la laguna El Carmen del estado de Tabasco.

Materiales y métodos

El trabajo se llevó a cabo durante un año, cada mes se recolectaron al azar 50 ostiones en cada uno de los tres bancos (Yagua 1, Palma 1 y Ostión Largo) seleccionados de la laguna El Carmen en Tabasco. Los bancos fueron seleccionados en virtud de que son los principales productores de ostión en dicha laguna, según comentarios de los pescadores de la Cooperativa Sánchez Magallanes (que extraen ostiones de dicha laguna), debido a que no existen registros oficiales de la producción ostrícola por bancos y debido a características como su permanencia y abundancia a lo largo de todo el año.

Para su preservación se tomó como base la norma 3052 de la EPA que indica que las muestras se deben de mantener a una temperatura de $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, con una duración de no más de 6 meses, por lo cual dichos organismos fueron transportados en hieleras hasta el laboratorio de Calidad del Agua de la DACA-UJAT.

Preparación del Material

Con el propósito de eliminar cualquier tipo de interferencias que puedan alterar los resultados en los análisis, sobre todo cuando se van a determinar concentraciones muy bajas de metales pesados (metales traza), todo el material que se utilizó para el análisis de metales se lavó previamente con soluciones de ácido clorhídrico 2N y ácido nítrico 2N, manteniéndolo durante un día en cada uno de los ácidos y posteriormente se enjuagó el material con agua desionizada. Por último, se dejaron secar en un ambiente cerrado libre de polvo, una vez seco el material se guardó en bolsas de plástico para su posterior uso; de acuerdo a las recomendaciones técnicas de Moody y Lindstrom (1977).

La preparación del material empleado en el laboratorio, se realizó bajo las especificaciones para el análisis de metales pesados NOM-117-SSA1-1994 y NOM-242-SSA1-2009 (Diario Oficial, 2011), que establece el método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

Análisis de las muestras de organismos

Los 150 ostiones (50 por banco) se separaron individualmente y fueron limpiados con cepillos de mano de cerda gruesa y enjuagados con agua limpia, posteriormente se desconcharon empleando cuchillos ostioneros, para separar la concha del tejido blanco; una vez que fueron abiertos los organismos, el tejido blando fue colocado en crisoles con el objetivo de pesarlos y después secarlos en una estufa bacteriológica a 70°C por 48 h hasta obtener peso constante. Una vez secas, las muestras se pulverizaron en morteros de porcelana.

Posteriormente se pesó 1 g de peso seco en una balanza analítica, colocándolas en matraces micro kjeldahl de 30 ml a los cuales se le agregó ácido nítrico (HNO₃) y ácido perclórico (HClO₄) en una proporción de 6:3 dejándolos tapados con papel parafilm por 12 h a temperatura ambiente para la pre-digestión, con el fin de destruir la muestra orgánica por oxidación. Transcurrido el tiempo, las muestras se colocaron en un digestor iniciando a 100°C rotando el matraz para lavar las paredes de todo residuo orgánico, la temperatura se fue aumentando gradualmente hasta llegar a 210°C de manera que la mezcla llegue a estado de ebullición, por 2 h, tiempo en el que finalmente se obtuvo una solución clara.

Una vez concluido el digestado, los matraces se dejaron enfriar a temperatura ambiente y luego las muestras fueron transferidas a matraces aforados con un volumen de 25 ml lavándolas con agua desionizada para posteriormente aforar a 25 ml. Todas las soluciones obtenidas de las diferentes digestiones se guardaron en el refrigerador para su posterior lectura al espectrofotómetro de absorción atómica con llama de aire-acetileno. A fin de estabilizar el equipo de absorción atómica de acuerdo a sus especificaciones técnicas, tales como el flujo de aire, gas acetileno, altura del quemador, ancho de ranura y longitud de onda de la lámpara empleada para cada metal. Pasado el tiempo de estabilización se procedió a introducir los estándares certificados, los cuales se elaboran a concentraciones conocidas con el fin de obtener las curvas de calibración, En éste proceso, por cada cinco muestras se analizó un blanco reactivo y cuatro repeticiones. Para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica se utilizaron estándares certificados marca EICCA CHEMICAL Company de 1000 µl/ml los cuales son trazados a un estándar NIST, para realizar la curva de calibración a cada uno de los metales analizados.

Análisis estadístico

Un análisis de varianza (ANOVA) fue usado para determinar si las concentraciones promedio de metales pesados durante los meses seleccionados fueron diferentes significativamente. La prueba de Cochran's fue usada para probar la homogeneidad de las varianzas y posteriormente, una prueba de Tukey se empleó para determinar cuáles medias fueron diferentes. El programa estadístico *STATISTICA* fue

empleado para los análisis estadísticos. El nivel de significancia empleado fue $P < 0.05$ (Prieto Valiente and Herranz Tejedor 2010).

Resultados y discusión

El contenido de metales pesados (Pb y Cd) encontrados en el ostión proveniente de los tres bancos seleccionados durante el año de estudio se presenta en la figura 1. El rango de concentración del Plomo fue 8.96 a 9.90 $\mu\text{g g}^{-1}$. El cadmio fue el metal que registró la menor concentración, aunque no presentó diferencia significativa con el plomo.

El plomo es un metal importante, ya que su consumo puede ser causa de perturbación en la síntesis de hemoglobina, además de favorecer la anemia, trastornos del sistema nervioso, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones y abortos, entre otros (Wright, 2002). La NOM-027-SSA1-1993 establece que 1 ppm es el límite máximo permisible de Pb en bivalvos de consumo. Los valores detectados en el presente trabajo muestran que la concentración de plomo es superior al límite máximo permisible por la norma. El contenido máximo de Pb registrado en este trabajo (9.90 $\mu\text{g g}^{-1}$) fue superior al registrado por Navarrete-Rodríguez, Castañeda-Chávez y Lango-Reynoso (2013) (0.001 $\mu\text{g g}^{-1}$), para la misma especie en el complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal del estado de Tabasco y por Miramontes-Flores, Brito-Manzano, Vargas-Falcón, Gómez y Aldana (2019) para la Laguna Machona en el estado de Tabasco (0.009 y 0.010 $\mu\text{g g}^{-1}$).

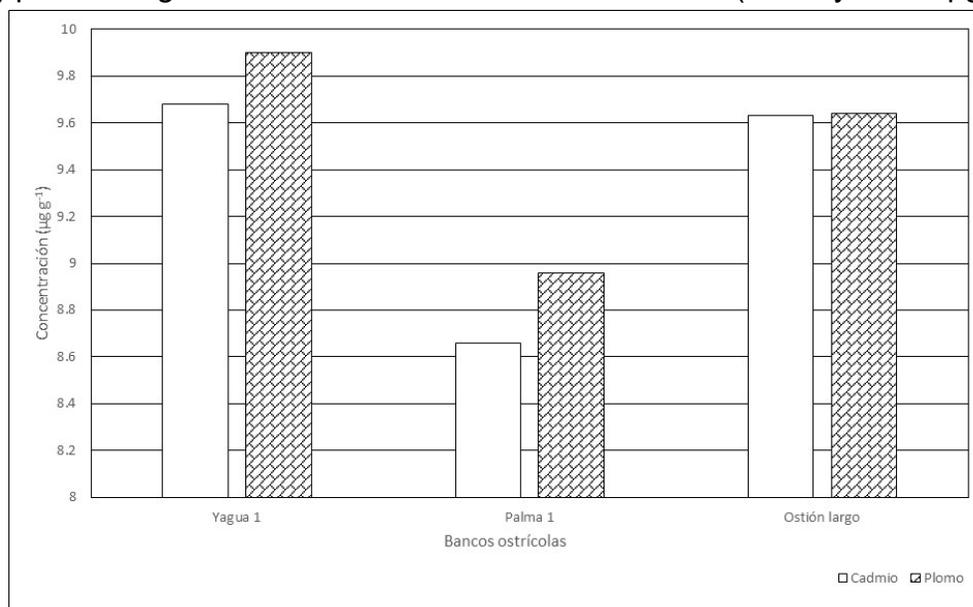


Figura 1.- Contenido de Cadmio y Plomo en los bancos ostrícolas de *Crassostrea virginica* en la laguna El Carmen, Tabasco.

Wright (2002) señala que el consumo de Cd puede ser causa de diversos problemas en el ser humano (diarreas, vómitos severos, fractura de huesos, sistema nervioso central, inmune, desórdenes psicológicos, y cáncer). Las normas oficiales mexicanas (NOM-001-ECOL-1993 y NOM-027-SSA1-1993) establecen que el límite máximo permisible de cadmio en bivalvos de consumo no debe exceder a 0.5 ppm. Los valores detectados en el presente trabajo demuestran que las concentraciones de cadmio en el ostión (8.66 a 9.68 $\mu\text{g g}^{-1}$) son superiores a los límites máximos permisibles por estas normas. Los valores de Cd en el tejido de ostión de la laguna de El Carmen reportados por Vargas-Falcón, Brito-Manzano, Miramontes, Gómez y Cruz (2018) son inferiores a los presentes en el mismo ostión y de la misma laguna, cuyo valor fluctuó entre 8.49 y 8.56 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Cuadro 1).

La concentración del Zn osciló entre 327.32 a 478.35 $\mu\text{g g}^{-1}$, máximo y mínimo, respectivamente. Valores que resultaron ser inferiores comparados con los obtenidos por Guzmán-Amaya, Villanueva y Botello (2005), quienes reportan para la laguna Tamiahua 156.85 $\mu\text{g g}^{-1}$, Brito-Manzano, De la cruz-Lázaro y López-Noverola (2016) en la laguna Mecoacán con la misma especie (330.89 a 545.46 $\mu\text{g g}^{-1}$) y por Vargas-Falcón *et al.* (2018) en la misma laguna y en los mismos bancos ostrícolas (427.32 a 469.22 $\mu\text{g g}^{-1}$)(Cuadro 1).

Al realizar la comparación del contenido de cada uno de los metales pesados, se encontró que de manera general Yagua 1 presentó las mayores concentraciones de Pb y Cd y que fueron significativamente diferentes del contenido encontrado en Palma 1 ($F= 5.37$, $p < 0.01$). En cuanto al contenido de Zn, Palma 1 fue el banco que presentó las mayores concentraciones, aunque no fueron significativamente diferentes del contenido encontrado en Palma 1, mientras que Ostión Largo presentó el valor más bajo de este metal.

Cuadro 1.- Datos de la literatura sobre el contenido de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* de importancia comercial en diferentes lagunas del Golfo de México.

Laguna	Mes	Contenido de Metales ($\mu\text{g g}^{-1}$)			Autor
		Zn	Pb	Cd	
Alvarado, Veracruz	marzo a sept.	145.82	9.05		Guzmán-Amaya <i>et al.</i> 2005
Mandinga, Veracruz		159.81	13.17		
Tamiahua, Veracruz		156.85	21.42		
Alvarado, Veracruz	Enero	973.6	8.55		Vázquez-Sauceda <i>et al.</i> 2005
	Abril	837.40	3.90		
	Mayo	1134.65	5.15	2.27	
	agosto	838.6	6.35		
	septiembre	885.25	5.7		
La Mancha, Veracruz	diciembre	747.60	9.6		Aragón-López 2009
	Enero	1023.00	9.40	0.6	
	Abril	1302.00	5.70	0.3	
	Mayo	971.00	5.40	0.6	
	agosto	1162.00	2.50	1.1	

	septiembre	1038.00	7.20	1.1	
	diciembre	872.20	7.0	0.6	
Tamiahua, Veracruz	enero a julio	----	0.22 0.36	10.70	Lango-Reynoso <i>et al.</i> 2010
Carmen-Machona- Pajonal, Tabasco	nov (2010)-may (2011)	----	1.001	2.33	Navarrete-Rodríguez <i>et al.</i> 2013
Carmen, Tabasco	ene-dic	386.08	9.14	----	De la cruz-Ábalos <i>et al.</i> 2014
Machona, Tabasco	ene-dic	423.76	9.96	8.87	Vargas-Falcón <i>et al.</i> 2018
Machona, Tabasco	ene-dic	----	9.40	----	Miramontes-Flores <i>et al.</i> 2019
Mecoacán, Tabasco	jun-dic	432.99	9.00	8.19	Álvarez-Díaz <i>et al.</i> 2021
El Carmen, Tabasco	ene-dic	409.87	9.50	9.32	Este trabajo

Conclusión

Los niveles de metales pesados registrados en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna Carmen, se encuentran por arriba de los límites permisibles establecidos por la NOM-031SSA1-1993 y por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos). Debido a que los niveles de metales pesados encontrados en ostiones *Crassostrea virginica* de la laguna Carmen, Tabasco, fueron elevados, se considera que pueden representar un riesgo para la salud humana si son consumidos crudos.

Referencias

- Abdallah, M. A. M. (2013). Bioaccumulation of heavy metals in mollusca species and assessment of potential risks to human health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90(5), 552–557.
- Álvarez Díaz, T., Brito-Manzano, N., Vargas-Falcón, P. y Gómez-Vázquez, A. (2021). Metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* de la laguna Meocacán, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 19-26.
- Aragón-López, R. 2009. Metales pesados en organismos acuáticos en los sistemas lagunares La Mancha y Alvarado en Veracruz, México. Ms.Sc. Thesis. Instituto de Ingeniería. Universidad Veracruzana. 106 pp.
- Brito-Manzano N., De la cruz Lázaro E. y López Noverola, U. (2016). determinación de metales pesados (pb, cr, zn y cu) en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna Meocacán en Tabasco, México. En: W.M. Contreras-Sánchez W, Chablé Falcón F y Ángulo Pineda R. (Eds). *Perspectiva Científica desde la UJAT*. Villahermosa, Tabasco, México. pp. 18-24.
- De la Cruz-Ábalos, M, Brito-Manzano, N, Miranda Cruz, E. y López Noverola, U. (2014). Determinación de metales pesados (Pb, Cr, Zn y Cu) en el ostión *Crassostrea virginica* en los principales bancos ostrícolas de la laguna Machona en Tabasco, México. *GCFI*, 67, 313-317.
- Guzmán Amaya, P., Villanueva, F.S. y V. Botello, A. (2005). Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. P 361-372. In: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) *Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. Nal. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Hart C. y S. Fuller. (1974). *Pollution Ecology of Freshwater invertebrates*. Academic Press Inc. 389 pp.
- Lango-Reynoso, F., Landeros-Sánchez, C., and Castañeda-Chávez, M.R. 2010. Bioaccumulation of cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamihua lagoon system, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 26 (3) 201-210.
- Miramontes-Flores, J. Brito-Manzano, N., Vargas-Falcón, P., Gómez Vázquez, A. y Aldana Aranda, D. (2019). Determinación de cobre, cromo y plomo en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna Machona en Tabasco, México. En: M. Perera-García (Comps). *Biotechnología en Ciencias Agropecuarias*. Villahermosa, México: UJAT. pp 69-82.

- Moody J. R. y R. M. Lindstrom. (1977). Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analitical Chemistry*, 49, 2264-2267.
- Navarrete-Rodríguez, G., Castañeda-Chávez, M.R. y Lango-Reynoso, F. (2013). Metales pesados en pesquerías de las lagunas Carmen-Machona, Tabasco. Evaluación de metales pesados en recursos pesqueros del complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco. Deutschland, Alemania. Ed. Académica Española.
- Prieto Valiente, L. y Herranz Tejedor, I. (2010). *Bioestadística sin dificultades matemáticas*. Madrid, España. Ed. Díaz de Santos.
- Vargas-Falcón, P., Brito-Manzano, N., Miramontes Flores, J., Gómez Vázquez, A. y Cruz Hernández, A. (2018). Determinación de Cd, Pb y Zinc en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna El Carmen, Tabasco, México. *GCFI*, 70, 1-14.
- Vázquez-Sauceda, M.L., Aguirre-Guzmán, G, Pérez-Castañeda, R., Rábago-Castro, J. y Genaro Sánchez, J. 2005. Contenido de Cadmio y Plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna de San Andrés Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y Mar* 27:3-9.
- Wright, J. (2002). *Environmental Chemistry*. United Kingdom: Routledge Publisher.
- Wong-Chang, I. y Barrera-Escorcía, G. (2005). Estado actual de la contaminación microbiológicas en el Golfo de México. En: *Golfo de México. Contaminación e impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias*. pp- 69-76. (A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot and C. AgrazHernández, Eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad. Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología.
- Zuykov, M., Pelletier, E., y Harper, D. A T. (2013). Bivalve mollusks in metal pollution studies: From bioaccumulation to biomonitoring. *Chemosphere*, 93(2), 201–208.

NIVEL DE ACIDEZ DE LA LLUVIA EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ – BOCA DEL RÍO

DÁMARIS RASGADO GÓMEZ¹, ARTURO GARCÍA SALDAÑA², MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ³, IRVING PÉREZ LANDA⁴, ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN⁵

Resumen

El presente trabajo estudia la lluvia ácida y cómo, a través de los años, pasó de ser un problema focalizado en determinadas áreas a convertirse en un efecto dañino a nivel global. La lluvia ácida está ligada con la alta producción de H_2SO_4 o H_2CO_3 donde al mezclarse con la condensación del cielo, hace que éstas se precipiten con niveles ácidos. Se exponen los resultados obtenidos de la temporada Mayo – Septiembre 2021. El rango de pH promedio fue entre 4.55 y 5.10, presentándose los más concentrados de acidez a partir de junio y hasta septiembre; mientras que en mayo, a pesar de ser una diferencia mínima, presentó el valor promedio más bajo en pH. Los niveles presentados en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río, muestran una tendencia a la acidez en el agua de lluvia al precipitarse, por lo que se concluye que la acidez en los niveles de pH del agua de lluvia están ligadas a la actividad industrial y turística en la zona. Es por eso que el objetivo de este trabajo fue identificar el nivel de acidez que presenta el agua de lluvia en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río.

Palabras clave: Lluvia ácida; precipitaciones ácidas; niveles de acidez; costas; producción de H_2SO_4

Abstract

The present research studies acid rain and how, over the years, it went from being a problem focused on certain areas to becoming a harmful effect on a global level. Acid rain is linked to the high production of H_2SO_4 or H_2CO_3 where, when it mixes with the condensation from the sky, it causes them to precipitate with acidic levels. The results obtained from the May - September 2021 season are exposed. The mean pH range was between 4.55 and 5.10, with the most concentrated acidity from June to September; while in May, despite being a minimal difference, it presented

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12. C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

² Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12. C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. asaldana@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12. C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

⁴ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12. C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

⁵ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12. C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

the lowest average value in pH. The levels presented in the Veracruz - Boca del Río metropolitan area show a tendency to acidity in rainwater when precipitating, for which it is concluded that acidity in the pH levels of rainwater are linked to industrial activity. and tourist in the area. That is why the aim of this research was to identify the acidity level of rainwater in the Veracruz - Boca del Río metropolitan area.

Keywords: Acid rain, acid rain fall, acidity levels, coastal, H₂SO₄ production.

Introducción

La lluvia ácida consiste en precipitaciones en forma de lluvia cuyas concentraciones de ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido nítrico (HNO₃) y ácido carbónico (H₂CO₃) son más altas de lo habitual (Granados *et al.*, 2010). Es un fenómeno natural con alteraciones antropogénicas ligado a la alta producción del consumo de combustibles fósiles y de ciertas prácticas agrícolas. Depende, principalmente, de las combustiones que liberan óxido de azufre y de nitrógeno (Gárces y Hernández, 2004). La lluvia es modificada por alteraciones antropogénicas; por lo que, al precipitarse en la Tierra, genera daños en la fauna, la flora, la salud humana e incluso en los edificios, esto debido a los niveles de acidez que caen en ellos (Gárces y Hernández, 2004).

Por otra parte, los contaminantes atmosféricos, provienen de dos tipos de fuentes: las fuentes móviles (como el tráfico) y las fuentes fijas de combustión (como las industrias, las casas y algunos procesos de eliminación de residuos). Éstos se pueden distinguir como contaminantes primarios y secundarios (Ballester, 2005).

La zona conurbada Veracruz – Boca del Río es fluctuante en cuanto a su temporada de lluvias, por eso es importante conocer los niveles de acidez que hay en la lluvia que se precipita en esta zona debido a que ejerce influencia en las construcciones y en los cuerpos de agua de esta. En la zona se tiene poco conocimiento de monitoreos acerca de este fenómeno. Ariza *et al.* (2013) fabricaron muestreadores para SO₂ para determinación de sulfatos en la atmosfera, por el método de platos de sulfatación (vía húmeda).

El objetivo de este trabajo fué identificar el nivel de acidez que presenta el agua de lluvia en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río, así como registrar los eventos de lluvia en la zona conurbada Veracruz - Boca del Río.

Materiales y Métodos

En la figura 1, 2 y 3 se ilustra cada una de las fases y etapas que conforman el desarrollo metodológico de la investigación que se llevó a cabo en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río.



Figura 1. Fase preliminar Fuente: Propia (2021)



Figura 2. Fase experimental Fuente: Propia (2021)



Figura 3. Fase de procesamiento e interpretación de resultados Fuente: Propia (2021)

A continuación, se sintetizan las fases que fueron parte del proyecto para determinar el nivel de acidez en el agua de lluvia en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río.

1. Fase preliminar:

Para esta fase se realizó la compilación de los elementos que formaron la investigación.

1.1. *Inventario de la información*: El colector que se utilizó, fue construido en el programa de maestría de ingeniería ambiental (García, 2019). Con este instrumento se midió el pH. Emplea una sonda incorporada al sistema electrónico, a su vez almacena, mediante una memoria SD, los datos que se recolectaron durante el tiempo transcurrido de la precipitación. Se establecieron los puntos de muestreo, realizando un reconocimiento de la zona conurbada acerca de las principales actividades antropogénicas, con lo cual, se ubicó la instalación del colector en las zonas más cercanas a actividades industriales o de tipo turístico.

2. Fase experimental:

A partir de la fase 2.1, se hace un reconocimiento de las principales actividades antropogénicas de la zona, donde se eligen las zonas aledañas a industrias o actividades turísticas más representativas para ubicar los colectores. Los criterios de selección de puntos de zona fueron:

- **Accesibilidad**: Que la zona fuera de fácil acceso, protegido por personal de confianza para evita el robo y evitar derrames del agua de lluvia.
- **Personal de confianza**: Que la persona encargada de resguardar la muestra conozca el proyecto y cuide de ésta hasta su recolección.
- **Área protegida**: Que la zona se encuentre resguardada por el personal de confianza para evitar contaminación de las muestras.

2.2 *Muestreo y obtención de datos*

Se distribuyeron de diez puntos estratégicos, de la zona conurbada, el colector principal y colectores secundarios. Las tomas de muestra se recolectaron de mayo a septiembre del 2021.

El colector principal, fue diseñado, previamente, en el Instituto Tecnológico de Boca del Río. Emplea un sistema de control automatizado del tipo ON-OFF de lazo cerrado, para el control de la apertura y cierre de la tapa. Usa el microcontrolador del sistema Arduino Mega. Para la medición del PH, se utilizó un controlador tipo proporcional (P). La implementación permitió recopilar datos de lluvia ácida. Dicho sistema cuenta con baterías recargables para asegurar su movilidad y así obtener la información instantáneamente en cada monitoreo. Para contener resguardado todos los componentes, se construyó una estructura y un gabinete de acero inoxidable grado 304 opaco para evitar la corrosión del sistema. El sensor de acidez se calibró con soluciones de calibración (buffers) neutro (7) y ácido (4). Los niveles de acidez medidos se almacenaron en una memoria SD (García, 2020). Las Figuras 4, 5 y 6 muestran el colector principal.

El pH se midió *in situ* con la sonda de medición del colector.

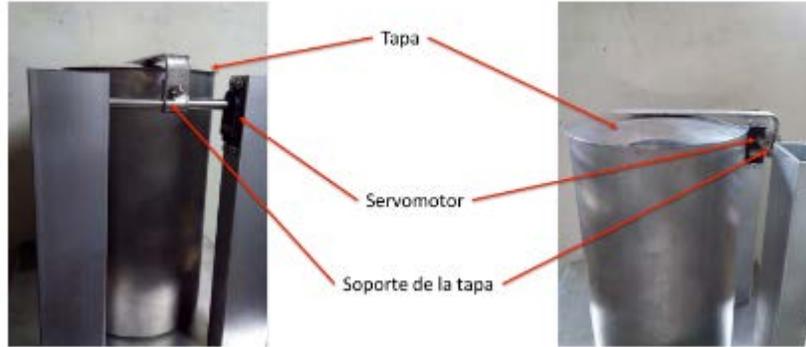


Figura 4. Sistema mecánico de captación. *Fuente: García (2020).*

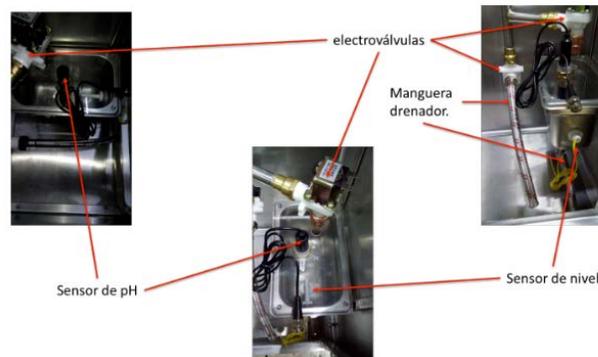


Figura 5. Estructura interna del dispositivo. *Fuente: García (2020).*



Figura 6. Estructura externa del dispositivo. *Fuente: García (2020).*

3. Fase de procesamiento y análisis de la información:

3.1. Análisis descriptivo

- Caracterización de parámetros meteorológicos

Se caracterizaron los parámetros meteorológicos: precipitación, humedad relativa y temperatura media. El análisis de estas variables se realizó a través de Microsoft® Excel (Figura 7, 8, 9 y 10). Los datos se basan en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora desde el 1 de enero de 2021 hasta el 30 de septiembre de 2021 (WeatherSpark, 2021).

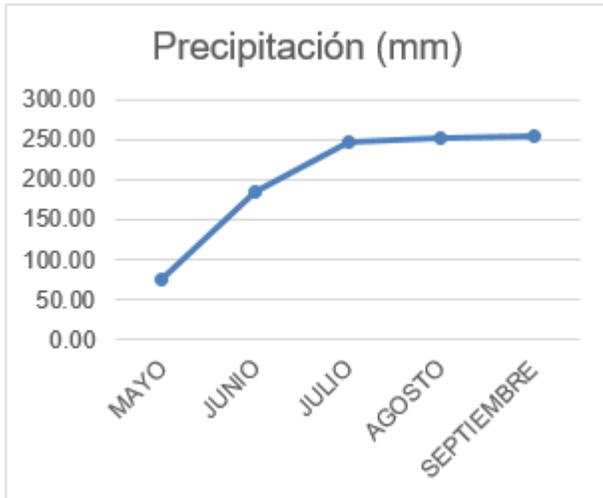


Figura 7. Promedio de precipitación en mm.
Fuente: WeatherSpark (2021)

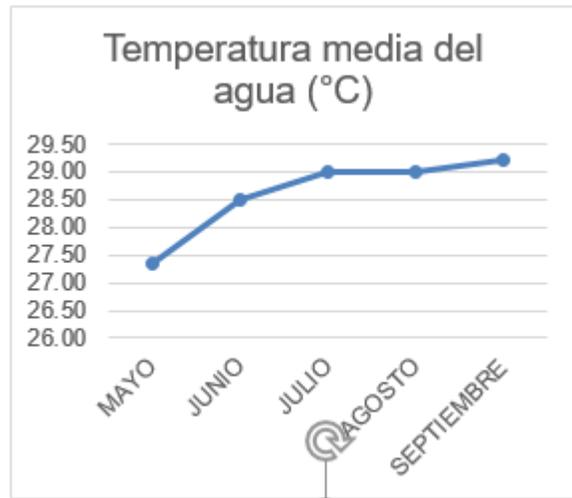


Figura 8. Promedio de temperatura media del agua(°C). Fuente: WeatherSpark (2021)

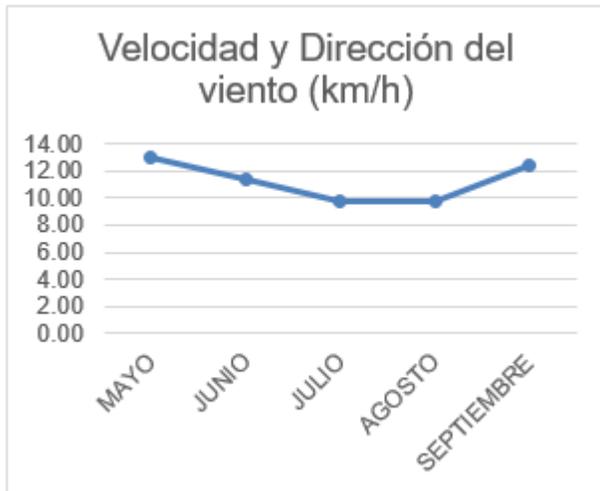


Figura 9. Promedio de velocidad y dirección del viento (km/h).
Fuente: WeatherSpark (2021)

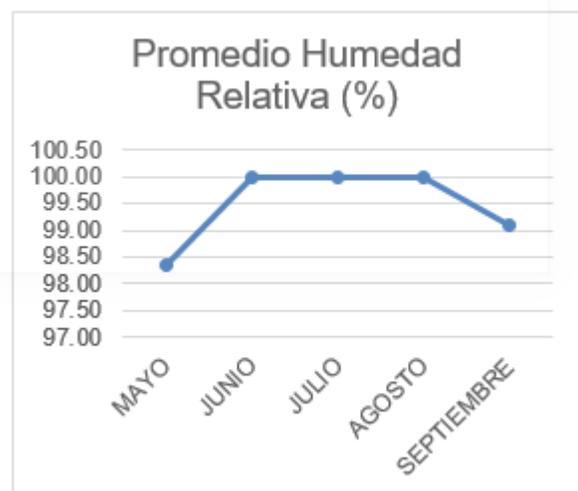


Figura 10. Promedio de humedad relativa (%).Fuente: WeatherSpark (2021)

La figura 11, ilustra la ubicación y distribución de los colectores para el muestreo de agua de lluvia, el mapa se creó con el programa ArcGis® Versión 10.8 una vez delimitada el área y obtenido las coordenadas.

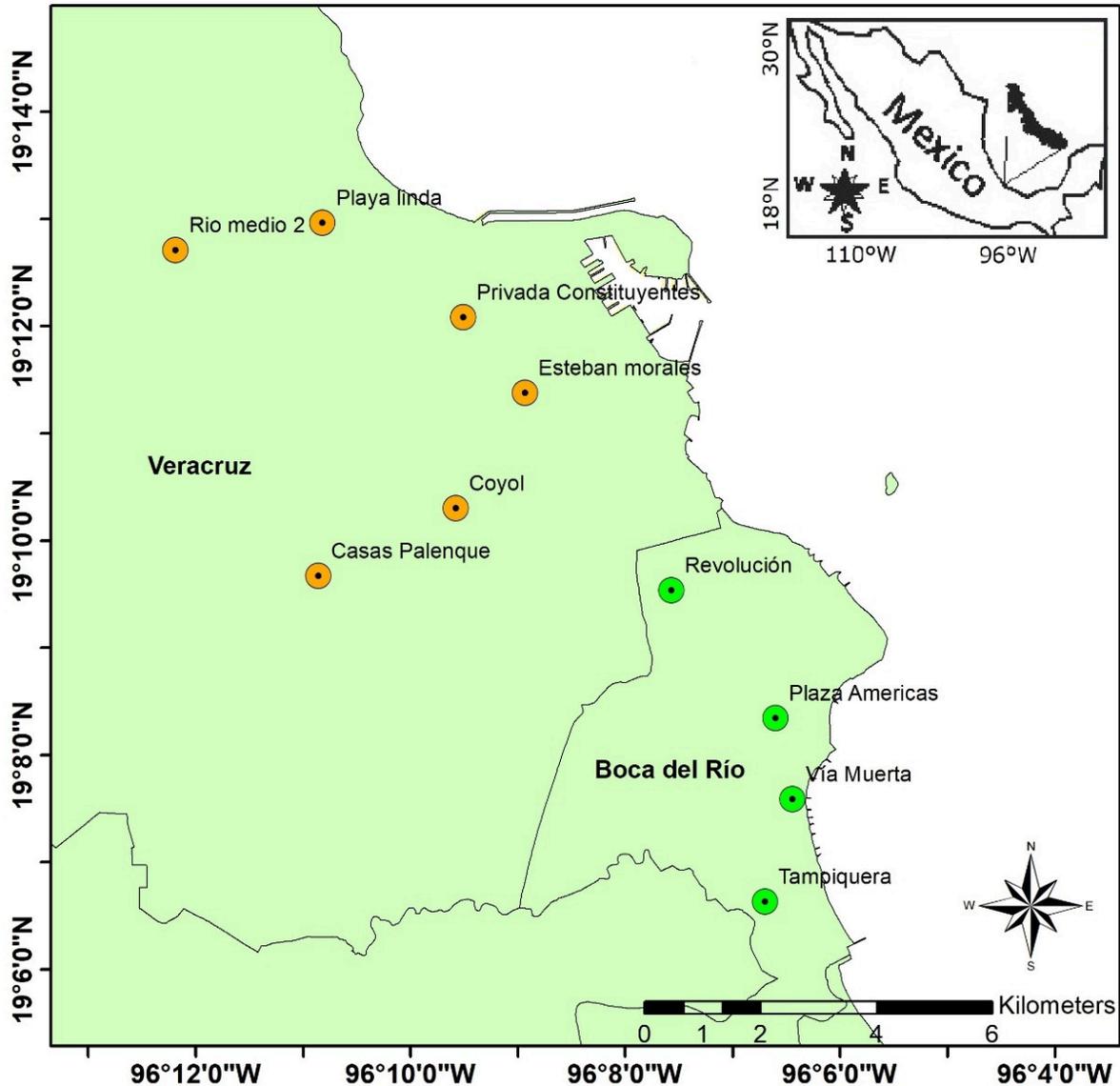


Figura 11. Mapa de zona conurbada Veracruz – Boca del Río mediante ArcGis
Fuente: Propia (2021)

3.2. Análisis comparativo

Se establecieron las posibles relaciones existentes entre el pH medido y analizado durante la investigación y los parámetros meteorológicos.

3.3 Generación de resultados

Las estructuras de piedra y metálicas pueden sufrir debido a la lluvia ácida. Con base en los resultados obtenidos, se creará una base local para generar futuros mapas de distribución espacial y sus valores promedio en cuanto a pH. De igual manera podemos establecer valores máximos y mínimos e incluso una desviación estándar para futuros estudios.

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados, los análisis y las correlaciones tomando en cuenta el pH medido en el sitio y la base meteorológica histórica correspondiente al periodo comprendido de mayo a septiembre de 2021.

- **Análisis meteorológico. Lugar de estudio**

Para este apartado, se utiliza la base histórica del periodo del análisis en el estado de Veracruz, esto corresponde a; precipitación, promedio humedad relativa, temperatura media del agua y humedad. El clima de la zona conurbada Veracruz – Boca del Río se considera caliente – templada, el promedio de lluvia total anual es de 203 mm. El periodo de lluvias comprende de dos fenómenos, lluvias y ciclones tropicales, este año siendo proyectadas del 1 de junio al 30 de noviembre de 2021 (PC, 2017). La temperatura promedio del agua fue de mayo a septiembre de 28 °C. La humedad relativa promedio del aire oscila entre 98 % al 100 % en el mismo periodo de tiempo, siendo los meses de junio, julio y agosto los más húmedos (WeatherSpark, 2021).

- **Análisis parámetro pH**

El 15 de mayo de 2021, se dio inicio a la recolección en los diez puntos seleccionados, con el fin de determinar la acidez en el agua de lluvia que cae sobre la zona conurbada. En el Cuadro 1, se establecen los criterios seleccionados para el reconocimiento de la acidez en la lluvia con base en su pH. La escala de pH, es una unidad de medida que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución y con esto, conocer la acidez y la alcalinidad en ella. A menor pH de una solución o sustancia (menos de 7), es más ácida. A mayor pH de una solución o sustancia (mayor a 7), es más alcalina. La lluvia tiene un pH aproximado de 5.6; es ligeramente ácido porque el dióxido de carbono (CO₂) disuelto en el pH y forma ácidos carbónicos débiles. La lluvia ácida suele tener un pH aproximadamente ≤ 4.3 y 4.7 (EPA, 2020). (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación del agua de lluvia de acuerdo con el pH. *Fuente: Instituto de Hidrología (2016)*

pH	Clasificación de la lluvia
pH > 5.6	Lluvia no ácida
4.7 < pH ≤ 5.6	Lluvia ligeramente ácida
4.3 < pH ≤ 4.7	Lluvia medianamente ácida
pH ≤ 4.3	Lluvia fuertemente ácida

Cualquier suelo cuyo pH sea menor a 7 es considerado alcalino. Sin embargo, no todos los suelos alcalinos presentan las mismas características. En suelos alcalinos de zonas áridas y semiáridas predominan los sulfatos y carbonatos, debido a la baja precipitación que disminuye su lixiviación lo que provoca una acumulación de bases como: calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) (Carrow y Duncan, 2011).

A continuación, se muestran los valores correspondientes a pH y su análisis estadístico registrados en el experimento.

Cuadro 2. Valores estadísticos de pH. *Fuente: Propia (2021).*

Parámetro	Estadística	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	Media	4.58	4.51	4.74	4.55	4.81	4.96	4.87	5.10	4.82	4.78
	Desviación estándar	0.06991	0.05592	0.13872	0.0326	0.04129	0.1501	0.02516	0.19787	0.16554	0.036398
	Mínimo	4.45	4.44	4.44	4.52	4.76	4.90	4.83	4.72	4.47	4.75
	Máximo	4.61	4.56	4.76	4.60	4.87	5.28	4.90	5.23	4.88	4.85

Los valores de pH muestran un comportamiento similar en los diez puntos de recolección y durante el periodo de muestreo. El rango de pH se mantuvo entre 4.55 y 5.10, presentándose los más concentrados de acidez a partir de junio y hasta septiembre; mientras que, en mayo, a pesar de ser una diferencia mínima, presentó el valor promedio más bajo en pH, esto puede atribuirse a las primeras lluvias del periodo de ciclones y lluvias.

Las diferencias entre los meses monitoreados no son significativas. Sin embargo, se determinó que por los valores alcanzados se presentó el fenómeno de lluvia ligeramente ácida a lluvia medianamente ácida. La desviación estándar muestra datos homogéneos pues los valores en ningún caso son mayores a 1 (Cuadro 2).

Conclusiones

Conocer las precipitaciones de acidez de pH que existen en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río, ayuda a focalizar los problemas que podrían estar afectando a este fenómeno de lluvia y buscar medidas de mitigación. La evaluación del pH en la zona conurbada Veracruz – Boca del Río, asociadas a las variables climatológicas, a partir de mayo, en cuanto comienza el periodo de lluvias, la acidez en las precipitaciones, se hace presente. Por lo anterior, se deduce que el fenómeno de lluvia ácida se encuentra presente en la zona. Los pocos eventos de lluvia comienzan a mediados de mayo, por lo que éste influyó en niveles menos ácidos respecto al comportamiento fisicoquímico del agua de lluvia. Posterior a ello, en junio, comienzan a aumentar las concentraciones de pH.

Referencias

- Ariza, L. E., Cervantes, J., Cano, I., & Acosta, A. (2013). Mediciones de lluvia ácida en el campus Mocambo-UV y municipio de Boca del Río, Ver. Retrieved from <https://docplayer.es/40504884-Mediciones-de-lluvia-acida-en-el-campus-mocambo-u-v-y-municipio-de-boca-del-rio-ver.html>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española Salud Pública*, 159-175. Retrieved from http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200005&lng=es&tlng=es.
- Carrow, R. N., & Duncan, R. R. (2011). *Best management practices for saline and sodic turfgrass soils: Assessment and reclamation*. Boca Ratón: CRC Press.
- EPA. (2020). What is Acid Rain? Retrieved from <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain>
- Gárces, L. F., & Hernández, M. L. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 67-72. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>
- García, J. (2020). Diseño de un sistema automatizado de recolección de agua de lluvia para la medición de su acidez. (Master Degree), Instituto Tecnológico de Boca del Río, <https://drive.google.com/file/d/1GS2UadAhizD-xkbioW1IECKBkMplqmoR/view>.
- Granados, D., López, G. F., & Hernández, M. A. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 187-206. doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- Instituto de Hidrología, M. y. E. A. (2016). Generalidades de la lluvia ácida. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-lluvia-acida>
- PC. (2017). *Calendario de Temporadas y Fenómenos Meteorológicos para el Estado de Veracruz*. Gobierno de Veracruz.
- WeatherSpark. (2021). El clima y tiempo promedio en todo el año en Veracruz. Retrieved from <https://es.weatherspark.com/y/8657/Clima-promedio-en-Veracruz-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>

ASPECTOS RADIOLOGICOS EN EL AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO

JORGE ALBERTO VÁSQUEZ CONTRERAS¹, OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO², MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ³, VIRGINIA ALCÁNTARA MÉNDEZ⁴, CINTHYA ALEJANDRA SOSA VILLALOBOS⁵, MARIO DÍAZ GONZÁLEZ⁶, ARTURO GARCÍA SALDAÑA⁷

Resumen

En este trabajo se presenta una revisión de los aspectos radiológicos relacionados a la concentración de actividad alfa y beta en el agua de uso y consumo humano, el presente trabajo muestra un estudio bibliográfico en los últimos 10 años aproximadamente donde se establece el panorama normativo inicial para el ajuste o control de la dosis-ingesta de consumo de agua contaminada con partículas alfa y/o beta, como una medida de control sanitario inicial en el panorama internacional y puntualizaciones endémicas y regionales. Se comparan con estudios radiológicos de otros países como Turquía, Croacia, Alemania, Argentina, Italia, Túnez, Austria, Serbia, Sudafrica, México, de los que superan la dosis efectiva anual media con respecto a los límites establecidos por la organización mundial de la salud si bien se han analizado suministros de agua que podrían incrementar el riesgo a la salud humana por la ingesta de esta.

La contribución de dosis de radiación por la ingesta del agua contaminada es más pequeña que la que se recibe de otras fuentes de radiación, este trabajo contribuye a evaluar el impacto de la calidad radiológica del agua, así como el formar criterios para reducir el riesgo en la salud de la población, adoptando medidas sanitarias para mitigar y reducir los efectos deletéreos en la salud.

Palabras clave: radionúclidos, dosis efectiva, contaminación radiactiva.

Abstract

This paper presents a review of the radiological aspects related to the concentration of alpha and beta activity in water for human use and consumption, this paper shows a bibliographic study in the last 10 years approximately where the initial regulatory panorama is established for the adjustment or control of the dose-intake of water consumption contaminated with alpha and/or beta particles, as a measure of initial sanitary control in the international panorama and endemic and regional points. They

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER).
jorge.vc@veracruz.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER)

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

⁶ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER)

⁷ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA).

are compared with radiological studies from other countries such as Turkey, Croatia, Germany, Argentina, Italy, Tunisia, Austria, Serbia, South Africa, Mexico, of which the average annual effective dose exceeds the limits established by the world organization for health although water supplies have been analyzed that could increase the risk to human health by ingesting it.

The contribution of radiation dose by the ingestion of contaminated water is smaller than that received from other sources of radiation, this work contributes to assess the impact of the radiological quality of water, as well as to form criteria to reduce the risk in the health of the population, adopting sanitary measures to mitigate and reduce the deleterious effects on health.

Keywords: radionuclides, effective dose, radioactive contamination.

Introducción

El monitoreo de contaminantes radiológicos se ha establecido por diferentes legislaciones como una premisa dado el interés de los ciudadanos por las actividades humanas y los accidentes como Chernobyl y Fukushima la importancia de monitorear radiológicamente los alimentos que consume la población si bien en Europa los estados miembros de la comunidad europea tiene la obligación legal de monitorear la radiactividad en el ambiente desde la firma del tratado Euratom. Sin embargo en el continente americano tiene predominio los límites del OIEA, las consideraciones de las naciones unidas y la Environmental Protection Agency (EPA).

Desde 1976 a la fecha la EPA ha realizado una serie de acciones de vigilancia en agua de consumo humano, transformando sus criterios en base a resultados y efectos advertidos en la salud. Así en 1986 introduce el concepto de "Límite de Contaminación Meta Máximo (MCLG), describiéndolo como lo deseable para eliminar cualquier riesgo a la salud, conservando el concepto de "Límite de Contaminación Máximo "(MCL) referido a aquel límite que es tolerable ó que es realmente alcanzable, tomando en cuenta las condiciones tecnológicas del momento para el tratamiento y suministro de esa agua, sin que elimine totalmente el riesgo asociado.

Cuadro 1 Acciones de Vigilancia de la EPA

CONTAMINANTE	MCL	EFFECTO POTENCIAL A LA SALUD POR INGESTIÓN DE AGUA	FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN AGUA DE CONSUMO HUMANO
Partículas alfa	0.555 Bq/L	Incrementa el riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir alfas
Radio-226 y Radio-228	0.185 Bq/L	Incrementa el riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales
Partículas beta y emisores de fotones	4 mrem por año, equivalentes a 0.04 mSv por año	Incrementa el riesgo de cáncer	Depósitos de elementos radiactivos artificiales y decaimiento de los radionúclidos de depósitos naturales por emisión de betas.
Uranio	30 µg / L	Incrementa el riesgo de cáncer	Erosión de depósitos naturales

Como se aprecia de las unidades de los MCL, se refieren en actividad específica (concentración) para emisores alfa y el radio, en unidades de dosis para los emisores beta y fotones y, también en concentración de masa por unidad de volumen para el uranio, en función de contemplar no solo su riesgo radiológico sino incluir también el riesgo toxicológico de este elemento para provocar daño al riñón. En el 2004 la OMS propone un método de indicadores, donde se establecen valores límites para la toma de decisiones. También como indicadores a las partículas alfa y betas totales, las cuales se determinan sin conocer la identidad específica de los radionúclidos que la provocan. Propone como valor para alfa total 0.5 Bq/L, y 1.0 Bq/L para la actividad beta total, tomando en consideración los radionúclidos críticos que pueden ser responsables de estas emisiones, así como no rebasar 0.1 mSv/año. Propone además como estrategia, considerar si cualquiera de los dos valores es rebasado, el identificar los radionúclidos que la provocan, estimar las dosis parciales y la integrada.

Resultados

En los estudios de Alemania las concentraciones de ^{226}Ra y ^{228}Ra no superan los límites establecidos de concentración de actividad alfa y beta teniendo en consideración que ^{226}Ra es emisor alfa y el ^{228}Ra es emisor beta. ver Cuadro 2. En Croacia la dosis efectiva en sus análisis supera los límites para ^{226}Ra emisor alfa siete veces superior a la recomendada por WHO World Health Organization. Al igual que estudios realizados en Austria para ^{228}Ra emisor beta la mayoría de las muestras excede claramente las dosis,

En Egipto Pakistán, Hungría, Italia, Ghana Brasil, Argentina y Kazajistán los análisis revelaron que los emisores alfa y beta están por debajo de los límites recomendados por WHO logrando una calidad radiológica de agua valores por debajo de la dosis efectiva anual media al igual que la concentración de actividad alfa y beta total. Turquía si supera la concentración alfa y beta total, así como la dosis efectiva

anual media en aguas termales y minerales. Serbia con cálculos conservadores se encuentra dentro del rango recomendado por WHO. Vietnam en sus muestras de agua subterránea en la concentración de alfa para Po 210 supera los límites de WHO, en Sudáfrica la concentración es inferior a los límites establecidos por WHO y no compromete la dosis efectiva anual media tomando un valor de 1.38 Bq/L su normativa hídrica .

Polonia presenta en sus análisis valores elevados para radón ^{222}Rn siendo su preocupación la inhalación en sus recursos hídricos y no en su ingestión de la misma.

Conclusiones

Podemos concluir que los sistemas de muestreo no se encuentran alineados completamente pocos países aplican efectivos sistemas de muestreo algunos países.

Solo monitorean alimentos y agua en las cercanías de instalaciones especiales y no cubren a totalidad el país. Las frecuencias de muestreo también difieren en cuanto al muestreo de agua se realiza mensualmente lo más importante en el muestreo de agua es la representatividad de estas en el medio ambiente.

En algunos países existe sin ningún horario predefinido y solo por la disponibilidad, en otros si siguen un procedimiento de recolección el tipo y la cantidad de muestra de agua es regulado. No se pueden encontrar restricciones para condiciones normales, sólo para situaciones de emergencia. • Ninguna autoridad está dedicada, por completo al monitoreo de la calidad radiológica del agua o no podría reaccionar inmediatamente en caso de incumplimiento o emergencia, la falta de utilización de métodos estandarizados ya que se utilizan métodos no acreditados ni certificados desarrollados en cada país sin medidas establecidas, ni validadas si bien de esta revisión concluimos que la mayoría de los países que presentan una dosis efectiva anual media superior a los límites de WHO su mayor preocupación es debida a gases como el ^{222}Rn . Falta dar difusión en todos los niveles de la población de la calidad radiológica que poseen en su territorio atendiendo las necesidades sanitarias que por ley se debe de cumplir, es importante monitorear las zonas rurales cuyas poblaciones no poseen una vigilancia radiológica o es nula y si bien la población del planeta según datos del Comité Científico de las Naciones Unidas recibe una dosis per cápita de 2.8072 mSv, de los cuales 2.4 mSv se deben al fondo natural, y de ellos 1.2 son recibidos a través de la inhalación y 0.3 por ingestión. Se debe vigilar y salvaguardar la salud de la población.

Cuadro 2 Estudios de radiactividad natural en agua de uso y consumo humano en diferentes países de acuerdo a la literatura.

TITULO	PRIMER AUTOR	PAIS	ESTUDIO	RESULTADOS	USO
Radionúclidos naturales en aguas minerales en Alemania.	D.Obrikat	Alemania	Las concentraciones de actividad de ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{235}U , ^{234}U , ^{238}U y ^{227}Ac se determinaron en 400 muestras de agua mineral	el valor medio de exposición a la radiación para niños de 0-1 años es de 0.047 mSv/a la parte principal de exposición es de 80-90 % es causado por ^{226}Ra y El ^{228}Ra los valores medios de concentración son de 7 mBq/L se observaron 370 mBq/L como concentraciones máximas.	Radionúclidos naturales en agua mineral en Alemania
Evaluación de la dosis dependiente de la edad de ^{226}Ra de la ingesta de agua embotellada	Maja Bronzovic	Croacia	La contribución de agua potable a la exposición total es muy pequeña cerca del 5 % de la dosis efectiva promedio atribuible anualmente a la radiación de fondo natural pero esa exposición contribuye a consecuencias de salud adversas	Los valores promedio de ^{226}Ra , de 6- 412 mBq/L mientras que la dosis efectiva de ^{226}Ra , siete veces superior a la recomendada por WHO 100 microSv fueron encontrados en infantes y adolescentes, en grupos de edad mayor DEA son considerablemente inferiores 10 microSv	Agua mineral natural y de manantial.
Medición de radiactividad natural en agua potable embotellada en Pakistán y sus estimaciones de dosis consecuentes	Fatima	Pakistán	La radiactividad natural se determinó en 11 diferentes marcas de agua potable embotellada en la capital federal Islamabad usando la técnica de espectrometría gamma	concentraciones medias de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K eran $11,3 \pm 2,3$, $5,2 \pm 0,4$ y $140,9 \pm 30,6$ mBq/l, respectivamente. Las dosis efectivas acumuladas anuales debidas a los tres radionúclidos naturales para diferentes grupos de edad de 1 a 5 años, 5 a 10 años, 10 a 15 años y adultos (> 18 años) se estimaron en 4,0, 3,4, 3,1 y 4,1 microSv y (-1), respectivamente. Entre los tres radionúclidos naturales, las dosis efectivas anuales para todos los grupos de edad de ^{226}Ra	Agua embotellada de diferentes marcas
Núclidos radiactivos naturales y componentes químicos en las aguas subterráneas de la gobernación de Beni Suef, Egipto central	F.A.Khalil	Egipto	Evaluar las dosis y los riesgos derivados del consumo de agua. Se ha realizado un estudio de los componentes químicos y radionúclidos en las aguas subterráneas de la gobernación de Beni Suef, Egipto	Los Valores de concentración de actividad variaron de 0,008 a 0,040 Bq/L para ^{226}Ra , de 0,003 a 0,019 Bq/L para ^{232}Th y de 0,025 a 0,344 Bq/L para ^{40}K . $1,5 \text{ Ld} (-1)$, se estimó en 8,59, 4,86 y 83,47 Bq y (-1) para ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , respectivamente. Se encontró que las dosis efectivas estimadas del agua potable fueron 2.4 microSv y (-1) ^{226}Ra , 1.1 microSv y (-1) ^{232}Th y 0.5 microSv y (-1) ^{40}K .	50 muestras de agua subterránea.
Radionúclidos naturales En los principales sistemas acuíferos de la cuenca sedimentaria del Paraná. Brasil	Daniel Marcos Bonotto	Brasil	La radiactividad natural de las aguas subterráneas que se encuentran en los sistemas acuíferos sedimentarios (Bauru y Guarani) y de roca fracturada (Serra Geral) en la cuenca sedimentaria de Paraná, Sudamérica, que se utiliza ampliamente para beber, entre otros. Las mediciones de radiactividad alfa bruta y beta total, así como la concentración de actividad de los radionúclidos disueltos naturales ^{40}K , ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po y ^{210}Pb , se realizaron en 80 pozos tubulares perforados en 21 municipios del Estado de São Paulo y su límite con el estado de Mato Grosso do Sul en Brasil.	La mayoría de los datos de radiactividad alfa total estaban por debajo de 1 mBq / L, mientras que se encontraron valores que superaban el límite de detección de radiactividad beta total de 30 mBq / L. La solubilidad de los radioelementos en los sistemas estudiados varió según la secuencia radón> radio> otros radionúclidos y la mayor porosidad de las areniscas en relación con los basaltos y diabasas podría justificar la mayor presencia de radón disuelto en el acuífero poroso.	Agua subterránea en sistemas acuíferos sedimentarios
Concentraciones de ^{238}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra ,	Guogang Jia	Italia	Se determinaron algunos radionúclidos alfa y beta importantes de origen natural en muestras de agua potable	Las concentraciones de actividad media (mBqL (-1)) de los radionúclidos en las muestras de agua eran casi del orden: 26 ± 36 $^{234}\text{U} > 21 \pm 30$ $^{238}\text{U} > 8,9 \pm 15$ $^{226}\text{Ra} > 4.8 \pm 6.3$ $^{228}\text{Ra} > 4.0 \pm 4.1$ $^{210}\text{Pb} > 3.2 \pm 3.7$	las diecisiete marcas de agua potable

210Po, 210Pb y 212Pb en agua potable en Italia: conciliación de estándares de seguridad basados en mediciones de alfa y beta total.			recogidas en Italia y se evaluó la calidad radiológica.	$^{210}\text{Po} > 2,7 \pm 1,2$ $^{212}\text{Pb} > 1,4 \pm 1,8$ $^{224}\text{Ra} > 1,1 \pm 1,3$ $^{235}\text{U} > 0,26 \pm 0,39$ $^{228}\text{Th} > 0,0023 \pm 0,0009$ $^{230}\text{Th} > 0,0013 \pm 0,0006$ ^{232}Th . La dosis media estimada (microSvyr (-1)) para un adulto a partir de la ingesta de agua fue en este orden: $2,8 \pm 3,3$ $^{210}\text{Po} > 2,4 \pm 3,2$ $^{226}\text{Ra} > 2,1 \pm 2,1$ $^{210}\text{Pb} > 1,8 \pm 3,1$ $^{226}\text{Ra} > 0,94 \pm 1,30$ $^{234}\text{U} > 0,70 \pm 0,98$ $^{238}\text{U} > 0,069 \pm 0,087$ $^{224}\text{Ra} > 0,036 \pm 0,044$ $^{235}\text{U} > 0,014 \pm 0,021$ $^{228}\text{Th} > 0,012 \pm 0,005$ $^{212}\text{Pb} > 0,00035 \pm 0,00029$ $^{230}\text{Th} > 0,00022 \pm 0,00009$ ^{232}Th . Las diecisiete marcas de agua potable analizadas, las dosis efectivas comprometidas estuvieron en el rango de 2,81 a 38,5 microSvyr (-1), todas muy por debajo del nivel de referencia de la dosis efectiva comprometida (100 microSvyr (-1)).	
Mediciones de radiactividad y evaluación de la dosis de radiación en aguas del grifo del centro de Italia.	Donatella Desideri	Italia	Se llevo a cabo un estudio del contenido de radiactividad en muestras de agua del grifo recogidas en el centro de Italia para comprobar el cumplimiento de la normativa europea. Las actividades alfa y beta total se determinaron mediante las normas ISO 9696 e ISO 9697; para la determinación de ^{226}Ra se utilizó centelleo líquido. Las concentraciones de ^{238}U y ^{234}U se determinaron mediante espectrometría alfa después de la separación de la matriz mediante cromatografía de extracción y galvanoplastia. Las concentraciones de actividad recomendadas por la OMS para el agua potable (0,1 y 1,0 Bq / L para la actividad alfa total y beta total, respectivamente	Se superan en dos casos para la actividad alfa total y no se superan en ningún caso para la actividad beta total. Las concentraciones (mBq / L) de ^{226}Ra , ^{238}U y ^{234}U variaron de <1,70 a 15,3, 0,65 a 48,8 y 0,780 a 51,5, respectivamente. La dosis efectiva debida a los isótopos de uranio y al radio se calculó para niños y adultos utilizando los coeficientes de dosis informados por la Directiva EC 96/29 EURATOM y la ingesta anual de agua. Para todas las edades de la clase, las dosis son bastante similares y mucho más bajas que 0,1 mSv / año.	Agua de grifo
^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Po , concentraciones de aguas minerales embotelladas en Italia y su contribución a la dosis	Donatella Desideri	Italia	Agua mineral embotellada en la dieta humana, con especial atención a los niños en período de lactancia, se realizó un seguimiento de la radiactividad natural en algunas aguas minerales embotelladas producidas en Italia. Se midieron las actividades alfa y beta total y las concentraciones de ^{226}Ra , ^{238}U , ^{234}U y ^{210}Po . Las actividades alfa y beta total se determinaron mediante las normas ISO 9696 e ISO 9697; para la determinación de ^{226}Ra se utilizó centelleo líquido. Las concentraciones de ^{238}U y ^{234}U se determinaron por espectrometría alfa después de su separación de la matriz mediante cromatografía de extracción y galvanoplastia. ^{210}Po se midió mediante espectrometría alfa.	Los resultados revelaron que las concentraciones (mBqL (-1)) de ^{226}Ra , ^{238}U , ^{234}U y ^{210}Po variaron de <10,00 a 52,50, de <0,17 a 89,00, de <0,17 a 79,00 y de <0,04 a 21,01, respectivamente. Las concentraciones de uranio y radio no alcanzan la concentración de actividad derivada recomendada pertinente (DWC). Para la concentración de polonio, ninguna de las muestras alcanza el DWC relevante en el caso de adultos y niños, pero una muestra supera este valor para los lactantes. La contribución de la dosis para diferentes clases de edad se calculó utilizando los factores de coeficiente de dosis informados por la Directiva de la CE 96/29 EURATOM y cierta ingesta anual. Para niños y adultos, las dosis calculadas son bastante similares e inferiores a 0,1 mSvy (-1); para lactantes (<1 año) en tres casos, la dosis calculada oscila entre 0,11 y 0,17 mSvy (-1).	Agua mineral embotellada
Radionucleidos naturales en agua mineral austriaca y su medición	Kralik C.	Austria	Se investigaron diez muestras de agua mineral austriaca con respecto a los radionucleidos naturales ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}U y ^{234}U . Los	A partir de las concentraciones de actividad medidas, se calcularon las dosis efectivas comprometidas para adultos y bebés y se compararon con la dosis indicativa total de 0,1 mSv / a dada en la Directiva de agua	Agua mineral

secuencial por métodos rápidos			isótopos de radio y ^{210}Pb se midieron mediante recuento de centelleo líquido (LSC) después de la separación en una membrana cargada con partículas selectivas de elementos (discos de radio Empore) y ^{210}Po se determinó por espectroscopía alfa después de la deposición espontánea en una plancheta de cobre. El uranio se determinó por ICP-MS así como por espectroscopía alfa después de la separación de iones y microprecipitación con NdF (3).	potable de la CE como dosis máxima. La porción dominante de la dosis efectiva comprometida se debió a los isótopos de radio; la dosis de (^{228}Ra) en la mayoría de las muestras excedió claramente la dosis.	
Isótopos de uranio en aguas minerales embotelladas de Túnez	F Gharbi	Túnez	Se han determinado las concentraciones de actividad ^{234}U y ^{238}U y sus dosis efectivas relativas en 10 aguas minerales embotelladas en Túnez. La espectrometría alfa se utilizó como técnica para medir isótopos de uranio.	La relación isotópica obtenida $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ varía entre 1,1 y 3, lo que significa que los dos isótopos no están en equilibrio radiactivo. La concentración de actividad medida varía entre 3,2 y 40 mBq / l para ^{234}U y entre 1,5 y 26,3 mBq / l para ^{238}U . Se encontró que las dosis efectivas (asumiendo 2 litros por día de consumo de agua) provenientes de estos dos isótopos varían entre 0.16 y 2.02 microSv / año, que es menor que el nivel de dosis máximo recomendado por la OMS.	Agua mineral embotelladas
Radiactividad natural en aguas minerales y termales embotelladas de Turquía	Halim Taskin	Turquía	La evaluación radiológica de aguas minerales embotelladas y aguas termales recolectadas de diversas fuentes naturales en Turquía se llevó a cabo utilizando técnicas de recuento alfa total y beta total. Para 40 muestras de agua mineral embotellada,	la concentración de actividad alfa total media era de 164 mBq l (-1) (mín.: 7 mBq l (-1); máx. : 3042 mBq l (-1)), mientras que se encontró que la concentración total de actividad beta media era de 555 mBq l (-1) (mín. : 21 mBq l (-1); máx. : 4845 mBq l (-1)). Para 24 muestras de agua termal, se obtuvo una concentración de actividad alfa total media de 663 mBq l (-1) (mín. : 18 mBq l (-1); máx. : 3070 mBq l (-1)). La concentración total de actividad beta para estas muestras, por otro lado, se determinó en 3314 mBq l (-1) (mín. : 79 mBq l (-1); máx. : 17955 mBq l (-1)). Estos valores dan lugar a dosis efectivas anuales medias de 313 μSv para aguas minerales y 1805 μSv para aguas termales, que resultan superiores a las recomendadas para aguas potables por la Organización Mundial de la Salud	aguas minerales embotelladas y aguas termales
Radionucleidos naturales en aguas potables en Serbia	Marija M Jankovic	Serbia	Radionucleidos naturales en aguas potables en Serbia Las actividades totales alfa y beta, ^3H , ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K se midieron en agua mineral embotellada producida en Serbia para evaluar su calidad radiológica. En 11 muestras de agua del grifo y en 1 muestra de agua de manantial se determinó la actividad alfa y beta total. La concentración de actividad natural de los radionúclidos emisores alfa y beta se encuentra dentro del rango recomendado por la Organización Mundial de la Salud.	La concentración de tritio en aguas minerales embotelladas osciló entre 0,023 \pm 0,012 y 0,046 \pm 0,006 Bq l (-1). La actividad de ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K estaba por debajo de la actividad mínima detectable. Para evaluar la dosis efectiva anual para diferentes clases de edad, se realizó un cálculo dosimétrico conservador.	Agua mineral embotellada
Determinación simultánea de las actividades	Phan Long Ho	Vietnam	Este documento presenta información sobre las concentraciones totales de	la dosis efectiva anual para adultos (> 17 años) se calculó basándose en el supuesto de que los principales radionucleidos	Agua subterránea

alfa/beta total en las aguas subterráneas para determinar la dosis eficaz de ingestión y la prevención de riesgos para la salud pública asociada			actividad alfa y beta total de doscientas veintiséis muestras de agua subterránea recolectadas y analizadas por contadores proporcionales de flujo de gas en el sur de Vietnam.	tienen los factores de conversión de dosis efectivos más altos. En general, se observó que los resultados para ^{210}Pb , ^{226}Ra y ^{228}Ra eran inferiores a los valores de referencia recomendados establecidos por la Organización Mundial de la Salud y la Agencia Internacional de Energía Atómica, excepto por el valor de ^{210}Po . Los resultados alfa total en las muestras de agua variaron de 0.024 a 0.748 Bq L-1 con una media de 0.183 ± 0.034 Bq L-1, y los resultados beta total en las muestras de agua variaron de 0.027-0.632 Bq L-1 con una media de $0,152 \pm 0,015$ Bq L-1.	
Evaluación de riesgos radiológicos para la salud del agua potable y el polvo del suelo de las provincias de Gauteng y Noroeste, en Sudáfrica	D Madzunya	Sudáfrica	El objetivo de este trabajo fue evaluar el riesgo radiológico para la salud debido a la ingesta de radionucleidos en el polvo y el agua potable de la zona minera de oro de West Rand y la planta de tratamiento de agua del municipio de Modiri Molema (MMM). Las muestras de polvo se analizaron en busca de radionucleidos de interés utilizando el detector de germanio de alta pureza tipo pozo. Se recolectaron muestras de agua antes y después de la purificación de la planta de tratamiento de agua del municipio de Modiri Molema y se analizaron utilizando el contador de centelleo líquido (LSC) de nivel ultrabajo, para evaluar los niveles de dosis de radioactividad alfa y beta total de los radionucleidos en el agua. Se utilizó una espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)	La actividad alfa total mínima y máxima obtenida fue 0.0041 (Bq.L-1) y 0.0053 (Bq.L-1) respectivamente, mientras que la actividad beta total mínima y máxima obtenida para las muestras de agua fue 0.0083 (Bq.L-1) y 0.0105 (Bq.L-1) respectivamente. la concentración de actividad del agua potable indica que la actividad específica en el suministro de agua después de la purificación está por debajo del límite de la guía de la OMS de 0.5 (Bq. L-1) para alfa total y 1 (Bq. L-1) para beta total. Los resultados obtenidos también estuvieron dentro del rango del límite de calidad del agua objetivo del Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales de Sudáfrica de (0-1,38) (Bq.L-1) para la actividad beta total.	Agua potable
Radiactividad natural de ^{226}Ra y ^{228}Ra en aguas termales y minerales en Croacia 30	Tomislav Bituh	Croacia	Las aguas termales son conocidas como valiosos recursos naturales de un país. Contienen cierto grado de radiactividad natural atribuible a los elementos de la serie de desintegración natural de uranio y torio. Entre estos elementos, el más radiotóxico y el más importante es el radio que existe en varias formas isotópicas (^{226}Ra y ^{228}Ra). El foco de atención fue el contenido de radio en muestras de agua termal y mineral de manantial de varios balnearios en Croacia. Estas aguas se utilizan principalmente con fines médicos, de baño y recreativos, y algunas de ellas se utilizan para beber.	Las concentraciones de actividad medidas de ^{226}Ra variaron de 87 a 6200 mBq L-1 que, en algunos manantiales, exceden el nivel máximo permisible de 1 BqL-1 para el agua potable. Las concentraciones de actividad medidas de ^{228}Ra variaron de 23 a 3480 mBqL-1.	Aguas termales
Caracterización radioquímica de las aguas de manantial en Balaton Upland, Hungría, estimación de la dosis de radiación a los	Viktor Jobbágy	Hungría	Hungría es rica en aguas de manantial. En la región de Balaton Upland de Hungría se llevó a cabo un estudio que estudia los radionucleidos emisores alfa que se encuentran de forma natural en	La concentración promedio (mBq L-1) de ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{234}U , ^{238}U y ^{210}Po en las aguas de manantial varía de 2.1 a 601, de <1.1 a 65.4, de 3.9 a 741.9, de <0.44 a 274.3 y de 2 a 15.2 respectivamente. En la mayoría de los casos, se observó un desequilibrio radiactivo entre los isótopos de uranio y	Agua de manantial

miembros del público			30 aguas de manantial que se visitan con frecuencia y se consumen regularmente. Las concentraciones de actividad de ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{234}U , ^{238}U y ^{210}Po se determinaron usando espectrometría alfa después de la separación de los elementos de la matriz	radio. Las dosis para las muestras analizadas de agua de manantial están en el rango de 3,59-166,73 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ con un promedio de 18,2 $\mu\text{Sv y}^{-1}$. Esto está muy por debajo del nivel de referencia de 100 $\mu\text{Sv y}^{-1}$ de la dosis efectiva comprometida recomendada por la OMS. Solo una muestra de agua tuvo una dosis superior a 100 $\mu\text{Sv y}^{-1}$, principalmente debido a la contribución del radio (^{226}Ra , ^{224}Ra) y los isótopos ^{210}Po .	
Evaluación de los niveles de radiactividad natural y antropogénica en suelos, rocas y agua en las cercanías de la mina de oro Chirano en Ghana	A Faanu	Ghana	estudios dentro y alrededor de la zona operativa de Chirano Gold Mine Ltd de Ghana para determinar los niveles de radiactividad basales de materiales radiactivos naturales, así como radionúclidos artificiales en la superficie y las minas subterráneas. El análisis se llevó a cabo utilizando espectrometría gamma para cuantificar los radionúclidos de interés, a saber ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs y ^{40}K en muestras de suelo, mineral, rocas residuales y agua.	Para las muestras de agua, las concentraciones medias de actividad fueron 0,86±0,67, 0,97±1,33 y 9,05±10,45 Bq l(-1) para ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K , respectivamente. Se estimó que la dosis efectiva anual total para el público era de 0,13 mSv, que está por debajo del nivel recomendado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica de 1 mSv para el control de la exposición pública. Los valores de concentración de la alfa total y la beta total para todas las muestras de agua estaban por debajo de los valores orientativos recomendados por la Autoridad de Normas de Ghana y la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable. Los resultados obtenidos en este estudio también muestran que los niveles de radiación están dentro de los niveles naturales de radiación de fondo que se encuentran en la literatura y se comparan bien con los de estudios similares para otros países, incluyendo Ghana	Agua superficial
Caracterización de las rocas generadoras y la radiactividad de las aguas subterráneas en el valle de chihuahua.	M. Rentería Villalobos	México	Como parte de un proyecto científico sobre actividad alfa en agua subterránea de consumo humano en la ciudad de Chihuahua, se ha desarrollado la caracterización de las rocas fuentes de la radiactividad en el valle de Chihuahua. Se determinó también la actividad de muestras de agua subterránea y de sedimentos.	La actividad específica del agua en la presa de San Marcos llegó a 7.7 Bq/L para ^{238}U y 34.78 Bq/L para el ^{234}U .	Agua de Presa
Isótopos de Uranio en muestras de agua de pozo como fuente de bebida en algunos asentamientos alrededor del sitio de pruebas nucleares de Semipalatinsk, Kazajstán	Masayoshi Yamamoto	República de Kazajstán	Los resultados radioquímicos de los isótopos U (^{234}U , ^{235}U y ^{238}U) y sus relaciones de actividad se informan para las aguas de pozo como fuentes locales de agua potable recolectadas de los diez asentamientos alrededor del Sitio de Pruebas Nucleares de Semipalatinsk (SNTS), Kazajstán	Los resultados muestran que ^{238}U varía ampliamente de 3.6 a 356 mBq / L (0.3-28.7 $\mu\text{g} / \text{L}$), con un factor de aproximadamente 100. Las concentraciones de ^{238}U en algunas muestras de agua de los asentamientos Dolon, Tailan, Sarzhal y Karaul son comparables al más alto que la guía restrictiva propuesta por la Organización Mundial de la Salud de 15 $\mu\text{g} (\text{U}) / \text{L}$. Las relaciones de actividad de $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ en las muestras de agua medidas son superiores a 1 y varían entre 1,1 y 7,9, siendo en su mayoría de 1,5 a 3. Las relaciones de actividad de $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ medidas son alrededor de 0,046, lo que indica que U en estas aguas de pozo es de origen natural. Es probable que la elevada concentración de ^{238}U encontrada en algunos asentamientos alrededor del SNTS no se deba a la lluvia radiactiva cercana a las explosiones nucleares en el SNTS, sino más bien a la intensa erosión de las rocas, incluido U allí. Las dosis	Agua de pozo

				efectivas calculadas para adultos resultantes del consumo de las aguas investigadas están en el rango de 1.0 a 18.7 μSv / año. Esas dosis son inferiores al valor de referencia de la OMS y el OIEA (100 μSv / año) para el agua potable.	
CONCENTRACIÓN DE ACTIVIDAD ALFA Y BETA EN AGUAS POTABLES: DETERMINACION Y RESULTADOS	Acosta, S	Argentina	En este trabajo se presenta el procedimiento aplicado para la determinación de la concentración de la actividad de emisores alfa-beta en muestras de agua potable y los resultados obtenidos en el marco del Plan de Monitoreo Ambiental de la Autoridad Regulatoria Nuclear de los últimos 6 años.	Durante los últimos 6 años el laboratorio ambiental de actividad alfa y beta ha llevado a cabo más de 400 determinaciones de la matriz agua potable en las distintas instalaciones, observándose que los promedios de las concentraciones de actividades alfa y beta para las muestras analizadas no superan los estándares internacionales recomendados por la OMS de 0,5 Bq/l y 1 Bq/l respectivamente.	Agua Potable
Seguimiento de la contaminación radiactiva en las aguas superficiales de Polonia en 2012-2013	M. Suplinska	Polonia	La Contaminación con ^{90}Sr y ^{137}Cs en las aguas superficiales de Polonia ha sido monitoreada desde 1994. Se recolectaron muestras de agua superficial de seis lagos y los ríos Vístula y Oder en la primavera y otoño de 2012 y 2013	Las Concentraciones medias de ^{90}Sr y ^{137}Cs fueron 3.92 ± 0.40 y 4.49 ± 2.00 mBq L-1, respectivamente	Agua superficial de lago y ríos
Radón ^{222}Rn en suministros subterráneos de agua potable de la región sur de la gran Polonia	Henryk Bem	Polonia	La concentración de actividad del radionúclido ^{222}Rn se determinó en muestras de agua potable de la región de Sothern Greater Poland mediante la técnica de centelleo líquido.	Los Valores medidos oscilaron entre 0.42 y 10.52 Bq/dm ³ con el valor medio geométrico de 1,92 Bq/dm ³ . Las dosis efectivas anuales promedio calculadas de la ingestión con agua y la inhalación de este radionúclido que escapa del agua fueron 1,15 y 11,8 μSv , respectivamente. Por lo tanto, debe subrayarse que, en general, no es la ingestión de radionucleidos naturales con agua sino la inhalación del radón que se escapa del agua lo que constituye una parte sustancial del riesgo radiológico debido a la presencia de radionucleidos naturales de las series del uranio y torio. en el agua potable.	Agua subterránea

Referencias

- Rickert B, Chrus I, Schmoll O, editors. Protecting surface water for health Identifying, assessing and managing drinkingwater quality risks in surface-water catchments. WHO; 2016 [cited 2018 Apr 11]. Available from: <https://goo.gl/QnQrpU>.
- Gleick PH. Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources. New York: Oxford University Press; 1993.
- Povinec PP, Betti M, Jull AJT, Vojtyla P (2008) Acta Phys Slov 58:1–154 Inin 2018
- Ivanovich M, Harmon RS. Uranium-series disequilibrium. 2. ed Oxford: Clarendon Press: 1992.
- Obrikat D, Beyermann M, Bünger Th, Viertel H. Natural radionuclides in water in Germany. Kerntechnik 2004;69:1-4.
- Bronzovic M, Marovic G. Age-dependent dose assessment of ²²⁶Ra from bottled water intake. Health Phys 2005;88:480. <http://dx.doi.org/10.1097/01.HP.0000154007.12917.88>
- I. Fatima, J. H. Zaidi, M. Arif, S. N. A. Tahir, Measurement of natural radioactivity in bottled drinking water in Pakistan and consequent dose estimates, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 123, Issue 2, February 2007, Pages 234–240, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncl093>
- Jia G, Torri G, Magro L. Concentrations of ²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³²Th, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²²⁴Ra, ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb and ²¹²Pb. In: drinking water in Italy: reconciling safety standards based on measurements of gross α and β . J Environ Radioact 2009;100:941. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.07.002>
- Bituh T, Marovic G, Petrinc B, Sencar J, Franulovic I. Natural radioactivity of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in thermal and mineral waters in Croatia. Radiat Prot Dosimetry 2009;133:119. <http://dx.doi.org/10.1093/rpd/ncp033>
- F. Gharbi, S. Baccouche, W. Abdelli, M. Samaali, M. Oueslati, A. Trabelsi; uranium isotopes in tunisian bottled mineral Waters. J Environ Radioact 2010;101: 589-590. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.03.001>
- D. M. Bonotto. Natural radionuclides in major aquifer systems of the Paraná sedimentary basin, Brazil. Applied Radiation and Isotopes. 2011;69:1572-1584. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.06.002>
- F. A. Khalil, Rafat M Amin, MAK El Fayoumil. Natural radioactive nuclides and chemical components in the groundwater of Beni Suef Governate, Middle Egypt. Journal of Radiological Protection. 2009;29:105
- Taskin H, Asliyukse H, Bozkurt A, Kam E. Natural radioactivity in bottled mineral and thermal spring waters of Turkey. Radiat Prot Dosimetry. 2013 Dec;157(4):575-8. doi: 10.1093/rpd/nct166. Epub 2013 Jun 23. PMID: 23798708.

- Jankovic M, Todorovic D, Todorovic N, Nikolov J. Natural radionuclides in drinking Waters in serbia. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012 Dec;70:2703-2710. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.08.013>.
- Ho PL, Hung LD, Minh VT, Chinh DV, Thanh TT, Tao CV. Simultaneous Determination of Gross Alpha/Beta Activities in Groundwater for Ingestion Effective Dose and its Associated Public Health Risk Prevention. *Sci Rep*. 2020 Mar 9;10(1):4299. doi: 10.1038/s41598-020-61203-y. PMID: 32152426; PMCID: PMC7062759.
- Madzunya D, Dudu V.P, Mathuthu M, Manjoro M. Radiological health risk assessment of drinkingwater and soildust from Gauteng and North West Provinces , in South Africa. 2020;6(2):<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03392>
- Jobbágy V, Kávási N, Somlai J, Máté B, Kovács t. Radiochemical characterization of spring Waters in BalatonUpland, Hungary , estimation of radiation doce to members of public. *Microchemical Journal*. 2010 Mar;94(2):159-165.
- A. Faanu, H. Lawlivi, D. O. Kpeglo, E. O. Darko, G. Emi-Reynolds, A. R. Awudu, O. K. Adukpo, C. Kansaana, I. D. Ali, B. Agyeman, L. Agyeman, R. Kpodzro, Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in soils, rocks and water in the vicinity of Chirano Gold Mine in Ghana, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 158, Issue 1, January 2014, Pages 87–99, <https://doi.org/10.1093/rpd/nct197>
- Yamamoto, M., Tomita, J., Sakaguchi, A., Ohtsuka, Y., Hoshi, M., & Apsalikov, K. N. (2010). Uranium isotopes in well water samples as drinking sources in some settlements around the Semipalatinsk Nuclear Test Site, Kazakhstan. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 284(2), 309–314. <https://doi.org/10.1007/s10967-010-0463-2>
- Acosta, S.; Equillor, E.; Muñoz, J, Concentración de Actividad alfa y beta en aguas potables: Determinación y resultados, X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica “Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución” Buenos Aires, 12 al 17 de abril, 2015 SOCIEDAD ARGENTINA DE RADIOPROTECCIÓN. Autoridad Regulatoria Nuclear, Buenos Aires, Argentina
- Bem, H., Plota, U., Staniszewska, M. et al. Radon (^{222}Rn) in underground drinking water supplies of the Southern Greater Poland Region. *J Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299, 1307–1312 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10967-013-2912-1>
- ISO 9696. Water Quality . Measurement of gross alpha activity in non-saline wáter. Thick source method. Geneva: International Organization for Standardization:2017

ISO 9697. Water Quality . Measurement of gross beta activity in non-saline wáter.
Thick source method. Geneva: International Organization for
Standardization:2015

MANEJO Y POSIBLES RIESGOS POR EL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

JUDITH GUADALUPE HERNÁNDEZ MENA¹, GABY CARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ², MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ³, CHRISTIAN REYES VELAZQUEZ⁴, FABIOLA LANGO REYNOSO⁵

Resumen

Con la finalidad de determinar el uso y manejo de agroquímicos y los posibles riesgos que puedan provocar en la matriz suelo y en la salud, se elaboró un cuestionario dirigido a caficultores dentro de las localidades Alborada perteneciente al municipio de Emiliano Zapata, Ver. y Bella Esperanza en el municipio de Coatepec, Ver. Para la elaboración de dicho cuestionario se consideraron aspectos principales como: manejo del cultivo, seguridad e higiene, recurso hídrico y asistencia técnica, generando un total de 27 preguntas. Cabe mencionar que la modificación de esta herramienta y su validación fue realizada por expertos en el tema. Después de su aplicación se registró que el 76 % de los caficultores utiliza algún tipo de agroquímico en su mayoría herbicidas, siendo glifosato y paraquat los ingredientes activos más utilizados. El 74 % de los caficultores aplica los productos con base a su experiencia y el 84 % sin ningún equipo de protección personal. La falta de conocimiento sobre buenas prácticas en la agricultura y el uso y manejo de estos productos podría provocar su poca efectividad, contaminación del suelo y riesgos en la salud de los productores y sus familias. Dicho lo anterior se hace evidente la necesidad de realizar análisis fisicoquímicos del suelo y la implementación de programas de capacitación enfocados al uso y manejo de agroquímicos

Palabras clave: glifosato; contaminación del suelo; cultivo de café; plaguicidas

Abstract

In order to determine the use and management of agrochemicals and the possible risks that they may cause in the soil matrix and in health, a questionnaire was developed for coffee growers within the Alborada localities belonging to the municipality of Emiliano Zapata, Ver. and Bella Esperanza in the municipality of

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. m20990015@bdelrio.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Coatepec, Ver. For the preparation of said questionnaire, main aspects were considered such as: crop management, safety and hygiene, water resources and technical assistance, generating a total of 27 questions. It is worth mentioning that the modification of this tool and its validation was carried out by experts in the field. After its application, it was recorded that 76% of coffee farmers use some type of agrochemical, mostly herbicides, with glyphosate and paraquat being the most used active ingredients. 74% of coffee growers apply the products based on their experience and 84% without any personal protection equipment. The lack of knowledge about good practices in agriculture and the use and management of these products could cause their ineffectiveness, soil contamination and health risks for producers and their families. Having said the above, the need to carry out physicochemical analyzes of the soil and the implementation of training programs focused on the use and management of agrochemicals becomes evident.

Keywords: glyphosate; soil contamination; coffee growing; paraquat; pesticides

Introducción

De acuerdo con la Organización Internacional del Café (OIC) actualmente México ocupa el onceavo lugar en cuanto a producción de café cereza a nivel mundial con más de 900 mil toneladas cosechadas en 712 mil hectáreas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). En nuestro país existen 15 estados productores de café siendo los más importantes el Estado de Chiapas 41.0% , seguido por Veracruz con el 24 % de la producción nacional (SADER, 2018) . Asu vez, en nuestro Estado se destaca por su producción de café la zona centro en la cual se encuentran 6 municipios principales: Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Córdoba y Zongolica, es necesario mencionar que dicha producción proviene en un 95.5 % de pequeños productores (Universidad Veracruzana, s.f.); pero el sector cafetalero en Veracruz no solo es importante por sus niveles de producción, también lo es porque el 90 % de la superficie cultivada se encuentra bajo sombra diversificada lo cual contribuye a la conservación de la biodiversidad (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, 2020).

Sin embargo, a pesar de su importancia los pequeños caficultores enfrentan retos complejos, provocados por falta de asistencia técnica, bajos rendimientos, caída en el precio del café cereza, falta de innovación y a la aparición de nuevos brotes de Roya y Broca (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz , 2020). Por esto último, el uso de agroquímicos por parte de los agricultores se ha convertido en parte clave para el aumento del rendimiento de las plantaciones, y control de plagas y enfermedades. No obstante, si se usan y manejan de forma inapropiada pueden llegar a causar diferentes problemas ambientales, como la degradación y contaminación del suelo, así como provocar riesgos en la salud humana (Gómez, 2019). Los pequeños caficultores pertenecientes a la localidad de Alborada y Bella

Esperanza dentro de la zona centro de nuestro Estado no son la excepción y a pesar de ello esta área no cuentan con estudios que caractericen las prácticas de uso y manejo de agroquímicos, por no ser una zona de interés socioeconómica. Cómo se pronuncia o con una actividad agrícola grande. Es por lo que, el objetivo de este trabajo es determinar el uso y manejo de agroquímicos, así como describir posibles riesgos de contaminación del suelo y en la salud.

Materiales y métodos

La determinación del uso y manejo de agroquímicos se llevó en dos zonas caficultoras, una de ellas ubicada en la localidad de Alborada localizada en las coordenadas $19^{\circ}26'49''\text{N} \mid 96^{\circ}52'16''\text{O}$ dentro del municipio de Emiliano Zapata y la localidad Bella Esperanza en las coordenadas $19^{\circ}25'57''\text{N} \mid 96^{\circ}52'0''\text{O}$, en el municipio de Coatepec. Dichos sitios de muestreo se seleccionaron por pertenecer a una de las diez regiones con mayor producción de café en el Estado de Veracruz, específicamente en la zona centro y contar en su mayoría con pequeños productores (Figura 1).

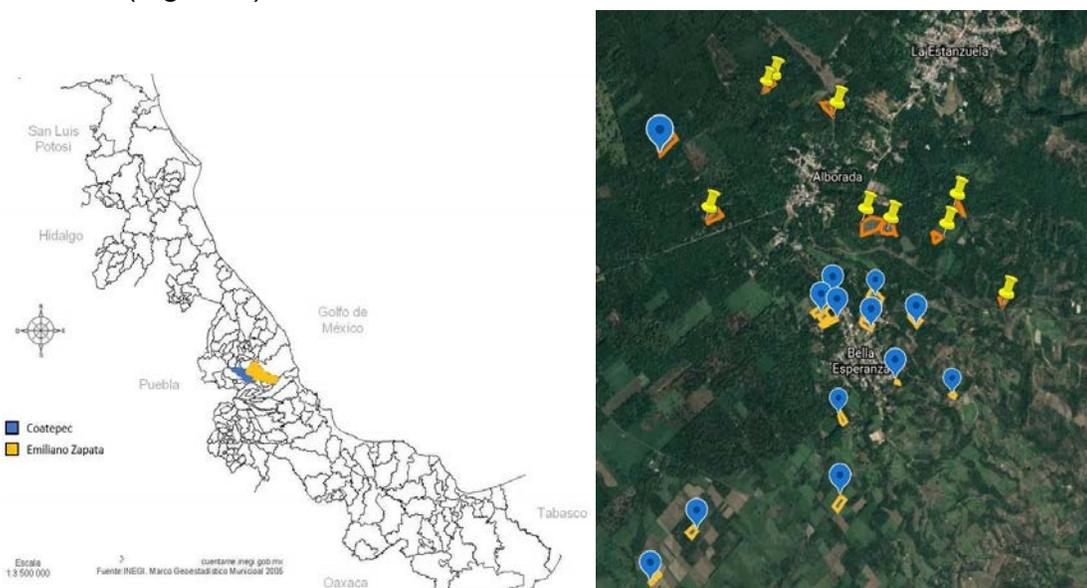


Figura 1. En la figura de la izquierda están los municipios de Coatepec marcado con azul y Emiliano Zapata con amarillo y en la imagen de la derecha se encuentran marcados las parcelas de café de los productores (Elaboración propia con imágenes de INEGI y Google Earth respectivamente)

La investigación tiene un enfoque mixto, ya que incluye datos cuantitativos y cualitativos cuya recolección de datos se llevó a cabo mediante revisión bibliográfica, información de personas expertas en el tema y encuestas realizadas a pequeños productores de café.

Para poder cumplir con el objetivo de este trabajo se elaboró un cuestionario dirigido a los caficultores, en el cual se consideraron aspectos como: prácticas de manejo del cultivo, seguridad e higiene, prácticas de conservación del suelo,

recurso hídrico y asistencia técnica, generando un total de 27 preguntas, 16 de ellas de respuesta abierta y 11 de opción múltiple. Abarcando diferentes tipos de variables de estudio: producción, área cultivada, uso de agroquímicos, dosis aplicada (L/ha), frecuencia de aplicación (año), ingrediente activo, plagas y manejo de enfermedades, almacenamiento de agroquímicos, manejo de envases vacíos, fuente de agua, capacitación del uso y manejo de estas sustancias.

Cabe mencionar que la modificación de esta herramienta y su validación fue realizada por expertos en el tema.

Para su aplicación se realizaron visitas periódicas a las localidades de estudio, así como reuniones con los representantes ejidales y por medio del método “bola de nieve” se agruparon a los pequeños productores de café. En total resultaron 25 personas 10 de ellos pertenecientes a la localidad de Alborada y 15 a Bella Esperanza. A estos productores se les realizó una visita en sus parcelas con el objetivo de aplicar el instrumento de investigación, así como para realizar una exploración en su cultivo con el fin de obtener un registro fotográfico y de coordenadas UTM del lugar.

Una vez aplicada la encuesta se vaciaron los datos recabados en hojas de cálculo y se realizaron medidas de tendencia central, así como frecuencias y porcentajes de las variables de estudio. Estos análisis se hicieron en programa Microsoft Excel.

Resultados y Discusión

El promedio de área cultivada por ciclo anual de café es de 1.6 hectáreas, el 44 % de los productores cultiva de 1 a 2 ha por ciclo y solo el 12 % de los caficultores encuestados cultiva de 3 a 4 ha.

Sin embargo, la mayoría de los pequeños productores menciona que debido a la caída del precio del café cereza y a la baja productividad están cambiando el café por limón. Cabe señalar que la producción de café presentó un promedio de 2 ton/ha y el 40 % está por debajo de este.

De acuerdo con el Centro de CEDRSSA (2018) el promedio de producción de café por hectárea es de 1.4 toneladas de café cereza a nivel nacional, por lo que el 60 % de los productores en esta zona está por arriba del promedio general. Es decir que aun que la producción de café ha bajado con el paso de los años, en nuestro país la zona centro del Estado sigue generando mayor rendimiento.

En cuanto a las variedades de café cultivadas podemos encontrar: Catimor, Costa Rica, Sarchimor, Arábica, Garnica, Geisha, Marsellesa, Bourbon, siendo las dos últimas sembradas únicamente en la localidad de Alborada. El 100 % de estas variedades están cultivadas bajo sombra.

Cabe mencionar que, las variedades más sembradas son: Catimor (Figura 2), Costa Rica con el 32 % de frecuencia, siendo la primera la que mayor producción genera de 3 a 5 ton/ha; y Sarchimor con el 20 % .



Figura 2. Variedad de café catimor, perteneciente a un productor de la localidad Bella Esperanza. Los productores mencionaron que estas 3 variedades han sido el remplazo del café Arábica por presentar mayor resistencia a la Roya. Esta información coincide con la presentada en la guía de Variedades de Café de por la Asociación Nacional del Café (INACAFE) en donde hace referencia que en los últimos años se ha incrementado la siembra de variedades que tienen resistencia a la roya, como: Catimores y Sarchimores.

Como se mencionó arriba una de las enfermedades que presenta el café en estas zonas es la “Hemileia vastratrix” (Roya del cafeto) en estas zonas presenta el 76 % de incidencia junto con la plaga “Hypothenemus hampei” también conocida como “Broca del fruto del cafeto”. Este valor de incidencia era evidente ya que el CESAVE (2020), describe que en la actualidad el Estado de atraviesa por nuevos brotes de dicha enfermedad y plaga.

Para reducir el nivel de infestación el 64 % de los caficultores realiza prácticas de manejo de control químico, así como el uso de trampas de atrayente alcohólico para el control de la plaga.

Hay que mencionar, que al 88 % de las parcelas nunca se les ha realizado un análisis de suelo, por lo tanto, el uso de los agroquímicos podría no ser eficiente.

En cuanto a la concentración de los productos aplicados es de 1 L de producto por hectárea de 1 a 2 veces por año.

Esto es debido a la falta de recursos económicos para la compra de plaguicidas, no por el echo de saber que un uso inadecuado puede causar daños en el ambiente y en la salud, otra razón es porque han tenido pérdidas de cultivo por el uso indebido de químicos.

En relación con los ingredientes activos más utilizados en esta región fueron glifosato, 70 % y paraquat, 22 %. Solo 6 productores usan insecticida 4 de ellos cipermetrina y 3 de ellos mencionaron utilizar fungicida.

El 42 % del productor que usan glifosato lo conocen por su nombre comercial Faena y 21 % como Takle. A su vez el 50 % que utilizan paraquat lo reconocen con el nombre comercial de Rey quemante (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de los agroquímicos utilizados por los caficultores.
(Elaboración propia con información de diversas fuentes)

Agroquímico	Nombre comercial	Ingrediente activo	Grupo químico	Categoría toxicológica COFEPRIS ¹
Herbicida	Takle	Glifosato	Organofosforado	IV
	Faena			
	Rey quemante	Paraquat	Bipiridilo	III
	Ojiva			
	Paraquat			
	Star	Diuron	Ur	IV
Banvel	Dicamba	Ácido benzoico, Clorado	III	
Fungicida	Oxícloruro de Cobre	Oxícloruro de cobre	Inorgánico: Cúprico	IV
	Pointer	Flutriafol	Triazol	II
	Alto 100	Ciproconazol	Trizol	IV
Insecticida	Cipermetrina	Cipermetrina	Piretroide	III
	Arrivo			
	Trompa	Abamectina	Pentaciclina	III
	Fitoklor	Paration metílico	Organofosforado	III

La clasificación toxicológica se realizó de acuerdo con la consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS): I: extremadamente tóxico; II: altamente tóxico; III: moderadamente tóxico; IV: ligeramente tóxico.

De acuerdo con el grupo químico los organofosforados son los más utilizados con el 74 %. Es importante subrayar que, de ese porcentaje el 70% pertenece al uso de glifosato, en nuestro país el 31 de diciembre de 2020 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto que tiene como objetivo implementar acciones para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de esta sustancia y de los agroquímicos utilizados que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles, este decreto entró en vigor el 1 de enero de 2021. Teniendo en consideración lo anterior se esperaría que en los próximos años el porcentaje de uso disminuya.

Por lo que se refiere al segundo activo más utilizado (paraquat) es necesario mencionar que dicho ingrediente se encuentra prohibido en 38 países entre ellos China, Corea del Sur, Reino Unido, Brasil, entre otros (Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados, 2021). En cambio, México no cuenta con ninguna prohibición y es vendido como dicloruro de paraquat y otras sales, de acuerdo con Aguilera Márquez, Álvarez Solís, Arámbula Meraz, Arellano Aguilar, & Bastidas Bastidas (2017) debería de prohibirse su importación como una medida para prevenir la contaminación del medio ambiente.

A pesar de que más de la mitad de los encuestados utiliza algún tipo de agroquímicos para el control de enfermedades, el 74 % los utiliza conforme a su experiencia y solo el 26 % recibe asistencia técnica por parte de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para para implementar y crear productos orgánicos así mismo para dar información sobre el uso sustancias químicas .

No obstante, la falta de capacitación en el uso y manejo adecuado de agroquímicos puede llegar a tener un impacto negativo en su eficiencia y provocar un uso no controlado e inseguro de estas sustancias y así mismo generar contaminación del medio ambiente y daños en la salud de las personas, como ha demostrado en diversos estudios.

Este resultado se evidencia con los obtenidos respecto al uso de equipos de protección personal (EPP), a su almacenamiento y al tratamiento que se les da a los envases vacíos cuyos resultados que se presentaras a continuación.

El 58 % de los caficultores abandona los envases vacíos dentro de la parcela (Figura 3), lo que podría causar contaminación del suelo, al filtrarse el escurrimiento del producto. Así mismo más del 50 % de ellos admitió no leer las etiquetas.



Figura 3. Agroquímicos encontrados en el suelo de las parcelas.

Ávila (2019), menciona que uno de los problemas ambientales, provocados por el uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, es la disposición final de los envases que pueden contener residuos causantes de contaminación de suelos y agua.

La fuente de agua más utilizada en los cultivos son las escorrentías o también denominadas temporal, el 68 % de los productores dependen de las condiciones climáticas, esto puede generar la distribución de los productos químicos o su pérdida.

Rodríguez (2016), menciona que las pérdidas de agroquímicos por escorrentía tienen lugar en aquellos con solubilidades > a 2 mg/ L. Por lo tanto, productos como glifosato y paraquat podrían perderse.

Otro rasgo importante es la persistencia que tiene el agroquímico en el suelo, como se puede observar en el cuadro de abajo los ingredientes activos utilizados con mayor frecuencia, tienen una vida prolongada en el suelo ya que son fuertemente absorbidos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Persistencia, solubilidad y contaminación del suelo de los ingredientes activos más usados (Elaboración propia con datos de diversas fuentes).

Ingrediente activo	Persistencia en el suelo	Contaminación del suelo
Glifosato	De 2 a 174 días Hasta 249 días en suelos agrícolas o 365 días	Fuertemente adsorbido Es inmóvil o casi inmóvil Permanece en las capas superiores del suelo
Paraquat	Hasta 1000 días	Fuertemente ligado al suelo Es Inmóvil o casi inmóvil. Queda absorbido por años en el subsuelo y sedimento.
Cipermetrina	2 a 4 semanas	Es inmóvil o casi inmóvil. Tiene bajo potencial de lixiviación.

De acuerdo con Sánchez y Sánchez (1985), los plaguicidas que son absorbidos pueden acumularse o dispersarse en el suelo y para que una de las dos acciones suceda dependerá de variables como: contenido de partículas inorgánicas, tipo de arcilla, contenido de materia orgánica, ph, entre otros.

Considerando que los tipos de suelo que predominan en las zonas de estudio son Phaeozems y Vertisol ricos en materia orgánica y arcilla (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2009), la degradación de estos químicos puede llegar a ser rápida.

A cerca de los posibles riesgos en la salud se obtuvo que el 84 % no usa ningún equipo de protección al momento de aplicar los agroquímicos, el 47 % los almacena en una bodega cerca de sus casas y el 21 % en el interior de su vivienda sin

ninguna medida de seguridad. Considerando que la mayoría tiene contacto directo con las sustancias podría existir riesgos en la salud, tales como náuseas, diarrea, irritación en la piel, irritación ocular, toxicidad aguda por ingestión, entre otros (Cuadro 3).

Mas aun, tanto el glifosato como el paraquat son catalogados como posiblemente cancerígenos (COFEPRIS , 2020).

Cuadro 3. Riesgos en la salud de los ingredientes activos más utilizados (Elaboración propia con datos de diversas fichas técnicas).

Ingrediente activo	Riesgo en la salud
Glifosato	Irritación en la piel, irritación ocular, toxicidad aguda por ingesta, malestar gastrointestinal con irritación de la boca, náuseas, vomito y diarrea, si se inhala puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas y probablemente cancerígeno para los seres humanos
Paraquat	Irritación en los ojos, puede causar reacciones alérgicas, posible carcinógeno y teratógeno, fatal si es ingerido, irritación respiratoria, tóxico en contacto con la piel.
Cipermetrina	Toxicidad oral moderada al inhalarse y moderadamente irritante a los ojos. Disminución de la actividad, temblores, convulsiones, pérdida del control de la vejiga, descoordinación y aumento de la sensibilidad a los ruidos.

Si solo el 16 % de los agricultores emplean como único EPP camisas de manga larga y botas, entonces no se esta cumpliendo con las medidas de seguridad mínimas. Por lo tanto, las caficultores están más propensos a padecer afectaciones en su salud.

Así mismo, al almacenar los plaguicidas en el interior de su casa o dentro de una bodega cerca de sus hogares implica un factor de riesgo al cual, no solo los aplicadores están expuestos, sino también sus familias.

Esto coincide con diversos estudios realizados, como en de Rodríguez, Magaña , Cetz y Quintal (2019), donde un alto porcentaje de agricultores no usa equipo de protección lo que evidencia la falta de conocimiento en el manejo de los agroquímicos.

Conclusión

En conclusión, la mayoría de los pequeños productores de café utiliza algún tipo de herbicida siendo el glifosato y paraquat los ingredientes activos usados con mayor frecuencia, cuyo uso carece de buenas prácticas agrícolas para el manejo de agroquímicos tales como: tratamiento de envases vacíos, uso de EPP y almacenamiento.

La falta de capacitación sobre el uso y manejo de agroquímicos podría causar ineficiencias de los productos, así como riesgos en el medio ambiente y salud de las personas, dado que los herbicidas utilizados son posibles cancerígenos y muy persistentes en la matriz suelo.

Considerando lo anterior resulta necesario establecer programas enfocados en el uso y manejo de agroquímicos más robustos y que reúnan a un mayor número de productores, así como la realización de análisis de suelos para esclarecer las posibles afectaciones.

Referencias

- Aguilera Márquez, D., Álvarez Solís, J. D., Arámbula Meraz, E., Arellano Aguilar, O., & Bastidas Bastidas, P. d. (2017). Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México. Obtenido de RAPAM .
- Ávila, E. P. (2019). Estrategia de educación ambiental para el mejoramiento del buen manejo de envases vacíos de agroquímicos en el corregimiento las Delicias del municipio de Ayapel-Córdoba.
- CEDRSSA. (2018). El café en México diagnóstico y perspectiva. Obtenido de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30EI%20caf%C3%A9%20en%20M%C3%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (agosto de 2020). Los apoyos directos a los productores de café y sus resultados. Obtenido de CEDRSSA: http://www.cedrssa.gob.mx/post_los_apoyos_directos_a_los_-_productores_de_cafn-n-_y_sus_resultados.htm
- COFEPRIS. (diciembre de 2020). Glifosato. Actualización 2020. Obtenido de <https://www.gob.mx/cofepris/articulos/glifosato-actualizacion-2020?idiom=es>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (s.f.). Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. Obtenido de COFEPRIS: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. (mayo de 2021). Paraquat y sus efectos a la salud humana. Obtenido de CONACYT: <https://conacyt.mx/cibiogem/index.php/comunicacion/comunicados-de-prensa/comunicados/comunicado-no-02-2021-paraquat-y-sus-efectos-a-la-salud-humana>
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz . (2020). Plagas del Cafeto. Obtenido de CESAVE Veracruz : <http://www.cesvver.org.mx/plagas-del-cafeto/>
- DECRETO . (diciembre de 2020). por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación. Obtenido de Diario Oficial de la Federación : https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020

- Gómez, S. L. (noviembre de 2019). Prácticas de uso de agroquímicos y disposición de recipientes en sistemas de producción agrícola: caracterización de hábitos y estimación de factores explicativos en Aquitania Boyacá. Obtenido de Repositorio Institucional-Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/46588/Tesis.final.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Emiliano Zapata, Veracruz de Ignacio de la Llave. Obtenido de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30065.pdf
- Martín, M. S., & Sánchez Camazano, M. (1985). Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. España .
- Rodríguez, A. G., Magaña Castro, T. V., Cetz Luit, J., & Quintal López, R. (2019). Uso de agroquímicos cancerígenos en la región agrícola de Yucatán, México. SCIELO, 72-83.
- Rodríguez, R. R. (2016). Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en aguas subterráneas mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos.
- SADER. (2018). México, onceavo productor mundial de café. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (abril de 2021). Desarrolla Agricultura acciones fitosanitarias en 11 estados productores de café. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/developa-agricultura-acciones-fitosanitarias-en-11-estados-productores-de-cafe?idiom=es>
- Universidad Veracruzana. (s.f.). Café de Veracruz, el de mayor calidad en el país. Obtenido de Universo Sistema de noticias UV: <https://www.uv.mx/prensa/reportaje/cafe-de-veracruz-el-de-mayor-calidad-en-el-pais/>

FORMACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN IODADOS A PARTIR DE LA OXIDACIÓN DE IOPAMIDOL EN UN PROCESO DE OZONO-UV-CL₂

ISRAEL LÓPEZ PRIETO¹, MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ², ROSARIO GALVAN RUIZ³,
OSWALDO GUZMÁN LÓPEZ⁴

Resumen

Los medios de contraste iodados (MCI) son una clase de contaminantes emergentes muy persistentes y recurrentes en cuerpos de agua superficiales y aguas residuales. De los 11 MCI que conforman este grupo, iopamidol es el más recurrente llegándose a encontrar en aguas subterráneas y en agua potable a concentraciones de hasta 30 µg/L. Existe preocupación a nivel global respecto a este contaminante emergente debido a que puede ser precursor de subproductos de desinfección iodados (SPD-I). Estos SPD-I son también compuestos orgánicos volátiles (COVs) que se forman mediante la reacción de agentes desinfectantes clorados, la materia orgánica disuelta y el iodo presentes en el agua. Los SPD-I llegan a presentar una toxicidad mayor que los subproductos de desinfección convencionales tales como los trihalometanos y los ácidos haloacéticos.

Este trabajo consiste en investigar al iopamidol como precursor de SPD-I a través de un tratamiento secuencial de ozono acoplado a UV y cloro libre. Para analizar los cambios de concentración del iopamidol se utilizó un sistema de cromatografía líquida con triple detector de masas (LC-MS/MS). Para medir la formación de SPD-I se utilizó un cromatógrafo de gases con detector de captura de electrones (GC-ECD) y un cromatógrafo de gases con detector de masas (GC-MS). De los resultados obtenidos, se encontraron dos nuevos SPD-I que no habían sido documentados hasta ahora; iodohaloacetoniitrilo y cloriodoacetamida, ambas pertenecientes a los grupos de haloacetoniitrilos y haloacetamidas respectivamente. El tratamiento compuesto por O₃-UV-Cl₂ generó hasta un 53% menos SDP-I que UV-Cl₂. En un tratamiento para reusar agua es recomendable utilizar ozono para minimizar la formación de SPD-I.

¹ Universidad de Arizona, Departamento de Ingeniería Química y ambiental, Tucson, Arizona, Estados Unidos de América. 1133 James E. Rogers Way, Tucson, AZ 85721, United States. isrlopez@uv.mx

² Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Coatzacoalcos. Av Universidad Veracruzana, Santa Isabel, 96538 Coatzacoalcos, Ver.

³ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Coatzacoalcos. Av Universidad Veracruzana, Santa Isabel, 96538 Coatzacoalcos, Ver.

⁴ Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Campus Coatzacoalcos. Av Universidad Veracruzana, Santa Isabel, 96538 Coatzacoalcos, Ver.

Palabras clave: Procesos de oxidación avanzada, medio de contraste iodado, haloacetamidas, haloacetamidas, haloacetamidas, reuso de agua.

Abstract

Iodinated contrast media (ICM) are a class of highly persistent and recurrent emerging contaminants in surface water bodies and wastewater. Of the 11 ICMs that make up this group, iopamidol is the most recurrent, being found in groundwater and drinking water at concentrations of up to 30 µg/L. There is global concern regarding this emerging contaminant because it can be a precursor to iodinated disinfection by-products (SPD-I). These SPD-I are also volatile organic compounds (VOCs) that are formed through the reaction of chlorinated disinfecting agents, dissolved organic matter and iodine present in water. SPD-Is become more toxic than conventional disinfection byproducts such as trihalomethanes and haloacetic acids.

This work consists of investigating iopamidol as a precursor of SPD-I through a sequential treatment of UV-coupled ozone and free chlorine. To analyze the changes in iopamidol concentration, a liquid chromatography system with triple mass detector (LC-MS/MS) was used. A gas chromatograph with electron capture detector (GC-ECD) and a gas chromatograph with mass detector (GC-MS) were used to measure the formation of SPD-I. From the results obtained, two new SPD-I were found that had not been documented until now; iodohaloacetoneitrile and chloriodoacetamide, both belonging to the groups of haloacetoneitriles and haloacetamides respectively. The treatment composed of O₃-UV-Cl₂ generated up to 53% less SDP-I than UV-Cl₂. In a treatment to reuse water, it is recommended to use ozone to minimize the formation of SPD-I.

Keywords: Advanced oxidation processes, iodinated contrast medium, haloacetamides, halo-ketonitriles, water reuse.

Introducción

Unos de los grandes retos que enfrentan los sistemas municipales de abastecimiento de agua potable, es el de producir agua potable libre de impurezas que sea confiable y segura de consumir. Sin embargo, se han documentado casos de la aparición de una larga variedad de contaminantes emergentes tales como los disruptores endocrinos, productos de higiene y cuidado personal y medicamentos en distintas fuentes de agua potable y dentro de la misma red de abastecimiento (Schwarzenbach *et al.*, 2006). Una de las clases de contaminantes emergentes más recurrentes son la de los medios de contraste iodados (MCI) o medios de contraste de rayos X. Estos MCI son utilizados principalmente durante procesos radiológicos como las resonancias magnéticas y las tomografías computarizadas. Los MCI son administrados a los pacientes vía intravascular con dosis que van hasta los 200 g por aplicación de los cuales hasta 100 g contienen yodo (Pauwels and Verstraete, 2006). Debido a sus características polares, estos microcontaminantes poseen una

alta hidrofiliidad (por ejemplo, iopamidol tiene un $K_{OW}=-2.5$). Debido a esto, los MCI son capaces de eludir los procesos biológicos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con bajas remociones (Pérez and Barceló, 2007). Por lo tanto, se pueden encontrar en cuerpos superficiales de agua hasta 100 $\mu\text{g/L}$ para ácido diatrizoico y en agua subterránea hasta en 10 $\mu\text{g/L}$ para iopamidol (Ternes and Hirsch, 2000). Existe una creciente preocupación respecto a estos microcontaminantes debido a que pueden representar una fuente importante de iodo durante el tratamiento o potabilización del agua. Esto consiste en que durante la desinfección el cloro libre reacciona con la materia orgánica disuelta y el iodo para formar subproductos de desinfección iodados (SPD-I) (Bichsel and Von Gunten, 2000). Se ha documentado que estos SPD-I son más tóxicos que los SPD convencionales tales como los trihalometanos y los ácidos haloacéticos (Wendel *et al.*, 2014).

Se han estudiado distintos procesos de oxidación avanzados para evaluar la remoción de los MCI en aguas. Por sí solo, un tratamiento con ozono es capaz de oxidar parcialmente los MCI mientras se genera iodato (IO_3^-). En el 2006 Seitz *et al.*, investigaron la atenuación de iomeprol utilizando ozono. En donde encontraron una baja remoción (<55%) debido a que estos compuestos presentan baja reactividad al ozono molecular (Seitz *et al.*, 2008). En el 2014 Tian experimentó la oxidación de iopamidol y sus SPD formados mediante un tratamiento con lámparas UV de baja potencia seguido por una cloración. Sus resultados sugieren que la fotólisis de iopamidol y subsecuente oxidación con cloro sirvió para formar altas concentraciones de SPD-I (trihalometanos iodados y ácidos haloacéticos iodados) (Tian *et al.*, 2014). Por lo tanto, en este trabajo se investigó la formación de SPD-I a través de la oxidación de iopamidol mediante un tratamiento secuencial de ozono-UV- Cl_2 .

Materiales y Métodos

Análisis de subproductos de desinfección iodados (SPD-I)

Seis trihalometanos-iodados (THM-I): bromocloriodometano, bromodiodometano, dicloriodometano, clorodiodometano, dibromiodometano, y yodoformo fueron determinados utilizando el método de la EPA 551.1, el cual utiliza extracciones líquido-líquido utilizando un cromatógrafo de gases con detector de electrones (LLC-GC/ECD). Las extracciones fueron llevadas a cabo utilizando alícuotas de 10 mL, en donde 5 mL de MTBE, 3 g de NaSO_4 y 20 μL de un standard interno (1,2-dibromopropano) fueron añadidos a la muestra. La mezcla fue agitada por alrededor de 3 minutos, luego fue dejada reposar por 5 minutos antes de la extracción de la capa superior orgánica. Después 1 mL del extracto fueron puestos en viales de 2 mL para el análisis utilizando GC/ECD. Las muestras fueron guardadas a -20°C por menos de 14 días antes de su análisis. El instrumento utilizado fue un GC Agilent 7890A equipado con un detector de captura de electrones (μECD). La columna

utilizada fue una HP-5 de 30 m X 0.32 mm X 0.25 μm . Los límites de detección (MDL) fueron en un rango de 0.1-1 $\mu\text{g/L}$.

Respecto al haloacetanitrilo (iodo-acetonitrilo) y tres haloacetamidas-iodadas: bromoiodoacetamida, diiodoacetamida, y cloroiodoacetamida fueron medidas utilizando el mismo método de la EPA pero utilizando una técnica de cuantificación por cromatografía de gases con detector de masas (GC-MS). El instrumento utilizado fue un GC Agilent 7890B con un detector de masas MSD 5977B. La columna fue B-5 de 30m X 0.25 mm X 1 μm . Los límites de detección (MDL) fueron de 1-5 $\mu\text{g/L}$

Análisis de iopamidol

El iopamidol fue medido mediante cromatografía líquida utilizando un sistema de UHPLC 1290. La separación fue llevada a cabo con una columna Agilent Poroshell 120 EC-C8 (4.6 x 100 mm, 2.7 μm) mantenido a 30 °C con un flujo constante de 0.5 mL/min. La detección se realizó mediante un detector de masas Agilent 6490 triple cuadrupolo (Agilent Technologies, Palo Alto, CA) equipado con tecnología jet stream y iFunnel. Una descripción más detallada del método puede encontrarse en Lopez-Prieto et al. (2020). Tres replicas fueron utilizadas en todo el experimento.

Análisis de iones inorgánicos

Análisis de ioduro, iodado, bromuro y bromado fueron llevados a cabo acoplando un cromatógrafo de iones (IC) a un plasma de acoplamiento inductivo con un detector de masas (ICP-MS). Para la separación de los analitos, un IC de Metrohm 850/4.0 con eluyentes de 3.8 mM Na_2CO_3 /1.2 mM NaHCO_3 con 100 mM de H_2SO_4 para la supresión. La detección de los analitos fue llevada a cabo mediante un Agilent 8800 ICP-MS con triple detector de masas en donde el efluente de la unidad supresora fue acoplada al flujo del nebulizador de la unidad ICP/MS. La detección de los iones fue hecha vía la m/z del bromo y yodo (127 y 79 respectivamente). La adquisición de datos fue llevada a cabo utilizando el software MassHunter 4.3 Workstation.

Preparación de la muestra

Como fuente de carbono se utilizó un extracto de materia orgánica natural (NOM) proveniente de Suwanne River (SR) 2R101 N que se adquirió de la sociedad internacional de sustancias húmicas (IHSS). Este extracto contiene compuestos aromáticos que sirven para simular un agua superficial sintética que simula ser tratada por procesos de tratamiento de aguas bajo reacciones controladas en el laboratorio. Una alícuota de la muestra fue preparada con un contenido SR de 6 mg/L y una solución tampón de fosfatos de 10 mM fue añadida para mantener un pH de 7.5 a lo largo del experimento. A esta agua sintética se le añadió iopamidol a

la concentración deseada. Durante cada ciclo del tratamiento un lote de esta agua residual sintética fue preparada.

Procedimiento de ozonación-UV fotólisis

Los experimentos de ozonación fueron llevados a cabo utilizando un generador de ozono ITT Wedeco, que generaba una solución stock de ozono de 50 mg O₃/L mediante burbujeo de gas ozono por un difusor a un contenedor de vidrio con doble chaqueta que previamente se llenó con agua ultrapura. El contenedor fue previamente enfriado a 1 °C mediante un sistema de recirculación del agua fría.

Una alícuota del concentrado de ozono fue colocada en los matraces con una alícuota del agua residual sintética en donde se llegó a la concentración deseada de 4 mg O₃/L. El proceso de ozonación continuó hasta que el ozono fue completamente agotado (~ 3 minutos). La concentración del stock o concentrado de ozono y el ozono residual fue medido mediante el método de indigotrisulfato (ITS). Detalles de este procedimiento pueden ser encontrados en Rakness et al. (2010). Las dosis de ozono implementadas en este trabajo fueron de 0 y 4 mg O₃/L.

Después del tratamiento con ozono, la fotólisis por UV fue llevada a cabo mediante un equipo de WEDECO LP/MP UV collimated beam device (CBD). El cual utilizó cuatro lámparas de UV de baja presión (NLR2036). Las dosis de UV fueron determinadas mediante actinometría de uridina. Detalles de esta metodología pueden ser encontrados en Jin *et al.*, (2007). Para cada dosis de ozono, las muestras de agua fueron colocadas bajo las lámparas UV para alcanzando las siguientes dosis de UV: 0, 500, 1000, y 1500 mJ/cm². El objetivo de utilizar estas dosis fue el de investigar a que dosis de UV el iopamidol es completamente removido, además de monitorear la liberación de yoduro (I⁻) y iodato (IO₃⁻) acuoso. El experimento fue llevado a cabo por triplicado.

Análisis de potencial de formación

Después de la ozonación e irradiación con UV, las muestras de agua fueron dosificadas con hipoclorito de sodio a 10 mg Cl₂/L. Una alícuota de esta agua clorada fue utilizada para pruebas de formación de potencial durante 3 días. Las muestras fueron colocadas en viales de vidrio ámbar de 60 mL con tapas de teflón sin espacio de cabeza (sin nada de aire) en un cuarto oscuro a temperatura ambiente. Se mantuvo en agitación durante los primeros 5 minutos posterior a la cloración y después se dejó reposar por un tiempo de 3 días. Se escogió este tiempo porque es el promedio de tiempo que puede estar el agua almacenada antes de ser utilizada. Al término de los 3 días, se utilizó un agente neutralizante de bisulfito de sodio de 50 mg/L (Quenching agent) para detener la reacción del cloro. Una vez detenida la reacción del cloro, se tomaron distintas muestras para medir la concentración final de iopamidol, yoduro, iodado y los SPD-I respectivamente.

Resultados y Discusión

Remoción de iopamidol y formación de yoduro y yodato

Durante el tratamiento que no involucró ozono (dosis= 0 mg O₃/L). el proceso de UV fotólisis resultó en una alta remoción de iopamidol. Una remoción >95% se logró durante la dosis de UV de 1000 mJ/cm². Esto es debido a que la fotólisis directa puede romper el enlace covalente entre el yodo y carbono, liberando yoduro en la solución (Tian *et al.*, 2014). Además, iopamidol tiene una afinidad a reaccionar con el cloro $K_{app}=0.25 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$ (F. X. Tian *et al.*, 2017), aunque su reactividad depende del tiempo de reacción. Durante los 3 días de reacción con el cloro, iopamidol fue removido hasta un 85% (durante UV= 0 mJ/cm²). El tratamiento de UV-Cl₂ fue efectivo en remover iopamidol. La liberación de yoduro y la formación de yodato tuvieron algunas diferencias que se observan en la figura 1 (Formación de yoduro y yodato). Básicamente el proceso de UV fotólisis liberó yodo en forma de yoduro del iopamidol. Mientras que el cloro también liberó yodo en forma de yoduro del iopamidol restante por un mecanismo de sustitución de halógenos. El yoduro en la solución reacciona con el cloro libre para formar yodato ($K_{app}= 1.3 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$). Además de formar yodato también se forma ácido hipoyodoso, este ácido reacciona con la materia orgánica disuelta ($K_{app}= 5.5 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$) para formar distintos SPD-I como se ve en la figura 2 (Potencial de formación de SPD-I). Las reacciones que se llevan a cabo en este proceso se presentan a continuación:

- 1) $\text{Iopamidol} + h\nu \rightarrow \text{I}^- + \text{compuesto órgano-yodado}$ $K_{app}=3.3 \times 10^{-3} \text{ S}^{-1}$
- 2) $\text{Iopamidol} + \text{HOCl/OCl}^- \rightarrow \text{I}^-$ $K_{app}=0.25 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$
- 3) $\text{I}^- + \text{HOCl/OCl}^- \rightarrow \text{HOI}$ $K_{app}= 1.3 \times 10^7 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$
- 4) $\text{HOCl/OCl}^- + \text{HOI} \rightarrow \text{IO}_3^-$ $K_{app}= 1.4 \times 10^2 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$
- 5) $\text{HOI} + \text{materia orgánica natural} \rightarrow \text{SPD-I}$ $K_{app}= 5.5 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{S}^{-1}$

El tratamiento que utilizó ozonación acoplado al UV, mejoró sustancialmente la remoción de iopamidol. Como se ve en la figura 1 (Remoción de iopamidol). El iopamidol es conocido por tener una baja reactividad con el ozono molecular (Park *et al.*, 2017). No obstante, la formación de radicales hidroxilos generados a partir de la reacción del ozono con las sustancias húmicas del SR tienen un papel importante en la oxidación del iopamidol (Ning and Graham, 2008). Los radicales hidroxilo tienen una alta afinidad por los compuestos aromáticos en donde existen una sustitución electrofílica en el anillo aromático del iopamidol, el cual libera yodo en forma de yoduro (Rosario-Ortiz, Wert and Snyder, 2010). La oxidación de yoduro a yodato vía ozono molecular es muy rápida, con una reacción de segundo orden (Liu *et al.*, 2001). La transformación a yodato es ventajosa debido a que el yodato es muy estable y no tiene reactividad con el cloro libre para formar SPD-I (Önnby *et al.*, 2018). Como se aprecia en la figura 1 (Formación de yodato), la concentración de yodado es mucho mayor cuando se utilizó un pretratamiento con ozono. Curiosamente, cuando se incrementa la dosis de UV, se disminuye la concentración de yodato. Este cambio puede ser atribuido a la reducción de yodato a yoduro por UV

fotólisis. Resultados similares han sido reportados por (Tian *et al.*, 2017). En lo general las tendencias en la formación de yoduro a partir de la oxidación de iopamidol fue la misma que el tratamiento sin ozono. Se presentan las reacciones entre el ozono y iopamidol a continuación:

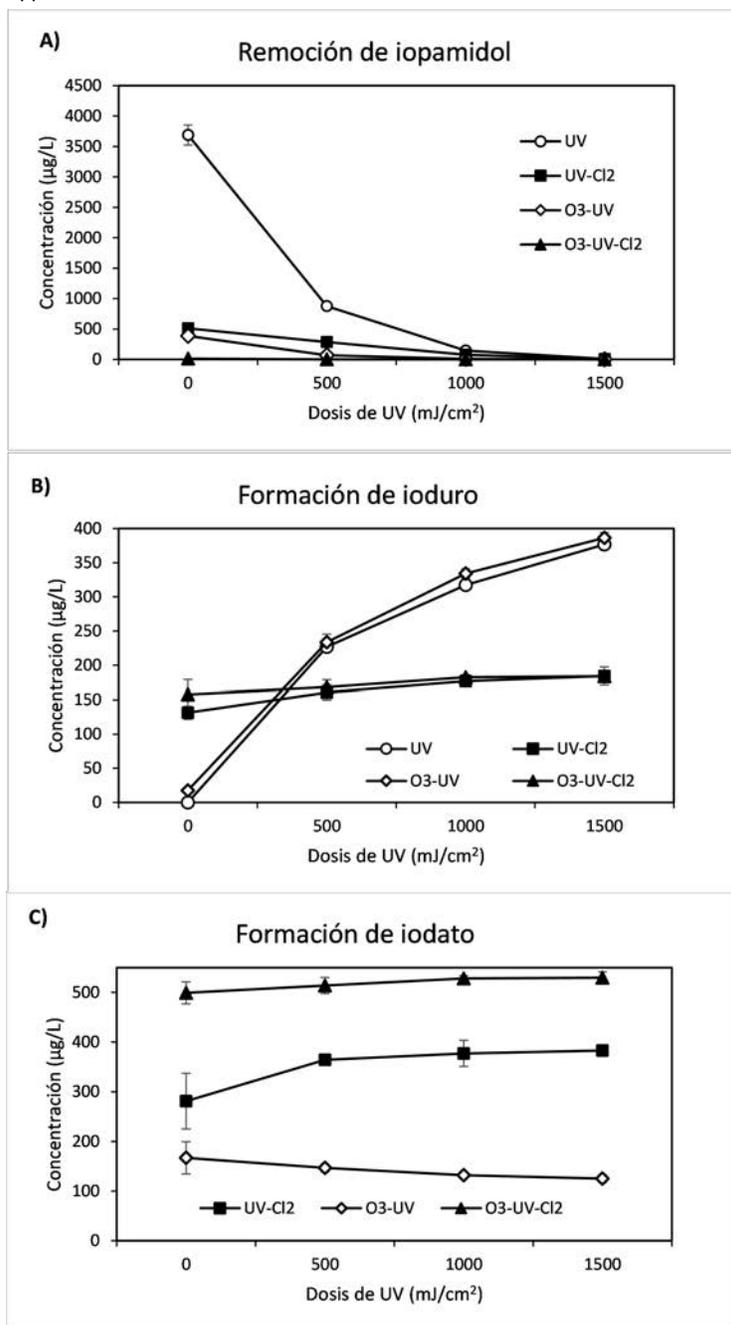
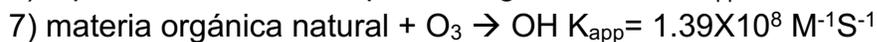


Figura 1 A) Remoción de iopamidol, B) Formación de yoduro, C) Formación de yodato

Formación de los subproductos de desinfección iodados (SPD-I)

En general los procesos de fotólisis por UV no influyen directamente la formación de THM-I, pero incrementa la demanda de cloro por la modificación de las estructuras de los grupos funcionales dentro de la materia orgánica disuelta (DOM). Durante la oxidación de iopamidol sin ozono ($O_3 = 0 \text{ mg } O_3/L$) y UV-Cl₂ fueron detectados dicloriodometano (DCIM), clorodiodometano (CDIM) y iodoformo (IF) que pertenecen a la clase de los trihalometanos iodados (THM-I). Iodoacetnitrilo (IACN) y cloriodoacetamida (CIACM) fueron también detectados y pertenecen a las familias de los haloacetnitrilos y haloacetamidas respectivamente. Estas dos clases de SPD pertenece a la familia de subproductos de desinfección nitrogenados (SPD-N), los cuales son una clase emergente de SPD y pueden ser más citotóxicos que los SPD que actualmente son regulados por la EPA (Le Roux *et al.*, 2017). La figura 2 muestra el potencial de formación de los SPD-I durante UV-Cl₂ y O₃-UV-Cl₂ respectivamente.

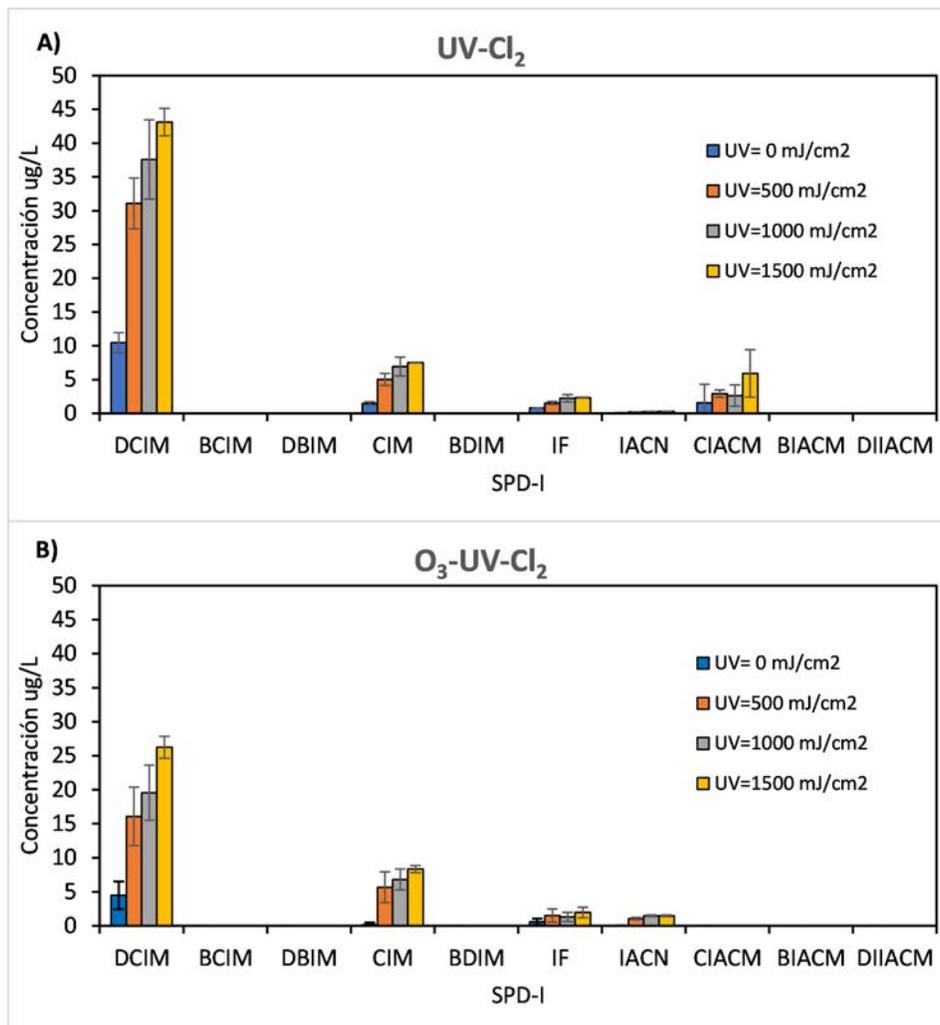


Figura 2. Potencial de formación de subproductos de desinfección iodados (SPD-I) A) UV-Cl₂ B) O₃-UV-Cl₂

El tratamiento de ozono-UV-Cl₂ redujo ligeramente la formación de algunos SPD-I en comparación con UV-Cl₂. Esto es debido a que la ozonación antes del UV y la cloración ha servido para oxidar parcialmente iopamidol a iodado y reducir la contribución de yodo como yoduro para la potencial formación de más SPD-I. En este tratamiento fueron detectados DCIM, CDIM, IF y IACN. La figura 2 muestra el potencial de formación de estos SPD-I durante O₃-UV-Cl₂.

Conclusión

Los resultados aquí mostrados demuestran que existe una ligera diferencia para remover iopamidol entre UV-Cl₂ y ozono-UV-Cl₂ (96-98%). La fotólisis por UV es el principal mecanismo de remoción de iopamidol y liberación de yoduro. Al incrementar la dosis de UV, se incrementó la concentración de yoduro en la solución. Por lo tanto, iopamidol tiene un rol importante como precursor inorgánico de yodo en la formación de SPD-I. A dosis de UV de 1000 mJ/cm² la remoción de iopamidol fue de hasta 96%. Añadir cloro al agua sintética después de la irradiación por UV permitió la formación de distintos SPD-I, además de oxidar el yodo remanente en el iopamidol a iodato. Los SPD-I detectados fueron dicloriodometano (DCIM), clorodiodometano (CDIM), yodoformo (IF), iodoacetnitrilo (IACN), y cloroiodoacetamida (CIACM). Un pretratamiento con ozono permitió al iopamidol ser parcialmente oxidado a iodato, después el iopamidol restante fue oxidado a yoduro por fotólisis de UV. Este tratamiento secuencial debería ser implementado para controlar la formación de SPD-I en efluentes con alto contenido de medios de contraste iodados.

Referencias

- Bichsel, Y. and Von Gunten, U. (2000) 'Formation of iodo-trihalomethanes during disinfection and oxidation of iodide-containing waters', *Environmental Science and Technology*, 34(13), pp. 2784–2791.
- Jin, S. et al. (2007) 'Actinometry, Biosimetry, and Mathematical Techniques', *Journal of Environmental Engineering*, 132(8), pp. 831–842.
- Liu, Q. et al. (2001) 'Kinetics and Mechanisms of Aqueous Ozone Reactions with Bromide, Sulfite, Hydrogen Sulfite, Iodide, and Nitrite Ions', *Inorganic Chemistry. American Chemical Society*, 40(17), pp. 4436–4442.
- Lopez-Prieto, I. J. et al. (2020) 'A direct injection liquid chromatography tandem mass spectrometry method for the kinetic study on iodinated contrast media (ICMs) removal in natural water', *Chemosphere. Elsevier Ltd*, 243, p. 125311.
- Ning, B. and Graham, N. J. (2008) 'Ozone Degradation of Iodinated Pharmaceutical Compounds', *Journal of Environmental Engineering*, 134(12), pp. 944–953.
- Önnby, L. et al. (2018) 'Ozone and chlorine reactions with dissolved organic matter - Assessment of oxidant-reactive moieties by optical measurements and the electron donating capacities', *Water Research*, 144, pp. 64–75.
- Park, M. et al. (2017) 'Predicting trace organic compound attenuation by ozone oxidation: Development of indicator and surrogate models', *Water Research. Elsevier Ltd*, 119, pp. 21–32.
- Pauwels, B. and Verstraete, W. (2006) 'The treatment of hospital wastewater: An appraisal', *Journal of Water and Health*, 4(4), pp. 405–416.
- Pérez, S. and Barceló, D. (2007) 'Fate and occurrence of X-ray contrast media in the environment', *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 387, pp. 1235–1246.
- Rakness, K. L. et al. (2010) 'Operator-friendly technique and quality control considerations for indigo colorimetric measurement of ozone residual', *Ozone: Science and Engineering*, 32(1), pp. 33–42.
- Rosario-Ortiz, F. L., Wert, E. C. and Snyder, S. A. (2010) 'Evaluation of UV/H₂O₂ treatment for the oxidation of pharmaceuticals in wastewater', *Water Research. Elsevier Ltd*, 44(5), pp. 1440–1448.
- Le Roux, J. et al. (2017) 'Chloramination of wastewater effluent: Toxicity and formation of disinfection byproducts', *Journal of Environmental Sciences*, 58, pp. 135–145.
- Schwarzenbach, R. P. et al. (2006) 'The Challenge of Micropollutants in Aquatic Systems', *Science. American Association for the Advancement of Science*, 313(5790), pp. 1072–1077.
- Seitz, W. et al. (2008) 'Formation of oxidation by-products of the iodinated X-ray contrast medium iomeprol during ozonation', *Chemosphere*, 70(7), pp. 1238–1246.

- Ternes, T. A. and Hirsch, R. (2000) 'Occurrence and behavior of X-ray contrast media in sewage facilities and the aquatic environment', *Environmental Science and Technology*, 34(13), pp. 2741–2748.
- Tian, F. et al. (2017) 'Phototransformation of iodate by UV irradiation : Kinetics and iodinated trihalomethane formation during subsequent chlor (am) ination', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 326, pp. 138–144.
- Tian, F. X. et al. (2014) 'Photodegradation kinetics of iopamidol by UV irradiation and enhanced formation of iodinated disinfection by-products in sequential oxidation processes', *Water Research*, 58, pp. 198–208.
- Tian, F. X. et al. (2017) 'Chlor(am)ination of iopamidol: Kinetics, pathways and disinfection by-products formation', *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 184, pp. 489–497.
- Wendel, F. M. et al. (2014) 'Transformation of iopamidol during chlorination', *Environmental Science and Technology*, 48, pp. 12689–12697.

TOXICIDAD EN SEDIMENTOS MARINOS DE LA ZONA COSTERO CENTRAL DE VERACRUZ

SALVADOR JAIME MERLO RODRÍGUEZ¹, CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ², MAGNOLIA GRICEL SALCEDO GARDUÑO³, ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN⁴.

Resumen

La alta concentración poblacional de habitantes de las zonas urbanas y la creciente industrialización, han contribuido a la contaminación por sustancias como compuestos organoclorados, metales pesados y derivados del petróleo en los ecosistemas marinos; estos contaminantes debido a sus características químicas tienden a depositarse en los sedimentos donde pueden bioacumularse y representar un riesgo ambiental y de salud pública, ya que todos ellos presentan una reconocida toxicidad. El objetivo del presente trabajo fue determinar el nivel de toxicidad de los sedimentos marinos superficiales durante la temporada de lluvias, en el que fueron considerados sitios con diferentes actividades antropogénicas. Se tomó en consideración las recomendaciones metodológicas de la NMX-110-1995-SCFI, los datos fueron analizados mediante el uso del paquete estadístico STATISTICA V 7.0. Los resultados obtenidos en los sitios que se encuentran con una mayor toxicidad son aquellos que se ubican en la zona sur de Veracruz, probablemente por el efecto de corrientes ya que el sitio que presentó un mayor índice de toxicidad es el Morro con 15% de mortandad a comparación con Antón Lizardo con un 6 % de mortandad en la temporada de lluvias.

Palabras clave: Sedimentos marinos, toxicidad, temporadas, actividad antropogénica, vida acuática.

Abstract

The high population concentration of inhabitants of urban areas and the growing industrialization have contributed to contamination by substances such as organochlorine compounds, heavy metals and petroleum derivatives in marine ecosystems; These pollutants, due to their chemical characteristics, tend to settle in the sediments where they can bioaccumulate and represent an environmental and public health risk, since all of them have recognized toxicity. The objective of the

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) Kilómetro 12 Carretera Veracruz- Córdoba. CP 94290, Boca del Río, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) Kilómetro 12 Carretera Veracruz- Córdoba. CP 94290, Boca del Río, Veracruz. christianreyes@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) Kilómetro 12 Carretera Veracruz- Córdoba. CP 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) Kilómetro 12 Carretera Veracruz- Córdoba. CP 94290, Boca del Río, Veracruz.

present work was to determine the level of toxicity of the superficial marine sediments during the rainy season, in which sites with different anthropogenic activities were considered. The methodological recommendations of the NMX-110-1995-SCFI were taken into consideration, the data were analyzed using the statistical package STATISTICA V 7.0. The results obtained in the sites with the highest toxicity are those located in the southern zone of Veracruz, probably due to the effect of currents since the site that presented the highest toxicity index is El Morro with 15% mortality. compared to Antón Lizardo with 6% mortality in the rainy season.

Keywords: Marine sediments, toxicity, seasons, anthropogenic activity, aquatic life.

Introducción

Durante el siglo XX se produjeron innumerables cambios en el ritmo de crecimiento y producción de la civilización humana, el desarrollo de la agricultura intensiva, la concentración a gran escala de las zonas urbanas y la creciente industrialización han contribuido a la contaminación global (Arias, 2010) muchos de estos compuestos son liberados y depositados de forma permanente a pesar de su reconocida toxicidad (Savinov, 2003).

En las zonas portuarias, la estructura social y económica establecida en sus alrededores han influido de mayor a menor medida sobre los aspectos ambientales de los diferentes ecosistemas costeros marinos, produciendo efectos contaminantes, además, las industrias que suelen rodearla por lo general producen lodos industriales o lodos de tratamiento, además esas zonas sufren el vertido de residuos urbanos tanto de tipo doméstico, pluvial e industrial (Chicana, 2014) por lo que muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos que se originan son depositados y concentrados en los sedimentos acuáticos.

La toxicidad que se deriva de la contaminación, tiene diferentes efectos negativos sobre los organismos acuáticos y terrestres, lo que lleva el interés de una evaluación con ensayos ecotoxicológicos (Hodal, 2003) ya que se implementan para identificar, analizar y evaluar, áreas de mayor y menor contaminación, evaluar la calidad del sedimento y efluentes residuales que provengan de Ríos o Zonas Costeras, determina la interacción entre contaminantes, distribución espacial y temporal de la contaminación (Chapman, 2007).

Por ello se analizará la toxicidad presente en los sedimentos marinos y su efecto en un organismo bioindicador (*Artemia salina kelloggs*), además mostrará la variación de la ecotoxicidad de los sedimentos marinos de la zona costero central de Veracruz durante la temporada de lluvias con referencia a la norma NMX-AA-110-1995-SCFI

Materiales y métodos

Zona de estudio

Este estudio se realizó en la zona costero central de Veracruz, ubicada a lo largo de las latitudes 19°12'58" (Norte), 96°09'18" (Oeste) y 19°03'47" (Norte), 95°59'33" (Oeste) ésta cuenta con un clima cálido sub húmedo y con una precipitación anual de 125% de acuerdo a CONAGUA (2021).

Selección de los sitios

A lo largo de esta línea de costa se establecieron cinco sitios de muestreo; para su selección se consideró la actividad antropogénica dentro de la zona de estudio (Presencia de sectores turísticos, condominios, hoteles, bares, restaurantes y pesquerías o ausencia visible de estas actividades).

Las playas seleccionadas fueron Zona Norte, Playa Martín, El Morro, Río Jamapa y Antón Lizardo, la zona costera central de Veracruz (Figura 1) y se caracterizaron de acuerdo a las principales actividades que se realizan en ellas (cuadro 1).



Figura 1.- Localización de las áreas de estudio Mapa ArcMap, 2021. Fuente propia
Cuadro 1. Caracterización de las zonas de muestreo de acuerdo a las actividades antropogénicas.

sitio	Coordenadas	Actividades antropogénicas
Antón Lizardo	19°03'47" Norte	Pesquerías, restaurantes, bares, hospitales, unidades habitacionales, condominios, escuelas y ferreterías
	95°59'33" Oeste	
Río Jamapa	19°05'55" Norte	Pesquerías, unidades habitacionales, hoteles restaurantes, farmacias, campos agrícolas, escuelas y talleres mecánicos
	96°06'27" Oeste	
El Morro	19°06'58" Norte	Hoteles, bares, restaurantes, condominios, farmacias y talleres.
	96°06'11" Oeste	
Playa Martí	19°10'20" Norte	Bares, restaurantes, cafeterías, hoteles, centros nocturnos, actividades turísticas, plazas y farmacias.
	96°07'08" Oeste	
Zona Norte	19°12'58" Norte	Industrias, bares, restaurantes, actividades náuticas, mercados, hospitales, bancos y laboratorios de reactivos
	96°09'18" Oeste	

Muestreo en playa

El muestreo se realizó durante los meses de agosto y septiembre 2021 en la temporada de lluvias establecidas para la región de estudio (CONAGUA, 2021).

El muestreo en las playas se realizó de acuerdo a la NMX-AA-110-1995-SCFI para ello se utilizó un nucleador de PVC de 26 cm de largo por 9.23 cm de diámetro y con un forro interno de nylon.

Las muestras que se consideraron para el análisis corresponde a la lámina superior del sedimento que cuenta con un espesor de 3 cm y masa húmeda de aproximadamente 2 kg.

Las muestras de sedimento se colocaron en bolsas de polietileno cerradas herméticamente, posterior a su colecta y se transportaron dentro de una hielera con una temperatura refrigerante a $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) para su procesamiento.

Procesamiento de las muestras en el laboratorio

El procesamiento de las muestras de sedimento consistió en la toma y registro de parámetros fisicoquímicos como salinidad, temperatura y el pH.

Método de prueba de toxicología CL₅₀

Este estudio se realizó con base en la referencia a la NMX-AA-110-1995-SCFI donde se estipulan los parámetros para la evaluación de toxicidad aguda con *Artemia franciscana Kellogg's*.

El tipo y diseño de investigación fue experimental y estático, ya que se emplearon las variables como la temporada y el área de estudio, como la que es la mortandad de los nauplios de *Artemia* respecto a la toxicidad encontrada dentro de los sedimentos, el uso del toxico de referencia es utilizado como un control para analizar los efectos de la bioacumulación que se presentan en la variable (mortandad de nauplios) y así utilizar los datos para comprobar la linealidad y correlación entre las variables. Se empleó un diseño experimental completamente controlado y estático en bloques de 6 con 4 repeticiones.

Se realizó un diseño experimental de cinco concentraciones al 100%, 50%, 25%, 12%, 6 % más un blanco como testigo, para esta prueba se utilizó un toxico de referencia (Dodecil Sulfato de Sodio). Se pesó en una balanza analítica 10 g de sedimentos para posteriormente inocularlo dentro de las concentraciones. Cada tratamiento se realizó por repeticiones de cuatro veces por cada unidad experimental, obteniendo un total de 240 individuos estudiados (Figura 2).

Cada unidad experimental consistió en colocar 10 individuos en un matraz de 250 mL, donde se colocó la dilución de las muestras de sedimento a las diferentes concentraciones, además de agregarle, una solución de agua salina previamente preparada a una temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 h posterior a ello se realizó

su lectura visual para obtener el número de supervivientes después de ser sometidos a los contaminantes que se encuentran en el sedimento marino.

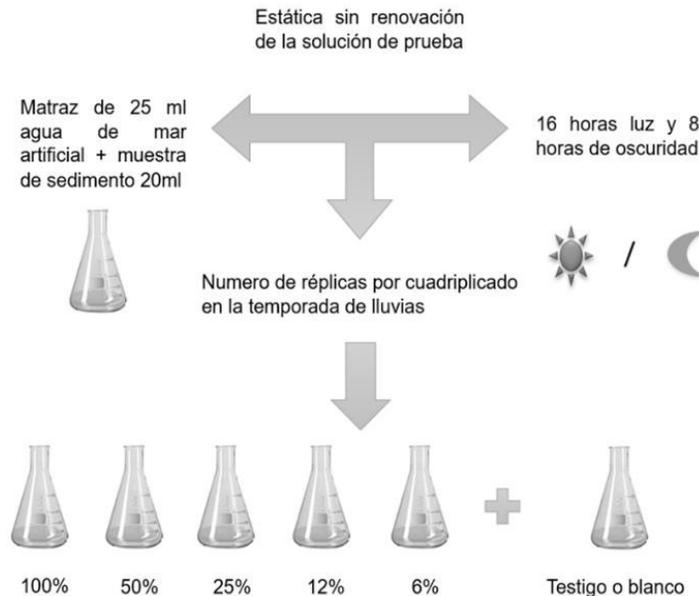


Figura 2. Esquema del plan de trabajo para los ensayos de acuerdo a la NMX- AA-110-1995-SCFI

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de análisis de varianza para determinar si existían diferencias con relación a los porcentajes de mortandad en los diferentes sitios, para ello se realizó una prueba de normalidad y la prueba de Levene’s para cotejar que existiera homogeneidad entre las varianzas.

Los datos obtenidos de la prueba de toxicología CL₅₀ se llevaron al programa estadístico Statistica v 7.0

Resultados y discusión

La prueba que se realizó con el toxico de referencia (Dodecil Sulfato de Sodio) mostro resultados sobre la mortandad a partir de las concentraciones de 16 ml/L y 32 ml/L, mostrando que el organismo bioindicador seleccionado es viable para implementarlo en el análisis de CL₅₀.

En los resultados obtenidos se refleja la existencia sobre la una homogeneidad de los valores (Cuadro 2), donde se vuelve factible el realizar una prueba de análisis de varianza para comparar los resultados de cada sitio.

Cuadro 2. Resultado de la prueba de Levene’s, para las muestras analizadas.

Efecto MS	Error Ms	F	P
0.002552	0.001576	1.619711	0.220864

En el Cuadro 3 se muestran las mortandades promedio de los organismos de prueba (*Artemia salina Kellogg's*) en los sedimentos superficiales pertenecientes a los diferentes sitios de muestreo de la zona costero central de Veracruz. Los sitios El Morro y Río Jamapa presentaron mayor mortandad de los organismos de prueba con 15% y 12.25% a diferencia de las mortandades promedio presentes en el sitio de Antón Lizardo que fue menor con 6%.

Cuadro 3. Mortandades promedio de los organismos de prueba (*Artemia salina Kellogg's*) en los sedimentos superficiales en los sitios de muestreo.

Sitios de muestreo				
Antón Lizardo	Río Jamapa	El Morro	Playa Martí	Zona Norte
6%	12.25%	15%	7%	9%

El resultado de la prueba del análisis de varianza indico la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre sitios $F_{(4,15)}=25.898, p \leq 0.05$, con relación a los diferentes porcentajes de mortandad (Cuadro 4).

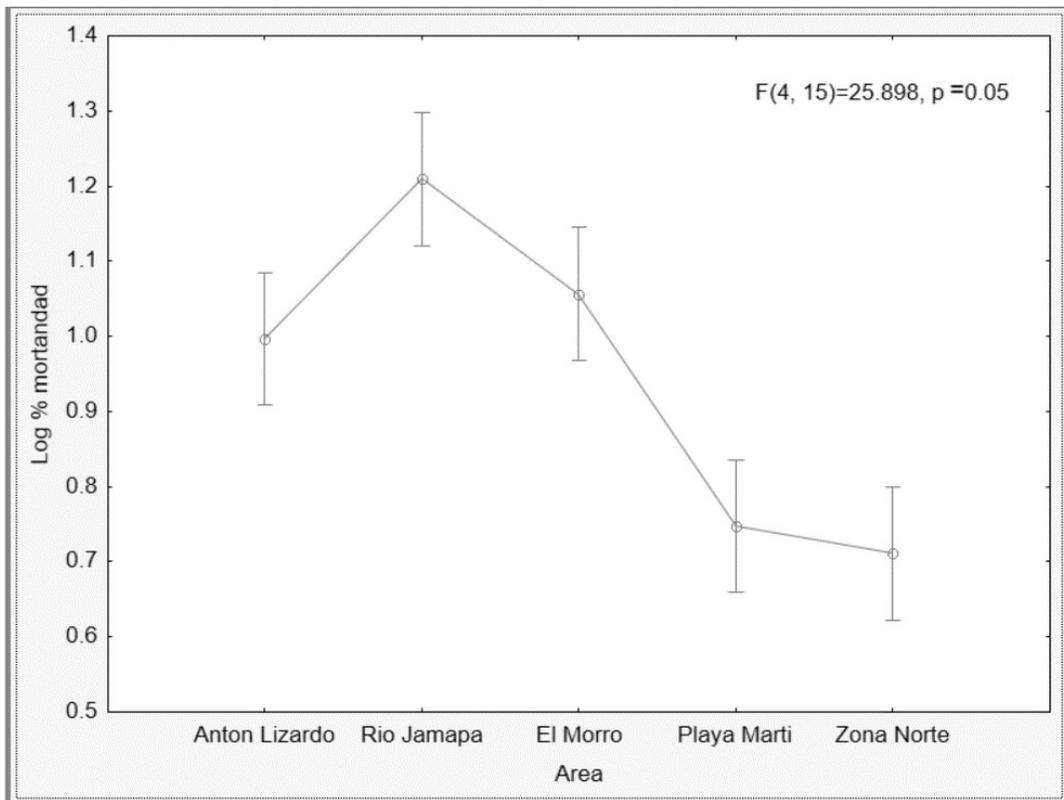


Figura 3. Variación de logaritmo de porcentajes de mortandad en los sedimentos superficiales de los diferentes sitios de muestreo

En el cuadro 4, se observan las diferencias y similitudes que se presentan entre los sitios de muestreo en donde se muestra a Antón Lizardo que es diferente a Río Jamapa a diferencia del sitio de muestreo El Morro el cual es similar a Antón Lizardo y Río Jamapa, por ultimo Playa Martí y Zona Norte son similares entre sí, pero diferentes a los demás sitios de muestreo.

Cuadro 4. Valores medios de la mortandad (log) presentes den cada una de las muestras de sedimentos superficiales de los sitios de muestreo.

Sitio	Antón Lizardo	Río Jamapa	El Morro	Playa Martí	Zona Norte
	0.996±0.058 ^a	1.209±0.042 ^b	1.056±0.070 ^{ab}	0.747±0.119 ^c	0.711±0.100 ^c

Valores con literales diferentes, expresan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

Todos los sitios de la zona central de Veracruz tuvieron toxicidad, un total de 5 muestras de sedimentos superficiales recolectadas de cinco sitios de muestreo en la zona costero central de Veracruz desde los meses de agosto y septiembre de 2021 que corresponden a la temporada de lluvias (CONAGUA, 2021) mismos que fueron estudiados a diferentes concentraciones estipuladas en la norma de referencia y analizados con un programa estadístico STATISTICA v 7.0

En este estudio los índices de mortandad registrados en los sitios Río Jamapa y El Morro pueden estar asociado a la magnificación de contaminantes en el sedimento marino como un efecto del acarreamiento de sólidos, escorrentías durante la temporada de lluvias y drenajes pluviales urbanos característicos de las desembocaduras de ríos como lo mencionan (Ruiz, 2011 y Monreal, 2020).

De acuerdo al programa de Hidrograma de CONAGUA (2021) muestran los valores máximos y mínimos de precipitación el mes de Marzo (22.7 mm) hay una precipitación menor de y Junio (276.7 mm) lo que podría producir un daño irreversible dentro del ambiente marino producto de las actividades antropogénicas y contaminantes, mismos que son desplazados por medio de escorrentías y corrientes marinas esto es corroborado por Eggleton & Thomas (2004) quienes hacen mención acerca de la removilización de contaminantes asociados a los sedimentos puede ocurrir durante eventos naturales como mareas y tormentas o actividades antropogénicas aumentando la biodisponibilidad de contaminantes en la columna de agua.

Otro factor que puede estar asociado a la presencia de mayor mortandad en los sitios El Morro y Río Jamapa son el régimen de corrientes imperantes del Golfo de México que pueden acarrear diversos contaminantes al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) como los efluentes cercanos (Antigua, Jamapa y Papaloapan), ya que traen consigo desechos industriales, agropecuarios y domésticos de la región central del estado de Veracruz, arrastrando grandes cantidades sedimento y metales (Fe, Mn y ZN), fertilizantes y plaguicidas al medio (Morlan, 2005).

La similitud que se observó entre Antón Lizardo y El Morro en la (figura 3) puede deberse a la presencia de diversas actividades antropogénicas en la zona y aledañas al Río Jamapa como ingenios, industrias, comercios y constructoras que vierten sus desechos a las costas veracruzanas como lo menciona Botello y colaboradores (1996). Esto afecta estos sitios por la cercanía que presentan al Río Jamapa además de las actividades observadas y registradas del muestreo de

prospección como lo fue la presencia de hoteles, bares, restaurantes, condominios, farmacias, talleres, pesquerías, hospitales, escuelas y ferreterías.

Las similitudes observadas en Playa Martí y Zona Norte se pueden deber a su cercanía al puerto comercial de Veracruz, la cual es recurrida por la actividad turística y portuaria. Hayasaka (2014) menciona que los problemas ambientales que generan mayor impacto son relacionados con las actividades portuarias, también las actividades de ampliaciones del puerto y la infraestructura construida, asimismo Botello (2005) considera que los buques pueden contaminar las aguas con hidrocarburos de dos formas: contaminación aguda (producto de los derrames accidentales de petróleo) y contaminación crónica, producto de las descargas constantes de hidrocarburos al agua en menor concentración (gradualmente se acumulan en el ambiente) es por ello que pueden presentar cierta toxicidad dentro de sus sedimentos.

Para Boran (2017) la contaminación crónica provocada por los buques se da por la liberación de desechos que contienen hidrocarburos provenientes de combustibles, aceites lubricantes, aceites hidráulicos, compuestos orgánicos volátiles. Estos datos son comprobados por Sandoval (2020) quien demuestra que las playas aledañas al puerto de Veracruz, se encuentran dentro del rango de hidrocarburos que componen al Diésel (entre C9-C27), que es empleado como combustible de los buques siendo esta la principal fuente de contaminación por hidrocarburos ya que la exposición en concentraciones de 300 ml/L pueden llegar a ser altamente mutagénico, carcinogénico, teratógeno y bioacumulable, es por ello que la exposición crónica a hidrocarburos afecta el metabolismo, estructura y función celular. Sin embargo, los valores registrados en este estudio se encontraron dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Por lo cual los porcentajes bajos de toxicidad presentes en los sitios en Playa Martí y Zona Norte pueden estar relacionados a las bajas concentraciones.

Conclusión

Se concluye que los sitios ubicados al sur, cercanos a la desembocadura del Río Jamapa presentan una mayor toxicidad de los sedimentos superficiales, puede deberse a escorrentías y efectos de corrientes marinas que recorren a lo largo de la zona costero central de Veracruz, mientras que para las Zona Norte y Playa Martí muestran unos menores índices de toxicidad debido a que están ubicados dentro del centro comercial y marítimo por lo que su toxicidad proviene de los hidrocarburos implementados y regulados por LMP dentro de esta área.

Referencias

- Boran, M. (2017). Pollution of marine environment by ship. *Cercetari Marine*, 244-248.
- Botello, A.V., G. Rojas, J. Benitez, y D. Zárate. 1996. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. México, EPOMEX Serie Científica 5.666 p.
- Botello V., A. y Vélez Ponce, G. (2005). Niveles de hidrocarburos en el Golfo de México. Golfo de México, MakeLowercase Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Campeche.
- Eggleton, J., & Thomas, K. V. (2004). A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environment international*, 30(7), 973-980.
- Chapman, P. M. (2007). Determining when contamination is pollution—weight of evidence determinations for sediments and effluents. *Environment International*, 33(4), 492-501.
- Chicana, M., & Jarvis, H. (2014). Toxicidad de los lodos marinos de Puerto Salaverry en *Artemia* sp. de la Federación, D. O. (1996). NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de agua. Evaluación de toxicidad aguda con *Artemia franciscana* Kellogg (Crustacea-Anostraca). Método de prueba Dirección General de Normas, México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2021). Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional 2021. Gobierno de México.
- Diario Oficial de la Federación (1996). NMX-AA-110-1995-SCFI. Análisis de agua. Evaluación de toxicidad aguda con *Artemia franciscana* Kellogg (Crustacea-Anostraca). Método de prueba Dirección General de Normas, México.
- Hayasaka-Ramírez, S. y Ortiz-Lozano, L. (2014). Anthropogenic pressure indicators associated with vessel groundings on coral reefs in a marine protected area. *Ciencias Marinas* 20, 237-249.
- Hondal, O. C., Arencibia-Carballo, G., Molledalo, M. I., González, C., Triana, G., & Gattorno, N. M. (2003). Bioensayo de toxicidad con *Artemia franciscana* (Crustacea-Branchiopoda) en extractos de sedimento superficial del golfo de Guacanayabo, Cuba. *Revista de Toxicología en Línea (RETEL)*, 38, 32-50.
- Morlán-Cahue, Y., & Opeño-Piña, H. (2005). Determinación de Metales (Fe, Mn, Pb, y Zn) en Macroalgas Clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. Golfo de México, 373.
- Monreal, D. S. (2017). Corrientes superficiales dentro del corredor arrecifal del Suroeste del Golfo de México. *UVserva*, (3).

- Monreal, D. S., Díaz-Hernández, A., Áke-Castillo, J. A., Granados-Barba, A., & Riverón-Enzástiga, M. L. (2020). Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México): hidrografía del río Jamapa. *Intropica*, 59-65.
- Ruiz, M. D. L. Á. P., de Jesús Alcaraz, Z. T., Rangel, M. A., Avalos, H. Z. D. L. C., & Ortiz-Lozano, L. (2011). Principales Problemáticas de la Zona Conurbada; Veracruz, Boca del Río y Medellín: Causas y actores involucrados.
- Sandoval-Herazo, E. J., Saucedo-Rivalcoba, V., Gutiérrez-Rivera, B., Hernández-Martínez, R., & Lizardi-Jiménez, M. A. (2020). Diagnostic hydrocarbon pollution in Veracruz beaches and airlift bioreactor as suggestion of remediation. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(3), 1227-1241.
- Savinov, V. M., Savinova, T. N., Matishov, G. G., Dahle, S., & Næs, K. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorines (OCs) in bottom sediments of the Guba Pechenga, Barents Sea, Russia. *Science of the Total Environment*, 306(1-3), 39-56.

ESTUDIO ECONÓMICO-AMBIENTAL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE AGUAS RESIDUALES EN INSTITUCIONES PÚBLICAS. CASO DE ESTUDIO

HAYDEE NANCY ALVARADO ROMERO¹, MARTIN MARQUEZ ESPINOZA², MARICRUZ GUTIÉRREZ BRAVO³

Resumen

El agua es un recurso vital y fundamental para todas las formas de vida, lo que la convierte en uno de los recursos esenciales de la naturaleza y donde involucra valores económicos que en la mayoría de los casos no es observado. Los humedales artificiales como parte de un sistema de tratamiento de aguas residuales, almacenan y contribuyen a mejorar la calidad del agua por métodos naturales de filtración de sedimentos y procesos químicos. El presente estudio pretende demostrar que los humedales artificiales como sistemas de tratamiento de aguas residuales son capaces de resolver los procesos de remoción de contaminantes en aguas negras dando como resultado agua tratada para uso de actividades cotidianas y secundarias, es decir no apta para consumo humano, pero, logrando disminuir los riesgos de contaminación ambiental, además que brindan una diversidad de ventajas de las cuales podemos mencionar los siguientes: eficiencia del 85 al 90% con respecto a sus costos operativos y de mantenimiento en comparación con otros sistemas de tratamiento como PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales), ya que no requieren de infraestructura costosa ni de personal especializado en su operación. Los procesos de remoción de sólidos suceden en un ecosistema natural a través de las raíces de las plantas sembradas sobre los sustratos; sin embargo, como en todos los sistemas que se diseñan y desarrollan, existen ventajas y desventajas que se deben cuantificar y comparar, es decir, se deben conocer y evaluar la inversión económica y el impacto ambiental que este ocasiona.

Palabras clave: Estudio de factibilidad, contaminación ambiental, ecotecnologías, aguas tratadas, agua potable, consumo humano, inversión económica.

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, (ITSAV), Escolleras norte S/N Col. La Trocha, C.P. 95250 Alvarado, Veracruz. haydeenancy@itsav.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, (ITSAV), Escolleras norte S/N Col. La Trocha, C.P. 95250 Alvarado, Veracruz. mark-es.96@itsav.edu.mx

³ Universidad del Valle de México, campus Boca del Río, Veracruz. Av. Urano, Av. Progreso Esq., Jardines de Mocambo, 94299 Boca del Río, Ver. marigb291@hotmail.com

Abstract

Water is a vital and fundamental resource for all forms of life, which makes it one of the essential resources of nature and where it involves economic values that are not observed in most cases. Constructed wetlands, as part of a wastewater treatment system, store and help improve water quality through natural methods of sediment filtration and chemical processes. This study aims to demonstrate that artificial wetlands as wastewater treatment systems are capable of solving the removal processes of contaminants in sewage, resulting in treated water for use in daily and secondary activities, that is, not suitable for human consumption. but, managing to reduce the risks of environmental contamination, in addition to providing a variety of advantages of which we can mention the following: efficiency of 85 to 90% with respect to its operating and maintenance costs compared to other treatment systems such as WWTP (wastewater treatment plants), since they do not require expensive infrastructure or specialized personnel in their operation. Solid removal processes occur in a natural ecosystem through the roots of plants planted on the substrates; however, as in all systems that are designed and developed, there are advantages and disadvantages that must be quantified and compared, that is, the economic investment and the environmental impact that it causes must be known and evaluated.

Keywords: Feasibility study, environmental pollution, ecotechnologies, treated water, drinking water, human consumption, economic investment.

Introducción

La SEMARNAT define como agua residual al agua contaminada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. Las fuentes principales de generación del agua residual son: origen doméstico, industrial y agrícola (Hernández, 1990), cuyas características se describen a continuación:

Origen doméstico. Procedentes de casas habitación. Es inodora y su color es gris amarillento o blanco; en este tipo de descargas o vertidos se incorporan productos orgánicos, inorgánicos y microorganismos.

Origen industrial. Proceden de actividades industriales como residuos de materias primas, productos de transformación y acabados, así como temperatura. En estas aguas pueden aparecer productos tóxicos, iones metálicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas y elementos radioactivos, entre otros.

Origen agrícola. Éstas concentran sustancias procedentes de las actividades agrícolas y ganaderas como pesticidas, herbicidas, residuos varios y estiércol.

Ante el incremento en la generación de aguas residuales la tecnología ha obligado a buscar y aplicar alternativas de depuración eficientes. A medida que va creciendo la población el volumen de aguas residuales domésticas va en aumento, en muchos casos con un elevado porcentaje de materia orgánica que al ser vertidas sin algún tipo de tratamiento provocan la contaminación no sólo de cuerpos receptores como ríos, lagos o mares, sino también contamina el recurso suelo. La contaminación originada por este tipo de aguas producto de las actividades diarias del ser humano, ha repercutido de forma negativa en el ambiente y la salud, provocando un alto costo ambiental, sin embargo, para disminuir este problema se busca alternativas de solución. Con el fin de resolver este problema se han implementado plantas de tratamiento de aguas residuales denominadas "PTAR" Plantas de tratamiento de rápida instalación, que ayudan a reducir la toxicidad de estas aguas, pero con el tiempo se vuelven difíciles de implementar, por el hecho sus altos costos para su implementación, mantenimiento, en el uso de energía y por último el uso de químicos para reducir la contaminación que estas aguas contiene, cabe mencionar que a no se debe confundir una PTAR con PTAP ya que estas son Plantas de Tratamiento de Agua Potable. Actualmente se han dejado de lado los tratamientos convencionales y se han desarrollado diferentes investigaciones orientadas al tratamiento de las aguas residuales buscando que una viabilidad ecológica, económica, técnica y social para dar una mejor solución.

Planteamiento del problema

En la actualidad las aguas residuales que son vertidas por instituciones públicas en el Rio Jamapa, ha ocasionado que este se vea afectado por la contaminación que emana de los desechos dispuestos en él.

El Tecnológico de Boca del Rio, es una de las instituciones que no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales y por lo tanto vierte sus desechos al rio Jamapa sin ser tratados.

El Rio Jamapa es uno de los ríos que desemboca en el mar y en él se originan muchos de los contaminantes que afectan las franjas costeras. Los ríos tienen la particularidad de concentrar los contaminantes que captan en las cuencas algunos puntos clave en la costa marina, donde precisamente existen ecosistemas altamente sensibles para la reproducción de especies tanto de agua dulce como salada, se produce alteración de las funciones ecológicas, reducción de la diversidad biológica, daño a los hábitats acuáticos y contaminación de los cauces bajos y en los ecosistemas marinos y efectos en la salud humana. La pérdida de especies (por estos efectos) es muy marcada.

Por consecuencia en la región, el vertimiento de aguas no tratadas al río junto al reducido cubrimiento de los servicios sanitarios ha abonado un clima favorable para la propagación de muchas enfermedades de transmisión hídrica y para la creación de situaciones de eutrofización.

Las aguas residuales que no reciben un tratamiento adecuado dado que en la mayoría de los casos se necesitan sistemas de tratamiento eficientes para el manejo de las aguas residuales que requieren inversiones sustanciales de capital que las comunidades no están en capacidad de pagar.

Es debido a las necesidades de tratamiento y a la falta de recursos que surgen los sistemas naturales de tratamiento como alternativa para suplir dichas necesidades. El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida.

Métodos aplicados para la justificación de la inversión.

Los resultados de esta investigación se demuestran como indicadores económicos, operativos y de mantenimiento que coadyuvan a implementar humedales artificiales en instituciones públicas educativas que no cuenten con tratamiento de sus aguas residuales, mitigando la contaminación antes de su vertimiento a cuerpos de agua superficial. Los criterios utilizados en la evaluación de este proyecto están en función de diversos objetivos y de la forma de medir, considerar y especificar los recursos requeridos y los beneficios por obtener, en cada caso particular (Weitzenfeld, 1996).

El estudio económico y financiero de un proyecto se refiere a diferentes conceptos, sin embargo, según Baca Urbina 2006 es un proceso que busca la obtención de la mejor alternativa utilizando criterios universales; es decir, la evaluación la cual implica asignar a un proyecto un determinado valor. Dicho de otra manera, se trata de comparar los flujos positivos (ingresos) con flujos negativos (costos) que genera el proyecto a través de su vida útil, con el propósito de asignar óptimamente los recursos financieros.

Todo lo anterior sirve para la toma de decisiones importantes: como inversión y financiamiento. De esta forma el criterio de evaluación debe responder a la pregunta de cuál es la mejor alternativa y qué tan productiva es la utilización del recurso capital. Los instrumentos para establecer este valor son llamados coeficientes de evaluación y existen dos criterios: privada y social.

El análisis económico financiero nos proyecta una evaluación económica de cualquier proyecto de inversión. A través de un estudio o evaluaciones realizadas podemos saber si es rentable o no dicha inversión.

Tomemos en cuenta los costos de producción, estos están formados o constituidos por siete elementos los cuales son: Materias Primas, Mano de Obra Directa, Mano de Obra Indirecta, Material Indirectos, Insumos, Costos de Mantenimiento, Cargos por Depreciación y Amortización por otra parte la inversión se conoce como un gasto a la creación, encaminado a bienes de capital y a la realización de proyectos que se presumen lucrativos. Este se clasifica en: Inversiones

Tradicionales, Inversiones no Tradicionales, Inversiones en Estudios, Inversiones en Gastos Previo a la puesta en marcha.

Para este caso utilizaremos como método de evaluación de inversión, la TIR o Tasa Interna de Retorno, siendo esta la suma del valor actual o presente de los gastos con la suma del valor actual o presente de los ingresos previstos. Además, es un indicador de la rentabilidad de un proyecto; a mayor TIR, mayor rentabilidad. Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR se compara con una tasa mínima; si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa de descuento, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

Se consideró la recopilación de información de campo y de escritorio a través de instrumentos de evaluación, y donde se describe cuatro aspectos relevantes con las siguientes variables:

1. Promedios comparativos de costo de potabilización de agua en cuatro ciudades del País.

TARIFA URBANO MEDIO			
CIUDAD	\$ METRO	METROS	TOTAL
	CUBICO	CUBICOS	
Cd. México	8.43	60	\$505.80
Cd. Monterrey	9.92	60	\$595.20
CD. Mérida	7.16	60	\$429.60
Cd. Veracruz-Boca del río.	15.75	60	\$945.00
	\$41.26	240.00	\$2,475.60
	4	4	4
PROMEDIO/60 LTS.	10.315	60	618.9
CONCEPTOS	COSTO PROMEDIO 60 mts 3 DIARIOS	DÍAS AÑO	COSTO PROMEDIO ANUAL (COPRA)
AHORROS	618.9	365	225,898.50

FUENTE: CONAGUA. 2019. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Gerencia de Fortalecimiento de Organismos Operadores.

2. Fuentes de suministro de agua potable en la zona de influencia.

De acuerdo al Inventario de PTAR que realiza CONAGUA En el municipio de Boca del Río existen 5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, pero solamente dos funcionan al 80 por ciento, el resto no opera, lo cual está provocando índices de contaminación en las aguas del municipio, mientras el ayuntamiento y la empresa

concesionaria (Grupo CAB) no han recurrido a fondos que Conagua destina para la rehabilitación de las plantas. La zona a la cual está destinado el Humedal Artificial únicamente abarca a la comunidad escolar y estudiantil del Instituto Tecnológico Superior de Boca del Rio, esto quiere decir que el plantel será el primer plantel en el municipio en tener su propio sistema de tratamiento de aguas residuales.

La disponibilidad de agua se ha convertido en una cuestión importante para todos los Gobiernos en las regiones mediterráneas. Sin embargo, las consecuencias del cambio global no solo afectarán a la disponibilidad de agua, sino también a su calidad y a los servicios eco sistémico.

Cuadro 1. Análisis de alternativas de PTAR

SISTEMA DE TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACION	LITROS DE AGUA TRATADA
PTAR BOCA DELRIO	Lodos activados	Se tiene proyecto de a 120 l/s, por aireación de burbuja Fina	40 L P S
PTAR FRACCIONAMIENTO TAMPIQUERA	Lodos activados	Se requiere concluir su rehabilitación y la construcción de un cárcamo de bombeo. Dar de baja.	30 L P S
PTAR HERIBERTO KEHOE VINCENT (FRACC. PETROLERA)	Lodos activados	Esta planta fue desmantelada, las aguas residuales de este fraccionamiento se envían a la planta Costa de oro.	20 L P S

3. Analisis comparativo de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	BENEFICIOS	HABITANTES /EFICIENCIA	INVERSIÓN INICIAL	L/ AGUA TRATADA	COSTO OPERATIVO ANUAL	%
PLANTA DE TRATAMIENTO. De lodos activados (aerobio) en la modalidad de aireación extendida y un sistema secuencial que permite la oxidación total.	Planta de tratamiento de agua negra con capacidad a tratar 60 m ³ /día (equivalente a 0.69 L.P.S)	Baja producción de lodos de desecho. Alta remoción de contaminantes. Bajo costo de operación y mantenimiento. Puede permanecer sin energía eléctrica hasta 6 horas. (80 % del costo de operación es energía eléctrica).	331 – 426 Se considera una descarga por habitante de 180. lt/día de aguas negras (Indicativo)	\$1,324,837.16	60 m ³ /día	\$206,996.00	16%
PLANTA DE TRATAMIENTO Reactor Anaerobio Híbrido de Flujo Ascendente	Capacidad de tratar un volumen diario de 68 m ³ equivalente a 2,040 m ³ almes.	No exige elementos electromecánicos (de alto voltaje), químicos y/o bacterias. Aporta subproductos como biogás y abono orgánico (Dependiendo de su capacidad). Fácil de operar. Bajo costo de mantenimiento.	300- 400 Se considera una descarga por habitante de 180. lt/día de aguas negras (Indicativo)	\$1,786,452.00	68 m ³ / día	\$198,000.00	11%

		Una vez estabilizado (3 meses) puede certificarse ante PROFEPA y obtener la certificación de Calidad Ambiental.					
HUMEDALES CONSTRUIDOS	Capacidad de volumen diario 60 m3	No exige elementos electromecánicos (de alto voltaje) Las bombas de agua accionan por flotador Bajo costo de mantenimiento fácil operación	300-330 Utiliza un sistema de dosificación de aguas negras. 60 m3 en 72 horas	\$ 560,860.60 Valor estimado del cárcamo de almacenamiento \$ 1, 200.000.00 Total 1, 760, 860.60	60 m3 /día	\$ 169,769.76	10%

4. Revisión del costo operativo del humedal artificial implementado en el ITBOCA.

Para la etapa de ejecución, el calendario de inversiones por año y la distribución del monto total de inversión en los componentes del proyecto o en sus principales rubros identificando el costo por supervisión de la obra.

COSTOS OPERATIVOS ANUALES COMPARADOS	PLANTA DE TRATAMIENTO De todos activados (aerobio) en la modalidad de aireación extendida y un sistema secuencial que permite la oxidación total.	PLANTA DE TRATAMIENTO Reactor Anaerobio Híbrido de Flujo Ascendente	HUMEDALES CONSTRUIDOS	PROYECTO FINANCIADO POR INBURSA
ANUALES	ANUALES	ANUALES	ANUALES	ANUALES
AHORROS PROMEDIO ANUAL EN EL COSTO DEL AGUA (60MT3)	225,898.50	225,898.50	225,898.50	225,898.50
COSTO OPERATIVO ANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO	\$206,996.00	\$198,000.00	\$169,769.76	\$577,439.60
DEFICIT O SUPERAVIT ANUAL	\$18,902.50	\$27,898.50	\$56,128.74	-\$351,541.10
INVERSIÓN EN EL PROYECTO	\$1,324,837.16	\$1,786,452.00	\$560,860.60	\$1,798,774.08

Conclusiones

La aplicación a escala real de la tecnología de tratamiento de aguas contaminadas desarrollada a lo largo de la investigación, quedó plasmada en el sistema de humedal artificial construido en aproximadamente 400 mt/2 de terreno, en el interior del Instituto Tecnológico de Boca del Río en la ciudad de Boca del Río., Veracruz. Este sistema de tratamiento está diseñado para un tiempo de vida útil de aproximadamente 20 años, sin embargo, los humedales artificiales de flujo sub-superficial una vez instalados y operados adecuadamente, tienen un ciclo de vida

renovable y una capacidad de remoción de contaminantes presentes entre 80% y 90%.

El humedal artificial con ornato expuesto se encuentra en proceso de estabilización, no obstante, ha demostrado su capacidad para reducir significativamente el contenido de carbono y bacterias coliformes, a niveles que permiten cumplir con la calidad del agua para uso en cuerpos acuáticos recreativos en donde las personas tengan contacto directo con la misma.

Recomendaciones

Como recomendación final, se observa que el tratamiento por humedales es una alternativa factible en términos de costos, ya que es el más bajo, por lo que, en comparación, de los tres sistemas de tratamiento, resulta mejor los humedales artificiales en términos económicos.

Las diferencias de remoción en los tratamientos se atribuyen a que los humedales con vegetación contribuyen a la provisión de oxígeno al agua a través de las raíces, facilitando la oxidación bioquímica dentro del humedal; mientras que en los humedales de control la provisión de oxígeno fue por difusión directa de la atmósfera. En términos del mantenimiento y operación de los humedales, los humedales artificiales demostraron ser una alternativa económicamente viable y amigable al ambiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Referencias

- Baca Urbina Gabriel, Evaluación de proyectos, 5ª edición, México, McGraw Hill, 2001. Alarcon-Herrera, M., Zurita-Martinez, F., Hadad, H., Garcia-Perez, A., Vidal, G., Maine, M., & Vera-Puerto, I. (2018). Alarcón Herrera, M. T., Zurita Martínez, F., Hadad, H., García Perez, A., Vidal, G., Maine, M. Humedales de tratamiento: alternativa de tratamiento de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ali, Z., Mohammad, A., Quraishi, U., & Malik, R. (2018). Treatment efficiency of a hybrid constructed wetland system for municipal wastewater and its suitability for crop irrigation. . *International journal of phytoremediation*, 20(11), 1152.
- Carbajal, A., & González, M. (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. España: Universidad Complutense de Madrid. España.
- Chen, G., Luo, J., Jiang, L., & Tian, L. (2018). Characteristics and Influencing Factors of Spatial Differentiation of Urban Black and Odorous Waters in China. *Sustainability*, 10(12), 4747.
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: humedales artificiales*. Mexico: Comisión Nacional del agua.
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del agua en México*. México: Comisión Nacional del agua.
- Echeverry Velez, A., Girado Agudelo, J., Maya, D., & Antonio, M. (2016). Condiciones socio-culturales en el asentamiento manantiales de paz su influencia en las diferentes dinámicas de gestión del agua comunitaria para el consumo humano. Caso: manantiales de paz, Municipio de Bello, Antioquia, Colombia. Bachelor's thesis, Escuela Arquitectura y Diseño.
- Garcia-Sanchez, J., Aguilera-Terrats, J., & Castillo-Rosas, A. (2011). Guia técnica para la construcción de escalas de actitud. *Odiseo, revista electrónica pedagógica.*, (8), 16.
- Hernandez-Salazar, A., Moreno-Seceña, J., & Sandoval-Herazo, L. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), 75-87
- Milanes-Hernandez, E. (2007). *Diseño de humedal artificial subsuperficial de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en la UCLV*. Cuba: Universidad central Marta Abreu de las Villas
- Sandoval, L., Zamora-Castro, S., Vidal-Alvarez, M., & Marin-Muñiz, J. (2019). Sandoval, L., Zamora-Castro, S. A., VRole of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Applied Sciences*, 9(4), 685.

PANDEMIA Y MEDIO AMBIENTE: RETOS Y PERSPECTIVAS

ARMANDO ADRIANO FABRE¹, MODESTA LORENA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ², RAFAEL MARCELINO PÉREZ ENRÍQUEZ³, JOSÉ MIGUEL PÉREZ ENRÍQUEZ⁴

Resumen

El objetivo de la investigación consiste en analizar el panorama general en el que se ubica el medio ambiente en el contexto pandémico, como resultado de la relación indefectible que existe entre la naturaleza y la humanidad. Como parte del estudio, se considera el abordaje de tres vertientes: en primera, el marco normativo que tiene como propósito garantizar la efectividad real de aquellas disposiciones que declaran un derecho subjetivo o un principio director referido al medio ambiente; en segunda, la perspectiva bioética como ciencia de fronteras interesada en la naturaleza en un sentido amplio; en tercera, la promoción de una responsabilidad compartida que contribuya a derribar la degradación ambiental. Su estructura metodológica es de corte documental con enfoque cualitativo centrada en las ciencias sociales como área de estudio; se utilizan los métodos deductivo y dogmático, en virtud de que se combinan diversas reflexiones sobre la vinculación de la pandemia con el cuidado del medio ambiente, aunado a la progresiva positivación de este último como un bien jurídico del Estado constitucional. Los resultados son afines con la emergente necesidad de hacer planteamientos sustentables y normativos que resuelvan los conflictos que están afectando el medio ambiente, lo que permite concluir que es imprescindible identificar los cambios estructurales profundos con acciones a corto y largo plazo que detonen el impulso hacia el respeto a la naturaleza.

Palabras clave: Humanidad, pandemia, bioética, degradación ambiental.

Abstract

The objective of the research is to analyze the general panorama in which the environment is located in the pandemic context, as a result of the unfailing relationship that exists between nature and humanity. As part of the study, a three-pronged approach is considered: first, the regulatory framework that aims to guarantee the real effectiveness of those provisions that declare a subjective right or a guiding principle referring to the environment; second, the bioethical perspective as a frontier science interested in nature in a broad sense; third, the promotion of a

¹ Universidad Veracruzana, (UV), Calzada Juan Pablo II, Fraccionamiento Costa Verde, C. P. 94294, Veracruz, Ver. aadriano@uv.mx

² Universidad Veracruzana, (UV), Calzada Juan Pablo II, Fraccionamiento Costa Verde, C. P. 94294, Veracruz, Ver.

³ Universidad Veracruzana, (UV), Calzada Juan Pablo II, Fraccionamiento Costa Verde, C. P. 94294, Veracruz, Ver.

⁴ Universidad Veracruzana, (UV), Calzada Juan Pablo II, Fraccionamiento Costa Verde, C. P. 94294, Veracruz, Ver.

shared responsibility that contributes to bringing down environmental degradation. Its methodological structure is documentary with a qualitative approach focused on the social sciences as an area of study; Deductive and dogmatic methods are used, by virtue of the combination of various reflections on the link between the pandemic and care for the environment, coupled with the progressive positivity of the latter as a legal asset of the constitutional State. The results are in line with the emerging need to make sustainable and regulatory approaches that resolve the conflicts that are affecting the environment, which allows us to conclude that it is essential to identify deep structural changes with short and long-term actions that trigger the impulse towards the respect for nature.

Keywords: Humanity, pandemic, bioethics, environmental degradation.

Introducción

En esta investigación se analiza el panorama general en el que surgió la pandemia Covid-19 derivado de la degradación ambiental producto de la relación entre el hombre y la naturaleza, situación que nos ha obligado a enfrentarnos a nuevos retos ambientales. Asimismo, se advierte la necesidad de estudiar dicho escenario desde una perspectiva bioética, con el propósito de posicionar al derecho ambiental como un área indispensable para impulsar el desarrollo sustentable.

Materiales y método

Es una investigación de corte documental nutrida de información cualitativa de diversos libros afines a la temática que se plantea –medio ambiente y bioética-. Se utilizó el método deductivo y dogmático por ser los más apropiados para el perfil de esta investigación, ya que se realizó una reflexión general del estado que guarda el medio ambiente en el contexto de la pandemia, concatenando dicho estudio con la perspectiva bioética, el marco normativo aplicable y el desarrollo sustentable.

Retos ambientales de la pandemia

El autor Brian J. Preston (Preston, 2012) define a los problemas ambientales como policéntricos y multidisciplinarios en virtud de que todo está conectado con lo demás. No se puede hablar de problemas ambientales como una situación aislada, sino como el resultado de un todo, dado a que de la interacción errada del ser humano con la naturaleza devienen un sinnúmero de problemas como: incendios forestales, residuos peligrosos y desde luego, el cambio climático que cada día agrava la situación de vida en el planeta.

En ese sentido, la aparición de la pandemia Covid-19 evidenció que el desarrollo de la humanidad ha construido un mundo frágil y poco sustentable que ahora se encuentra en el límite de su funcionamiento. Este virus nos obligó a replantearnos la manera en la que nos desarrollamos con la naturaleza, ya que a medida en que el ser humano continúa transformando y degradando a los ecosistemas naturales,

las posibilidades de ponernos en riesgo aumentan. Si se continua con la tendencia de alterar el equilibrio de la naturaleza con la población de manera desfavorable, se proliferarán nuevas especies de microorganismos que tendrán contacto con los humanos y pueden convertirse en nuevos patógenos (Andersen, Rambaut, Lipkin, & Holmes EC, 2020).

Por ello es esencial cambiar la dirección del desarrollo de nuestra especie con acciones encaminadas a la sustentabilidad, entendida como el desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Andersen, Rambaut, Lipkin, & Holmes EC, 2020).

Para esto, habrá que buscar nuevas alternativas y acciones a corto y largo plazo; desde luego los cambios serán paulatinos, pero sin retroceso, dado a que deben diseñarse con prontitud a fin de reactivar la economía en la postpandemia. Cada una de las acciones empleadas impactarán a futuro, por lo que de esta manera se considera que pudiese frenar diversas vicisitudes ambientales: crisis del cambio climático, pérdida de biodiversidad, entre otros. Los principales retos a los que nos enfrentamos son los siguientes:

1) Reparar la relación ser humano-naturaleza.- Desde el año pasado, a comienzos de la pandemia, en diversos medios de comunicación se proliferaron noticias de hechos ocurridos durante la cuarentena obligatoria, tales como: imágenes de delfines en Venecia, hierba crecida en áreas citadinas, abejas polinizando en áreas donde no solían hacerlo, diferentes animales caminando por zonas urbanizadas, entre otros; esto nos indica que como parte de nuestro desarrollo como sociedad, hemos expandido nuestra existencia en espacios donde la flora y fauna habitaban previamente, por lo que en el ejercicio de la humanidad racional, es momento de buscar una manera de coexistir con la naturaleza, y no desplazar especies o los espacios de éstas.

2) Financiamiento para proteger las áreas naturales.- Nuestro país tiene compromisos severos con el medio ambiente debido a que está obligado a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la ONU (Organización de las Naciones Unidas, 2019) en ese sentido, vislumbramos que el gobierno mexicano debe implementar diversas estrategias para continuar creando Áreas Naturales Protegidas, al mismo tiempo que se continúen manteniendo las que ya existen, y que cumplen la función de proteger la vida de todos los seres vivos, ante la necesidad de recuperar la vitalidad de nuestro planeta, combatir el cambio climático y la pérdida de ecosistemas que proporcionan la biodiversidad.

3) Restauración económica con huella en el desarrollo sostenible. - Diversos autores comparan al impacto económico de la pandemia Covid-19 con la Gran Depresión de 1929-1932 (Tassell, 2019), lo cierto es que la situación actual es distinta. Es fácil observar cómo la población humana ha crecido sobreexplotando los recursos naturales, dejando a su paso una atmosfera contaminada, cada vez hay menos agua limpia y desde luego el suelo está mucho más erosionado, por lo que día a día, las condiciones del planeta no son las mismas. Pese a que la capacidad de recuperación es menor, se debe fomentar nuevas maneras de producción e impulsar sectores limpios, con menor uso de recursos naturales, así como concientizar sobre el consumo de los sectores más contaminantes que gozan de importantes incentivos económicos y es ahí en donde se ha buscado impulsar el uso de energías renovables –por ejemplo- que contribuye al desarrollo sustentable y sostenible del país, debido a que movilizarían la inversión privada, crearían nuevos empleos y lo más importante, contaminaría en menor medida.

4) Incentivar mecanismos económicos de consumo y producción. - Es momento de replantear la reducción de nuestra huella de carbono haciendo un análisis sobre lo que estamos consumiendo. Para lograr este punto, es necesario establecer una concientización sobre los beneficios que traería consigo el incursionar en el consumo de rutas sustentables y naturales (Power Porto, 2009); un ejemplo del que se ha venido hablando por generaciones, es el consumo de productos de origen animal, dado a que la ganadería es una de las actividades que más CO2 produce.

5) Ciudades sustentables y resilientes.- En México las ciudades son promotoras del crecimiento del país ofreciendo diversos empleos y servicios. No obstante, la pandemia ha impactado con severidad en varios rubros: sanitario, económico y social, situación que ha dejado en evidencia lo insustentables y desordenados que están los espacios urbanos, observándose un cambio cuando la población ha estado en cuarentena obligatoria –espacios limpios-. Lo anterior, se puede aprovechar para crear conciencia acerca de la necesidad de tener ciudades sostenibles que tengan la capacidad de enfrentar todo tipo de situaciones de riesgo (Lomelí Vanegas & Murayama Rendón, 2009).

6) Comunidades rurales sustentables. - Las zonas rurales son menos dependientes de un solo sistema de producción, puesto que logran mantener gran parte de sus territorios en buen estado; de igual manera, los cuerpos de agua presentan mejores condiciones para enfrentar situaciones pandémicas; sin embargo, consideramos que es necesario que se realice una mejor planeación regional que aplique tendencias de cuidado medioambiental con el propósito de

potencializar el desarrollo rural (Medel Palma, Rodríguez Nava, Jiménez Bustos, & Martínez Rojas Rustrián, 2020).

Derecho ambiental emergente: marco normativo

Una de las obligaciones primordiales del gobierno es proteger los derechos e intereses de sus gobernados, de los grupos vulnerables y desde luego las minorías, por eso en materia ambiental el Estado debe implementar el derecho medioambiental emergente, el cual está catalogado en diversos países latinoamericanos –Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México- como un principio in dubio pro natura, elemento fundamental para la consolidación del Estado de Derecho en materia ambiental.

El principio in dubio pro natura está vinculado con las normas que establecen el principio de precaución o enfoque de precaución en el derecho ambiental nacional e internacional, lo cual supone aplicar preferentemente la prevención de daños al medio ambiente en lugar de la reparación después de los hechos. Sin embargo, el principio in dubio pro natura puede y debe ser distinguido del principio de precaución en su ámbito de aplicación, dado que provee orientaciones para resolver incertidumbres jurídicas en lugar de enfocarse en las incertidumbres científicas. (Rabasa Salinas & S. de Windt, 2020) Tal principio busca resolver problemáticas en favor de la naturaleza, por lo cual teniendo esa idea habrá que definir de qué manera se puede medir su alcance y aplicabilidad; lo cierto es que es una herramienta útil para formular políticas sustentables, así como una nueva perspectiva de impartir justicia en la que los jueces dicten sus sentencias desde un punto de vista pro natura.

Ahora bien, en nuestra Carta Magna se reconoce en el artículo 4º párrafo quinto, el derecho humano al medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar, disposición jurídica que a la letra dice: *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”*; es por eso que tomando en cuenta el derecho fundamental a un medio ambiente sano, afirmamos que el marco jurídico aplicable en materia ambiental en nuestro país es vasto: existe la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que establece la distribución de competencia entre los tres órdenes de gobierno en la materia; otro de los instrumentos jurídicos relevantes en materia ambiental es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley de Aguas Nacionales y la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente modificados, entre otras, mismas que forman parte de ese esfuerzo del país por legislar con perspectiva medioambiental. De igual manera, México es parte de una serie de instrumentos y

tratados internacionales en materia ambiental que integran el marco jurídico en relación con el cuidado del ambiente.

En el plano internacional, México se ha postulado como un referente pionero al ser el primer país en desarrollo en promulgar la Ley General del Cambio Climático (LGCC) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio del 2012. De esta forma, nuestro país ha venido asumiendo compromisos en relación al desarrollo y establecimiento de normatividad enfocada al derecho a un medio ambiente sano y se ha caracterizado por adoptar una posición que fomenta la protección y preservación del medio ambiente en varios espacios y foros internacionales cuyos objetivos y metas se encaminan a garantizar su goce y pleno ejercicio (Comisión Nacional de los Derechos Humanos, 2016).

En esa línea de ideas, la Suprema Corte de Justicia de la Nación se ha desempeñado como un verdadero Tribunal Constitucional que con sus sentencias ha dotado de contenido el acceso a la justicia, resolviendo los conflictos relacionados con el uso de la diversidad ecológica y la calidad del medio ambiente, ejemplo de ello es la resolución del Amparo en Revisión No. 307/2016 (Rabasa Salinas & S. de Windt, 2020), en la que incorporó criterios de la opinión consultiva OC-23/17 de la Corte Interamericana de Derechos Humanos y reconoció que el derecho humano a un medio ambiente sano tiene una doble dimensión porque es autónomo –en el ejercicio del principio *in dubio pro natura*- y predomina la no regresión, con la finalidad de que en términos procesales disminuya la rigidez del principio dispositivo y ordene la inversión de la carga de la prueba para que la acción de amparo sea un mecanismo procesal efectivo que proteja el medio ambiente, tanto en lo relacionado con los riesgos a los cuales estuviese sometido, como con la reparación integral de los daños eventualmente sufridos.

Con esto es un hecho que la contribución que los operadores jurídicos pueden aportar resolviendo casos en los que está involucrado el respeto y cuidado de un medio ambiente, es trascendente para detener y revertir los daños que las actividades humanas están causando a los ecosistemas y que propician el cambio climático y calentamiento global, aunado a la importancia de atender la agenda global sobre la sustentabilidad del desarrollo y los derechos humanos, tanto en el ámbito internacional como en los sistemas de derecho interno.

Implicaciones bioéticas en el contexto pandémico

Autores diversos definen el concepto de bioética en dos cuestiones básicas que introducen sus preocupaciones principales: *bios-vida* y *ethos*: ética. *Bios* se refiere a todo tipo de vida, y *ethos* alude a la *ética*, la cual es definida como el cuestionamiento del ámbito de lo moral y de las acciones que surgen en el ámbito de estudio (Rivero Weber, 2021). De esta forma, la bioética es una disciplina que nos permite reflexionar sobre la vida cotidiana y su funcionalidad en la realidad, en la que el ser humano ha abusado de la naturaleza, perdiendo su ética, por ejemplo,

con la tala desmedida de selvas y bosques, destrucción de nichos ecológicos y pérdida de biodiversidad.

Ahora bien, la aparición del nuevo coronavirus, se encuentra estrechamente relacionada con la manera en que explotamos los recursos naturales, pues no podemos descartar nuevas amenazas si se continúa interactuando de manera irresponsable con los entornos naturales, conforme a la filosofía de Heidegger (2018), es necesario pensar en el valor de todo tipo de vida, así como de todo aquello que la sustenta, es por lo cual la bioética permite ampliar el panorama y darle coherencia al camino de la humanidad para ayudar al planeta a descontaminarse.

Lo anterior nos lleva a la necesidad de hacer un replanteamiento del papel del ser humano en el planeta, al repensar ¿qué hemos hecho con el planeta? en el que todo avanza de acuerdo a su funcionalidad esto es: una vez que ya han servido las cosas o los seres vivos, éstos se desechan, lo que ha propiciado que todo el planeta en su conjunto se reduzca a ser explotado, usado, desechado y convertido en un enorme basurero; los minerales no están vivos, pero no por eso tenemos el derecho de extraerlos de la tierra para nuestro uso, desbalanceando el equilibrio natural del planeta; el aire tampoco está vivo, pero es el sustento del cual vivimos todos los animales que poblamos el planeta; por lo que, tomando como referencia una línea de un poema de Hölderlin -citado por Rivero Weber (2021)- en el que señala “ahí donde está el peligro, surge lo que salva”, nos invita a reflexionar sobre las acciones que podemos poner en práctica para resolver las problemáticas ambientales, partiendo del ideal de que los entes de este planeta, vivos o no, no están ahí para nosotros, sino para sí, este paso implica poner un freno al afán de apropiarse de todo: la flor está ahí, no debe ser cortada, esa misma situación sucede con los ríos o con los animales, estos entes no son recursos que nos pertenezcan, lo único que nos pertenece es nuestra propia vida y ninguna otra.

Innovación ambientalmente responsable

El desarrollo ecológicamente sustentable envuelve un conjunto de elementos o principios incluyendo el del uso sustentable, el principio de integración (de las consideraciones económicas, sociales y ambientales en los procesos de toma de decisiones); el principio precautorio; los principios de la equidad -tanto intra como intergeneracional-, el principio de que la conservación de la diversidad biológica y la integridad ecológica debe ser una consideración fundamental, así como el principio de la internalización de los costos ambientales (en la toma de decisiones) (Preston B. , 2008).

Desde luego, lograr el éxito para detener la degradación ambiental depende de todos, no solo del Estado, por lo que es primordial crear alianzas globales de protección al medio ambiente. En ese sentido, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente está adoptando una estrategia denominada “empujones

verdes” (Programa de las Naciones Unidas , 2020) con acciones a corto, mediano y largo plazo para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), basándose en la comprensión de la psicología de la toma de decisiones, encaminados a tomar la opción más sencilla que represente nuevas alternativas fáciles de comprender y seguir, enfocadas en mejorar los hábitos de la comunidad para con la naturaleza. De acuerdo con este programa, existen ocho ámbitos principales del cambio del comportamiento que se consideran esenciales (Programa de las Naciones Unidas , 2020): el ahorro energético, ahorro de agua, alimentación sostenible, reducción del consumo material, sostenibilidad y reducción de los desplazamientos, reducción del desperdicio de alimentos, reciclaje y participación y apoyo al cambio.

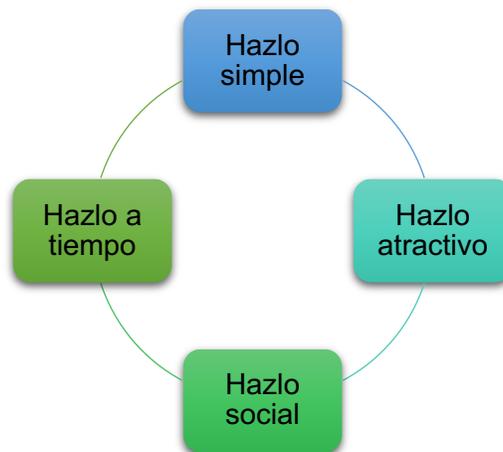


Figura 1. Marco EAST para crear empujones verdes.
Elaboración propia

Estos cuatro elementos promueven un comportamiento responsable, dado que al hacer una actividad simple, es menos probable que la persona oponga resistencia a realizarlo; por otro lado, al hacerlo atractivo, el ser humano será más propenso a adoptar un comportamiento que le llame la atención o que vaya de acuerdo a sus motivaciones, al estimular un acto social, invita a más personas a copiar el comportamiento por la misma naturaleza humana, y desde luego, hacerlo en el tiempo presente es primordial, porque se enfoca en actividades que tienen beneficios inmediatos, motivando el comportamiento de acciones sostenibles.

La metodología que sigue el marco EAST se puede aplicar en opciones predeterminadas, como, por ejemplo: consumir comida sostenible -plato vegetariano-; establecer la norma de que los comensales deben utilizar sus propios cubiertos y vasos; utilizar la configuración ecológica de electrodomésticos y dispositivos electrónicos para que se apaguen automáticamente; configurar las computadoras en modo de ahorro de energía e impresión a doble cara; mostrar públicamente los logros de sostenibilidad informando cuanta energía se ha ahorrado, cuantos desechos se han reciclado, cuanta comida se ha dejado de desperdiciar, entre otros.

Resultados y Discusión

La bioética permite gestar una serie de ideas que permiten valorar la vida en general distinguiendo el actuar humano con respecto de los entes que lo rodean: otros seres humanos, animales, ecosistemas y el planeta en general, al grado de comprender que es necesario dar un paso atrás porque debemos dejar que se manifiesten como lo que son: un ente más en el planeta.

Actualmente prevalecen diversos principios y garantías procesales que son esenciales en el Estado de derecho ambiental, con el propósito de ejecutar sentencias cuyo contenido versa sobre el cambio del comportamiento humano para tener resultados ambientales positivos.

Existen diversas alternativas que se pueden poner en marcha para continuar contribuyendo al desarrollo sustentable del planeta cuyo éxito depende de la participación plena de todos en sociedad, dado a que tenemos una responsabilidad compartida para rescatar el cuidado del medio ambiente.

Conclusión

Con la llegada de coronavirus y la necesidad de confinamiento, hemos sido testigos de lo que pasa en nuestro entorno natural, que no son situaciones ajenas al comportamiento y relación que tenemos a diario con este, poniéndose en evidencia la importancia de tener un ambiente más limpio, así como la necesidad de frenar el deterioro medioambiental con políticas públicas idóneas que brinden resultados eficaces en la recuperación, dado a que es responsabilidad de todos los habitantes del planeta, recuperar la naturaleza y tenerla en todo momento como una prioridad. De igual forma, se enfatizó que el Derecho debe aportar armonía en este ámbito dado a que, los juzgadores tienen la oportunidad de avanzar en el concepto del estado de derecho ambiental juzgando desde una perspectiva pro natura. Finalmente, es obligación de todos exigir que se tenga al cuidado del medio ambiente como una prioridad del Estado, y del mismo modo, aportar con pequeños empujes verdes –como estrategia- para lograr avances como comunidad, a fin de reducir nuestra huella de carbono y proteger a la naturaleza.

Referencias

- Andersen, K., Rambaut, A., Lipkin, W., & Holmes EC. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nat Med*, 450-452.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2016). El derecho humano al medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar. México: Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917). Obtenido de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_241220.pdf
- Heidegger, M. (2018). La pregunta por la técnica. Madrid: Folio.
- Lomelí Vanegas, L., & Murayama Rendón, C. (2009). México frente a la crisis: hacia un nuevo curso de desarrollo. Economía UNAM.
- Medel Palma, C., Rodríguez Nava, A., Jiménez Bustos, G., & Martínez Rojas Rustrián, R. (2020). México ante el Covid-19: acciones y retos. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Power Porto, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. Ingeniera industrial.
- Preston, B. (2008). Ecologically sustainable development in the context of contaminated land. *Environmental and planning law journal*.
- Preston, B. J. (2012). Benefits of Judicial Specialization in Environmental Law: The Land and Environment Court of New South Wales as a Case Study. *Pace Environmental Law Review*.
- Programa de las Naciones Unidas , P. (2020). El pequeño libro de los empujones verdes. 40 formas de promover un comportamiento sostenible en los campus.
- Rabasa Salinas, A., & S. de Windt, C. (2020). Antología judicial ambiental 2017-2020. México: Centro de Estudios Constitucionales de la Suprema Corte de Justicia de la Nación en colaboración con el Instituto Judicial Mundial del Ambiente y el Instituto Interamericano de Justicia y Sostenibilidad.
- Rivero Weber, P. (2021). Introducción a la bioética: Desde una perspectiva filosófica. México: Fondo de Cultura Económica - Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tassell, N. (2019). El crack del 29: cómo ocurrió la peor crisis en la historia de Wall Street hace 90 años. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50189619>

METALES PESADOS EN EL OSTIÓN *CRASSOSTREA VIRGINICA* EN LA LAGUNA MACHONA EN TABASCO, MÉXICO

JESSICA MAYO ALCUDIA¹, NANCY BRITO MANZANO², PERLA VARGAS FALCÓN³, JOSÉ BERNAT RODRÍGUEZ⁴

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar el contenido de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* proveniente de la Laguna Machona, Tabasco, analizadas por cuadruplicado por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Debido a que la laguna Machona se localiza en un área donde se encuentran factores que provocan contaminación: actividad petrolera, azucarera, ganadera, agrícola, descargas domésticas, resulta necesario conocer las concentraciones de metales pesados que son causantes de diversos problemas no solo para la salud sino también en el funcionamiento de los ecosistemas. Para ello, se evaluaron las concentraciones de Cobre (Cu), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Plomo (Pb) durante un período de un año. Para los tres bancos analizados, los metales que presentaron las mayores concentraciones promedio fueron el Cobre y el Zinc: para Don Hermelindo el Cu ($214.61 \mu\text{g g}^{-1}$) y Zn ($423.96 \mu\text{g g}^{-1}$), para Los Jiménez, Cu ($150.57 \mu\text{g g}^{-1}$) y el Zn ($471.64 \mu\text{g g}^{-1}$), mientras que para Shishal se registraron valores de Cu de $97.06 \mu\text{g g}^{-1}$ y los de Zinc de $260.98 \mu\text{g g}^{-1}$. Con respecto al contenido de Plomo en los tres bancos muestreados, el mayor valor promedio se registró en el banco Los Jiménez con $7.24 \mu\text{g g}^{-1}$; por su parte el Cromo, presentó la mayor concentración ($11.14 \mu\text{g g}^{-1}$) en el banco Don Hermelindo. El contenido de Cromo en los tres bancos ostrícolas, fue Don Hermelindo > Los Jiménez > Shishal. El contenido de Plomo fue superior a los límites permisibles (NOM-001-ECOL-1996 y NOM-027-SSA1-1993).

Palabras clave: Metales pesados, *Crassostrea virginica*, Tabasco

Abstract

The objective of this research was to determine the content of heavy metals in the oyster *Crassostrea virginica* from Laguna Machona, Tabasco, analyzed by quadruplicate by Atomic Absorption Spectrophotometry. Due to the fact that the Machona lagoon is located in an area where there are factors that cause

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)/División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA). Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)/División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA). Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco. Nancy.brito@ujat.mx

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)/División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA). Km 25 Carretera Villahermosa-Teapa, C.P. 86280, Villahermosa, Tabasco.

⁴ Tilapia Azul Acuicultura, S.P.R de R.L. 27 de febrero # 124, C.P. 86990, Emiliano Zapata, Tabasco

contamination: oil, sugar, livestock, agricultural activity, domestic discharges, it is necessary to know the concentrations of heavy metals that are the cause of various problems, not only for health. but also in the functioning of ecosystems. For this, the concentrations of Copper (Cu), Chromium (Cr), Zinc (Zn) and Lead (Pb) were evaluated during a period of one year. For the three banks analyzed, the metals that presented the highest average concentrations were Copper and Zinc: for Don Hermelindo, Cu (214.61 $\mu\text{g g}^{-1}$) and Zn (423.96 $\mu\text{g g}^{-1}$), for Los Jiménez, Cu (150.57 $\mu\text{g g}^{-1}$) and Zn (471.64 $\mu\text{g g}^{-1}$), while for Shishal Cu values of 97.06 $\mu\text{g g}^{-1}$ and Zinc values of 260.98 $\mu\text{g g}^{-1}$ were recorded. Regarding the content of Lead in the three sampled banks, the highest average value was recorded in the Los Jiménez bank with 7.24 $\mu\text{g g}^{-1}$; for its part, Chromium presented the highest concentration (11.14 $\mu\text{g g}^{-1}$) in the Don Hermelindo bank. Chromium content in the three oyster beds was Don Hermelindo > Los Jiménez > Shishal. The lead content was higher than the permissible limits (NOM-001-ECOL-1996 and NOM-027-SSA1-1993).

Keywords: Heavy metals, *Crassostrea virginica*, Tabasco.

Introducción

El recurso hídrico en el mundo es el componente más importante para la vida, teniendo en cuenta que nuestro planeta tiene 43.764 km³ de agua por año, pues este es considerado como fuente de la vida y esencial para la humanidad. Sin embargo, con el desarrollo económico y con el crecimiento poblacional, la calidad del recurso hídrico se ve afectado (IDEAM, 2018, Segura Trian, 2007).

Las actividades humanas e industriales en las zonas costeras del Golfo de México han incrementado significativamente los niveles de metales pesados principalmente en el estado de Veracruz, Tabasco y Campeche. Dentro de los múltiples servicios ambientales que prestan las lagunas costeras se encuentran: sitios importantes para la biodiversidad de organismos, tanto acuáticos como terrestres; además, son áreas de anidación de aves tanto residentes como migratorias (Aubriot, Conde, Bonilla, Hein y Britos, 2005; Contreras, 2006).

Los moluscos de hábitos filtradores como los ostiones son capaces de acumular metales pesados, material radioactivo, biotoxinas y microorganismos patógenos, pudiendo causar al hombre severas intoxicaciones o enfermedades, por lo que la determinación de los contaminantes en los tejidos de los moluscos es un indicador indiscutible de su presencia en el medio, particularmente cuando sus concentraciones son variables o muy elevadas y su detección en el agua y en sedimento se dificulta (Baqueiro-Cárdenas, Borabe, Goldaracena y Rodríguez, 2007).

Por lo anterior, en el presente trabajo se evaluó la concentración de metales pesados (Cu, Zn, Pb y Cr) en el ostión *Crassostrea virginica* en una de las principales lagunas costeras del estado de Tabasco.

Material y métodos

El trabajo se llevó a cabo durante un año, cada mes se recolectaron al azar 50 ostiones en cada uno de los tres bancos (Don Hermelindo, Los Jiménez y Shishal) seleccionados de la laguna Machona, Tabasco. Los bancos fueron seleccionados en virtud de que son los principales productores de ostión en dicha laguna, según comentarios de los pescadores de la Cooperativa El manatinero (que extraen ostiones de la laguna Machona), debido a que no existen registros oficiales de la producción ostrícola por bancos.

Para su preservación se tomó como base la norma 3052 de la EPA que indica que las muestras se deben de mantener a una temperatura de $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$, con una duración de no más de 6 meses, por lo cual dichos organismos fueron transportados en hieleras hasta el laboratorio de Calidad del agua de la DACA-UJAT.

Preparación del Material

Todo el material que se utilizó para el análisis de metales se lavó previamente con soluciones de ácido clorhídrico 2N y ácido nítrico 2N, manteniéndolo durante un día en cada uno de los ácidos y posteriormente se enjuagó el material con agua desionizada, con el fin de eliminar cualquier tipo de interferencias que pudieran alterar los resultados en los análisis. Por último, se dejaron secar en desecadores (ambiente cerrado libre de polvo), una vez seco el material se guardó en bolsas de plástico para su posterior uso; de acuerdo a las recomendaciones técnicas de Moody y Lindstrom (1977).

Análisis de las muestras de organismos

El procedimiento que se siguió en el Laboratorio de Calidad del agua de la DACA, fue el siguiente: los 50 ostiones por banco seleccionado se desconcharon y el tejido blando fue colocado en crisoles con el objetivo de pesarlos y después secarlos en una estufa bacteriológica a 70°C por 48 h hasta que adquirieron peso constante. Una vez secas las muestras se homogenizaron en morteros de porcelana.

Para la extracción de metales totales en los ostiones, se pesó 1 g de peso seco en una balanza analítica, colocándolas en matraces micro kjeldahl de 30 ml a los cuales se le agregó ácido nítrico (HNO_3) y ácido perclórico (HClO_4) en una proporción de 6:3 dejándolos tapados con papel parafilm mínimo 12 h a temperatura ambiente para la pre-digestión, con el fin de destruir la muestra orgánica por oxidación. Transcurrido el tiempo, las muestras se colocaron en un digestor iniciando con una temperatura a 100°C rotando el matraz para lavar las paredes de todo residuo orgánico, la temperatura se fue aumentando poco a poco hasta llegar a los 210°C de manera que la mezcla llegue a estado de ebullición, el proceso duró aproximadamente 2 h, tiempo en el que finalmente se obtuvo una solución clara. Una vez concluido el digestado, los matraces se dejaron enfriar a temperatura ambiente y luego las muestras fueron transferidas a matraces aforados de 25 ml

lavándolas con agua desionizada para posteriormente aforar a 25 ml. Las muestras de los matraces aforados fueron homogeneizadas y después transferidas a frascos ámbar de vidrio previamente rotulado. Finalmente, se colocó parafilm Millipore® en la boca de los frascos ámbar y fueron conservados en refrigeración a 4° C aproximadamente, hasta su lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica (Loring, 1976; Agemian y Chau, 2016).

Adicionalmente, fue realizada la optimización de especificaciones instrumentales como; flujo de aire, gas de acetileno, longitud de onda de la lámpara para cada metal y altura de quemador. Pasado el tiempo de estabilización se procedió a introducir los estándares certificados, los cuales se elaboran a concentraciones conocidas con el fin de obtener las curvas de calibración. En éste proceso, por cada cinco muestras se analizó un blanco reactivo y cuatro repeticiones. Para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica se utilizaron estándares certificados marca High Purity Standards, para realizar la curva de calibración a cada uno de los metales analizados.

Análisis estadístico

Un análisis de varianza (ANOVA) fue usado para determinar si las concentraciones promedio de metales pesados durante los meses seleccionados fueron diferentes significativamente. La prueba de Cochran's fue usada para probar la homogeneidad de las varianzas y posteriormente, una prueba de Tukey se empleó para determinar cuáles medias fueron diferentes. El programa estadístico *STATISTICA* fue empleado para los análisis estadísticos. El nivel de significancia empleado fue $P < 0.05$ (Prieto y Herranz, 2010).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas al realizar el análisis del contenido de metales pesados (Cu, Cr, Zn y Pb) en el ostión proveniente de los tres bancos seleccionados durante el año de estudio. En el cuadro se puede apreciar que de manera general el Zinc fue el metal que mayor contenido presentó en todos los bancos, seguido por Cobre, Cromo y Plomo. Los mayores valores de Plomo y Cromo se registraron en Los Jiménez y Don Hermelindo, respectivamente. Con respecto al Plomo, se destaca la alta concentración registrada en los tres bancos muestreados ($> 1 \mu\text{g g}^{-1}$, valor expuesto como máximo permitido según la legislación vigente).

A pesar de ello, los valores resultaron marcadamente inferiores a los obtenidos por otros investigadores en esta misma especie (De la cruz-Ábalos, Brito-Manzano, Miranda y López, 2014; Vargas-Falcón, Brito-Manzano, Miramontes, Gómez y Cruz, 2018; Miramontes-Flores, Brito-Manzano, Vargas-Falcón, Gómez y Aldana, 2019 y Álvarez-Díaz, Brito-Manzano, Vargas-Falcón y Gómez-Vázquez, 2021) en diferentes lagunas de Tabasco. Sin embargo, también son por mucho, superiores a

los obtenidos para *C. virginica* (0.86 a 9.40 $\mu\text{g g}^{-1}$) proveniente de diversas lagunas del estado de Veracruz: La Mancha, Tamiahua y de la laguna San Andrés en Tamaulipas (Cuadro 2).

Cuadro 1.- Contenido de metales pesados (Cu, Cr, Zn y Pb) en el ostión *Crassostrea virginica* proveniente de tres bancos ostrícolas de la laguna Machona, Tabasco durante un año.

Bancos	Metales Pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Zinc (Zn)	Plomo (Pb)
Don Hermelindo	214.61	11.14	423.96	7.22
Los Jiménez	150.57	9.63	471.64	7.24
Shishal	97.06	8.80	260.98	7.21

Para los tres bancos muestreados, en el cuadro 1, se observa que el Zn y el Cu son los metales que se encontraron en mayores concentraciones (423.96 y 214.61 para Don Hermelindo, 471.64 y 150.57 para Los Jiménez y 260.98 y 97.06 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Shishal, respectivamente) y presentaron diferencia significativa estadísticamente del Cr y Pb ($P < 0.01$), aunque las concentraciones de los cuatro metales pesados en Shishal, disminuyeron en comparación con Don Hermelindo y con Los Jiménez. Al realizar la comparación del contenido en cada uno banco, se encontró que de manera general Don Hermelindo presentó las mayores concentraciones de Cu y Cr y que fueron significativamente diferentes del contenido encontrado en Los Jiménez y Shishal ($P < 0.01$).

Las concentraciones de Cu encontradas en el presente estudio son inferiores a las reportadas para *C. virginica* en La Mancha, Veracruz por Aragón López (2009) pero similares a los de Vázquez-Sauceda, Aguirre-Guzmán, Pérez-Castañeda, Rábago-Castro y Genaro Sánchez (2005) en Alvarado, Veracruz (Cuadro 2). Por su parte Guzmán-Amaya, Villanueva y Botello (2005), reportan valores de 278.00 $\mu\text{g g}^{-1}$, 165.75 $\mu\text{g g}^{-1}$ y 202.43 $\mu\text{g g}^{-1}$, para las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua, respectivamente en Veracruz. Navarrete-Rodríguez, Castañeda-Chávez y Lango-Reynoso (2013) reportan valores de 259.12 $\mu\text{g/g}^{-1}$ en el sistema lagunar Carmen-Machona-Pajonal, que son en general superiores a los del presente trabajo.

En cuanto al Cr, Vargas-Falcón *et al.* (2018) y Miramontes-Flores *et al.* (2019), reportaron 9.32 y 9.22 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, los cuáles son menores a los registrados en este estudio (9.85 $\mu\text{g g}^{-1}$) en la misma laguna. Álvarez-Díaz y colaboradores (2021) trabajando en la laguna Mecoacán, encontraron concentraciones de 7.43 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Cuadro 2).

Con respecto a la concentración de Zn en tejido de ostión no existen límites permisibles registrados para ningún otro país que nos pueda servir como referencia para conocer el estado de salud de nuestra laguna, sin embargo, las concentraciones encontradas en este estudio son menores a las reportadas por diferentes autores en las lagunas de Veracruz para la misma especie Luna *et al.* (2002) reportan valores de 3.60 $\mu\text{g g}^{-1}$ en tejido de ostión en la Laguna de San Andrés, inferiores a los reportados en este trabajo. Guzmán-Amaya *et al.* (2005),

reportan valores para la laguna Alvarado de $145.82 \mu\text{g g}^{-1}$, para Mandinga de $159.81 \mu\text{g g}^{-1}$ y para Tamiahua de $156.85 \mu\text{g g}^{-1}$, los cuales son dos o tres veces inferiores a los reportados en el presente estudio. Sin embargo, los valores reportados (de 747.60 a $1134.65 \mu\text{g g}^{-1}$) por Vázquez-Sauceda *et al.* (2005) en Alvarado, Veracruz, son superiores a los registrados en éste estudio (de 260.91 a $546.91 \mu\text{g g}^{-1}$) (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Datos de la literatura sobre el contenido de metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* de importancia comercial en diferentes lagunas del Golfo de México.

Laguna	Mes	Contenido de Metales ($\mu\text{g g}^{-1}$)				Autor
		Cu	Zn	Cr	Pb	
San Andrés, Tamaulipas	abril a sept.	4.88	3.60	-----	0.86	A
		278.00	145.82	10.60	9.05	
Alvarado, Veracruz	marzo a sept.	165.75	159.81	21.06	13.17	B
		202.43	156.85	33.64	21.42	
Mandinga, Veracruz	Enero	67.00	973.6	-----	8.55	C
	Abril	149.75	837.40	-----	3.90	
	Mayo	138.05	1134.65	-----	5.15	
	agosto	140.55	838.6	-----	6.35	
	septiembre	190.85	885.25	-----	5.7	
Alvarado, Veracruz	diciembre	138.95	747.60	-----	9.6	D
	Enero	110.60	1023.00	-----	9.40	
	Abril	455.80	1302.00	-----	5.70	
	Mayo	792.40	971.00	-----	5.40	
La Mancha, Veracruz	agosto	355.22	1162.00	-----	2.50	E
	septiembre	315.90	1038.00	-----	7.20	
	diciembre	219.80	872.20	-----	7.0	
				-----	0.22	
Tamiahua, Veracruz	enero a julio	-----	-----	-----	0.36	E
Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco	nov (2010)-may (2011)	259.12	----	----	1.001	F
Carmen, Tabasco	ene-dic	----	386.08	----	9.14	G
Machona, Tabasco	ene-dic	445.44	409.88	9.32	9.51	H
Machona, Tabasco	ene-dic	177.88	----	9.22	9.40	I
Mecoacán, Tabasco	jun-dic	142.78	432.99	7.43	9.00	J
Machona, Tabasco	ene-dic	154.08	385.52	9.85	7.22	K

A- Luna *et al.* 2002

D.- Aragón-López 2009

G.- De la cruz-Ábalos *et al.* 2014

J.- Álvarez-Díaz *et al.* 2021

B.- Guzmán-Amaya *et al.* 2005

E.- Lango-Reynoso *et al.* 2010

H.- Vargas-Falcón *et al.* 2018

K.- Este trabajo

C- Vázquez-Sauceda *et al.* 2005.

F.- Navarrete-Rodríguez *et al.* 2013

I.- Miramontes-Flores *et al.* 2019

Teniendo en cuenta la participación que ejercen los moluscos en la dieta y dado que el cobre y el zinc son metales esenciales, se puede considerar que el aporte de estos elementos inorgánicos por el consumo moderado de moluscos frescos puede contribuir a satisfacer las necesidades mínimas diarias que la dieta debe aportar y no supone riesgo alguno de tipo toxicológico. De manera similar, el consumo moderado de moluscos no supone tampoco ningún riesgo para el consumidor con respecto al aporte de los dos metales tóxicos, plomo y cadmio.

Referencias

- Agemian, H. y A. S. Y. Chau. (2016). Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst*, 101 (1207), 761-767. <https://doi.org/10.1039/AN9760100761>
- Álvarez Díaz, T., Brito-Manzano, N., Vargas-Falcón, P. y Gómez-Vázquez, A. (2021). Metales pesados en el ostión *Crassostrea virginica* de la laguna Meocacán, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 19-26.
- Aragón-López, R. (2009). Metales pesados en organismos acuáticos en los sistemas lagunares La Mancha y Alvarado en Veracruz, México. (Tesis de postgrado). Instituto de Ingeniería. Universidad Veracruzana.
- Aubriot, L., Conde, D., Bonilla, S., Hein, V. y Britos, A. (2005). Vulnerabilidad de una laguna costera en una Reserva de Biosfera: indicios recientes de eutrofización. En: Vila, I. y J. Pizarro (eds.) *Taller Internacional de Eutrofización de Lagos y Embalses*. CYTED XVIIIB. Patagonia Impresores Chile. pp. 65-85.
- Baqueiro-Cárdenas, E., Borabe, L., Goldaracena Islas, C. y Rodríguez Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación: Una Revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78,1S-7S.
- Contreras, E.F. (2006). Lagunas costeras de Veracruz. En: C.P. Moreno, E. Peresbarbosa y B.A.C. Travieso (Eds). *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. SEMARNAT, D.F., México. pp: 205-227.
- Day, J.W., Díaz de León, A., González Sansón, G. y Moreno-Casasola, P. (2003). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Taller internacional desarrollado en el Puerto de Veracruz, los días 20 a 22 de agosto de 2003, organizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) y el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL-CONACYT).
- De la Cruz-Ábalos, M, Brito-Manzano, N, Miranda Cruz, E. y López Noverola, U. (2014). Determinación de metales pesados (Pb, Cr, Zn y Cu) en el ostión *Crassostrea virginica* en los principales bancos ostrícolas de la laguna Machona en Tabasco, México. *GCFI*, 67, 313-317.
- Guzmán-Amaya, P., Villanueva, F.S. y V. Botello, A. (2005). Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) *Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. Nal. de México, Instituto Nacional de Ecología. D.F., México. pp 361-372.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Reporte de avance del estudio nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios, Bogota, D.C. 68 p.

- Lango-Reynoso, F., Landeros-Sánchez, C. y Castañeda-Chávez, M.R. (2010). Bioaccumulation of cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamihua lagoon system, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26 (3,): 201-210.
- Loring, D.H. (1976). Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science*, 16, 1196-1209.
- Luna, M., Rendón, V.O. y Alpuche, L.G. (2002). Presencia de plomo en agua y ostión en las lagunas de Alvarado y la Mancha. En A.P. Guzmán, B.C. Quiroga, L.C. Díaz, C.D. Fuentes, M.C. Contreras, G. Silva López (Eds.). *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo*. Veracruz, México, SAGARPA-UV. pp.96 – 111.
- Miramontes-Flores, J. Brito-Manzano, N., Vargas-Falcón, P., Gómez Vázquez, A. y Aldana Aranda, D. (2019). Determinación de cobre, cromo y plomo en el ostión *Crassostrea virginica* en tres bancos ostrícolas de la laguna Machona en Tabasco, México. En: M. Perera-García (Comps). *Bioteología en Ciencias Agropecuarias*. Villahermosa, México: UJAT. pp 69-82.
- Moody J. R. y R. M. Lindstrom. (1977). Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analytical Chemistry*, 49, 2264-2267.
- Navarrete-Rodríguez, G., Castañeda-Chávez, M.R. y Lango-Reynoso, F. (2013). Metales pesados en pesquerías de las lagunas Carmen-Machona, Tabasco. Evaluación de metales pesados en recursos pesqueros del complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco. Deutschland, Alemania. Ed. Académica Española.
- Prieto Valiente, L. y Herranz Tejedor, I. (2010). *Bioestadística sin dificultades matemáticas*. Madrid, España. Ed. Díaz de Santos.
- Segura Trian, L. E. (2007). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. *Ciencia amazónica III*, (1), 24-32.
- Vargas-Falcón, P., Brito-Manzano, N., Miramontes Flores, J., Gómez Vázquez, A. y Cruz Hernández, A. (2018). Determinación de Cd, Pb y Zinc en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna El Carmen, Tabasco, México. *GCFI*, 70, 1-14.
- Vázquez-Sauceda, M.L., Aguirre-Guzmán, G, Pérez-Castañeda, R., Rábago-Castro, J. y Genaro Sánchez, J. (2005). Contenido de Cadmio y Plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna de San Andrés Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y Mar*, 27, 3-9.

DETERMINACIÓN DE CADMIO Y PLOMO EN SEDIMENTO Y EL OSTIÓN *CRASSOSTREA VIRGINICA* EN LA LAGUNA MECOACÁN

ROMARIO LÓPEZ LUNA¹, NANCY BRITO MANZANO², PERLA VARGAS FALCÓN³, ARMANDO GÓMEZ VÁZQUEZ⁴

Resumen

Se investigaron los niveles de concentración de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en el ostión *Crassostrea virginica*, que representa uno de los recursos más importantes en la pesquería tradicional del estado de Tabasco y en los sedimentos adyacentes a los bancos ostrícolas muestreados. 50 ostiones fueron colectados por buceo autónomo y los sedimentos fueron obtenidos con una draga manual de 10 lb, mensualmente durante un año y analizados para conocer las concentraciones de metales pesados por cuadruplicado. Se tomaron muestras de los tejidos blandos completos y de los sedimentos en tres puntos diferentes de la laguna Mecoacán, se procesaron bajo los criterios de la NOM-117, en una digestión ácida con HNO₃ y fueron analizadas con el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Los resultados demuestran que tanto el ostión como los sedimentos presentan altos niveles de Cd y Pb. Los niveles de metales pesados detectados durante el año de estudio, se encontraron por arriba de los límites que establecen la NOM-129-SSA1-1995 y por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos). De la misma manera, se observó una elevación progresiva de los metales a medida que se reducía la distancia a la zona costera del municipio de Paraíso, Tabasco; lo cual sugiere que el ostión por sus hábitos alimenticios y el hábitat donde se desarrolla es más susceptible a la contaminación.

Palabras clave: sedimentos, ostión, contaminación, metales pesados

Abstract

The concentration levels of Cadmium (Cd) and Lead (Pb) were investigated in the oyster *Crassostrea virginica*, which represents one of the most important resources in the traditional fishery of the state of Tabasco, and in the sediments adjacent to the sampled oyster beds. 50 oysters were collected by autonomous diving and the sediments were obtained with a 10-lb manual dredge, monthly for one year and

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. nancy.brito@ujat.mx

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

⁴ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

analyzed for heavy metal concentrations in quadruplicate. Samples of the complete soft tissues and sediments were taken at three different points of the Mecoacán lagoon, they were processed under the criteria of NOM-117, in an acid digestion with HNO₃ and they were analyzed with the Atomic Absorption Spectrophotometer. The results show that both the oyster and the sediments have high levels of Cd and Pb. The levels of heavy metals detected during the year of the study were above the limits established by NOM-129-SSA1-1995 and by the FDA (United States Food and Drug Administration). In the same way, a progressive elevation of metals was observed as the distance to the coastal area of the municipality of Paraíso, Tabasco, was reduced; which suggests that the oyster, due to its eating habits and the habitat where it develops, is more susceptible to contamination.

Keywords: sediments, oysters, contamination, heavy metals

Introducción

Los metales pesados tienen una importante fuente en las actividades de origen antropogénico y constituyen un peligro para la biota acuática y también para el ser humano, además de representar un factor de deterioro de la calidad hídrica y ambiental. Los sedimentos ribereños, uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como fuentes secundarias de contaminación de los cuerpos de agua, por lo que resulta importante evaluar la concentración de metales como una herramienta que permite rastrear el origen de los contaminantes en el medio y predecir los impactos que pueden producir en los ecosistemas acuáticos (Del Castillo, 2018).

Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en organismos, aguas y sedimentos de ríos, lagunas y mares, representa un serio problema de salud para los habitantes de las poblaciones que se sirven de dichos cuerpos de agua, lo cual implica elevar los gastos en tratamientos médicos, disminución de la capacidad productiva de los habitantes y desde luego repercusiones económicas a nivel local y nacional (Acosta, Lodeiros, Senior y Martínez, 2002). La contaminación por Plomo y por Cadmio afecta al sistema nervioso central, lo cual se traduce en retraso mental. Esto tiene particular importancia sobre todo en la población infantil y adolescente pues está asociado al desarrollo de la capacidad intelectual de la población afectada y a la larga tendría un serio impacto en el intelecto de los adultos (Del Castillo, 2018). Los moluscos de hábitos filtradores como los ostiones son capaces de acumular metales pesados, material radioactivo, biotoxinas y microorganismos patógenos, pudiendo causar al hombre severas intoxicaciones o enfermedades (Baqueiro-Cárdenas, Borabe, Goldaracena-Islas y Rodríguez-Navarro, 2007), por lo que la determinación de los contaminantes en los tejidos de los moluscos es un indicador indiscutible de su presencia en el medio. Desde el punto de vista sanitario, el problema principal se centra en evitar un exceso de consumo de metales a partir de los alimentos, ya que éstos son la principal vía de exposición, de la cual se pueden

generar efectos secundarios producto del contacto con dichos metales (Mas y Azcue, 1993).

En la presente investigación se evaluó la concentración de metales pesados (Cd y Pb) en sedimento y en el ostión *Crassostrea virginica* de la laguna Mecoacán del estado de Tabasco.

Materiales y Métodos

El trabajo se llevó a cabo durante un año en cada uno de los tres bancos (Puente de ostión, Pajalar y Limoncito) seleccionados de la laguna Mecoacán en Tabasco. Cada mes se recolectaron al azar por medio de buceo autónomo 50 ostiones y los sedimentos fueron obtenidos con una draga manual de 10 lb y transportados en frascos 1:1 v/v con 1 ml de HNO₃ concentrado, las muestras fueron etiquetadas y transportadas en neveras con hielo, a fin de mantenerlas frescas para su posterior fijación y análisis. Los ostiones se desconcharon y el tejido blando fue colocado en crisoles para secarlos en una estufa bacteriológica a 70°C por 48 h al igual que los sedimentos. Una vez secas las muestras se homogenizaron en morteros de porcelana de manera que se obtuviera aproximadamente 25 g para su posterior análisis. Todo el material que se utilizó para el análisis de metales se lavó previamente con HCl 2N y HNO₃ 2N y posteriormente se enjuagó con agua tridestilada (Bertini, Martín y Teal, 1976, Moody and Lindstrom, 1977).

Métodos analíticos para metales

El trabajo se llevó a cabo durante un año, cada mes se recolectaron al azar 50 ostiones en cada uno de los tres bancos (Yagua 1, Palma 1 y Ostión Largo) seleccionados de la laguna Mecoacán en Tabasco. Los bancos fueron seleccionados en virtud de que son los principales productores de ostión en dicha laguna, según comentarios de los pescadores de la Cooperativa Mecoacán (que extraen ostiones de dicha laguna), debido a que no existen registros oficiales de la producción ostrícola por bancos y debido a características como su permanencia y abundancia a lo largo de todo el año.

Para su preservación se tomó como base la norma 3052 de la EPA que indica que las muestras se deben de mantener a una temperatura de $4 \pm 2^\circ\text{C}$, con una duración de no más de 6 meses, por lo cual dichos organismos fueron transportados en hieleras hasta el laboratorio de Calidad del Agua de la DACA-UJAT

Para la extracción de metales totales en sedimentos, se utilizaron 0.5 g de las muestras secas y se siguió la técnica propuesta por Loring (1979) modificada por Páez-Osuna (1988), la cual consiste en una digestión ácida con agua regia invertida 3:1 (HNO₃, HCl) en bombas de teflón (PTFE) a 100 °C con una variación de +10 °C durante 18 horas. Para la fracción biodisponible, se pesaron 2 g de sedimento y se le agregó 25 ml de CH₃COOH al 25% para que ocurriera digestión durante 2 h en matraces Erlenmeyer (Loring, 1979, Agemian y Chau, 1976). Para los ostiones, se

pesó 1 g de peso seco en una balanza analítica, colocándolas en matraces micro kjeldahl de 30 ml a los cuales se le agregó ácido nítrico (HNO_3) y ácido perclórico (HClO_4) en una proporción de 6:3 dejándolos tapados con papel parafilm mínimo 12 h a temperatura ambiente para la pre-digestión, con el fin de destruir la muestra orgánica por oxidación. Transcurrido el tiempo, las muestras se colocaron en un digestor iniciando con una temperatura a 100°C rotando el matraz para lavar las paredes de todo residuo orgánico, la temperatura se fue aumentando poco a poco hasta llegar a los 210°C de manera que la mezcla llegue a estado de ebullición, el proceso duró aproximadamente 2 h, tiempo en el que finalmente se obtuvo una solución clara. Una vez concluido el digestado, los matraces se dejaron enfriar a temperatura ambiente y luego las muestras fueron transferidas a matraces aforados de 25 ml lavándolas con agua desionizada para posteriormente aforar a 25 ml. Todas las soluciones obtenidas se guardaron en el refrigerador para su posterior lectura al espectrofotómetro de absorción atómica con llama de aire-acetileno. Pasado el tiempo de estabilización se procedió a introducir los estándares certificados, los cuales se elaboran a concentraciones conocidas con el fin de obtener las curvas de calibración. En éste proceso, por cada cinco muestras se analizó un blanco reactivo y cuatro repeticiones. Para la lectura de las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica se utilizaron estándares certificados marca EICCA CHEMICAL Company de $1000 \mu\text{l/ml}$ los cuales son trazados a un estándar NIST, para realizar la curva de calibración a cada uno de los metales analizados.

Análisis estadístico

Un análisis de varianza (ANOVA) fue usado para determinar si las concentraciones promedio de metales pesados fueron diferentes significativamente. La prueba de Cochran's fue usada para probar la homogeneidad de las varianzas y posteriormente, una prueba de Tukey se empleó para determinar cuáles medias fueron diferentes. El programa estadístico STATISTICA fue empleado para los análisis estadísticos. El nivel de significancia empleado fue $P < 0.05$ (Prieto y Herranz, 2010).

Resultados

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas en el análisis de cadmio y plomo en los ostiones y en los sedimentos de tres bancos ostrícolas de la laguna Mecocacán, durante los doce meses muestreados, los resultados se expresan en $\mu\text{g g}^{-1}$ en peso seco.

Cadmio y Plomo en ostiones

La concentración de cadmio en ostiones en los 3 bancos muestreados, se encontraron entre 7.67 a $11.02 \mu\text{g g}^{-1}$, el valor mínimo corresponde al muestreo

realizado en el mes de junio en el banco Puente de Ostión, mientras que la máxima concentración corresponde al muestreo realizado en el mes de marzo en el banco Limoncito (Cuadro 1). Las concentraciones de plomo en ostiones, presentaron el mismo comportamiento que el Cd, variaron de 5.95 a 10.87 $\mu\text{g g}^{-1}$ encontrándose el valor más alto en el banco Limoncito en el mes de diciembre y el más bajo en el banco Puente de Ostión en junio.

Cuadro 1.- Concentración de Cd y Pb en el ostión *Crassostrea virginica*, proveniente de tres bancos ostrícolas de la laguna Mecocacán, Tabasco ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Meses	Puente de ostión		Pajalar		Limoncito	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
Enero	9.82	8.2	9.1	9.97	10.46	9.96
Febrero	9.21	7.9	8.73	10.05	10.98	9.63
Marzo	8.88	7.62	8.89	10.56	11.02	9.13
Abril	8.41	6.98	9.29	9.98	10.65	8.94
Mayo	8.01	6.21	9.88	9.43	10.21	9.15
Junio	7.67	5.95	10.23	9.22	9.99	9.81
Julio	8.86	8.86	10.69	9.20	9.93	9.84
Agosto	9.78	8.89	10.96	9.11	9.89	9.87
Septiembre	9.93	8.99	10.32	9.03	9.84	9.98
Octubre	10.45	8.92	10.01	8.99	9.83	10.11
Noviembre	10.9	8.95	9.97	8.22	9.87	10.55
Diciembre	10.51	8.97	9.79	8.16	9.98	10.87

Cadmio y Plomo en sedimentos

Para el sedimento al igual que el ostión las máximas concentraciones de cadmio y plomo se encontraron en el banco Limoncito con 1.90 y 1.80 $\mu\text{g g}^{-1}$ para cada elemento respectivamente y los valores mínimos de cadmio (0.82 $\mu\text{g g}^{-1}$) para el banco Puente de Ostión y para el plomo (0.50 $\mu\text{g g}^{-1}$) para el banco Puente de Ostión (Cuadro 2).

El contenido promedio de Cd y Pb fue diferente significativamente en los dos compartimentos (ostión y sedimentos), registrándose valores promedio más altos en el ostión que en los sedimentos. El Cuadro 3 muestra que existieron diferencias significativas entre los valores de Cd y Pb presentes en el ostión en el banco Limoncito comparado con Pajalar y Puente de Ostión, siendo este último en donde se presentaron los valores más bajos. Los valores promedio de Cd y Pb en el ostión *C. virginica* y sedimentos presentaron diferencias significativas entre los bancos.

Cuadro 2.- Concentración de Cd y Pb en sedimentos provenientes de tres bancos ostrícolas de la laguna Mecoacán, Tabasco ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Meses	Puente de ostión		Pajalal		Limoncito	
	Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb
Enero	0.83	0.60	0.89	0.80	1.20	0.93
Febrero	0.83	0.50	0.86	0.60	0.96	0.86
Marzo	0.82	0.50	0.84	0.57	0.96	0.60
Abril	0.88	0.60	0.84	0.60	0.98	0.60
Mayo	0.90	0.60	0.90	0.60	0.98	0.70
Junio	0.91	0.80	0.92	0.80	1.20	0.80
Julio	0.94	1.10	0.93	0.98	1.40	1.10
Agosto	0.96	1.30	0.95	1.30	1.70	1.60
Septiembre	0.99	1.50	0.99	1.50	1.90	1.80
Octubre	1.02	0.90	1.01	1.60	1.90	1.80
Noviembre	0.97	0.70	0.95	0.90	1.80	1.60
Diciembre	0.85	0.60	0.91	0.80	1.70	1.40

Cuadro 3. Contenido promedio de Cadmio y Plomo en ostión y sedimentos en tres bancos ostrícolas de la laguna Mecoacán en Paraíso, Tabasco.

Bancos	Metales pesados			
	Ostión ($\mu\text{g g}^{-1}$)		Sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
	Cd	Pb	Cd	Pb
Puente de Ostión	9.37 \pm 2.11 _b	8.01 \pm 1.65 _a	0.59 \pm 0.2 _a	1.8 \pm 0.3 _a
Pajalal	9.85 \pm 2.34 _b	9.30 \pm 1.48 _b	0.43 \pm 0.1 _b	1.4 \pm 0.4 _b
Limoncito	10.24 \pm 3.02 _a	9.82 \pm 2.67 _b	0.50 \pm 0.2 _a	2.3 \pm 0.2 _a

a,b: letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre bancos

\pm : desviación estándar

Discusión

Las aguas del Golfo de México están influenciadas por las actividades que se llevan a cabo en la cuenca de los ríos Escarbado y González, así como también por aquellas actividades propias de la ciudad de Puerto Ceiba, además de El Bellote y el ejido Chiltepec. Entre las principales fuentes de contaminación del Golfo tenemos las descargas industriales, la agricultura, la producción pesquera, la actividad portuaria, la explotación de hidrocarburos en el Golfo.

En el Cuadro 3 se observa la concentración de cadmio en el ostión *C. virginica* y en los sedimentos de los tres bancos ostrícolas muestreados en la laguna Mecoacán durante un año. En el cuadro se observan los valores promedio significativamente más elevados en el tejido del ostión que en los sedimentos, independientemente del banco ostrícola.

El contenido de metales pesados en sedimentos y en el ostión, procedentes de las lagunas costeras puede estar influenciado por el período de sequías y entrada de agua de los ríos y del mar (Vázquez-Sauceda, Aguirre-Guzmán, Pérez-Castañeda, Rábago-Castro y Genaro Sánchez, 2005).

Wright (2002) señala que el consumo de Cd puede ser causa de diversos problemas en el ser humano (diarreas, vómitos severos, fractura de huesos, sistema nervioso central, inmune, desórdenes psicológicos, y cáncer). Las normas oficiales mexicanas (NOM-001-ECOL-1993 y NOM-027-SSA1-1993) establecen que el límite máximo permisible de cadmio en bivalvos de consumo no debe exceder a 0.5 ppm. Los valores promedio detectados en el presente trabajo demuestran que las concentraciones de cadmio en el ostión (Cuadro 3) son superiores a los límites máximos permisibles por estas normas. En estudios recientes Aguilar, Montalvo, Rodríguez, Ceron y Ceron (2012) determinaron concentraciones de hasta $4.30 \mu\text{g g}^{-1}$ para *C. virginica* en la Laguna de Términos, mientras que Aguilar-Ucán Montalvo-Romero, Cerón-Bretón y Anguebes-Franseschi (2013) reportan valores de Cd entre 0.020 a $0.038 \mu\text{g g}^{-1}$, para la misma especie. Por su parte, Navarrete-Rodríguez, Castañeda-Chávez y Lango-Reynoso (2013), mencionan que el contenido de Cadmio que encontraron en organismos de *C. virginica* provenientes del sistema lagunar Carmen-Machona-Pajonal de Tabasco, fue de $2.33 \mu\text{g g}^{-1}$, valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo en otra laguna del mismo estado. Los valores de Cd en el tejido de ostión de la laguna de El Carmen reportados por Vargas-Falcón, Brito-Manzano, Miramontes, Gómez y Cruz (2018) son inferiores a los presentes en la misma especie de ostión.

En cuanto al contenido de Cd en sedimentos, son muy pocos los estudios realizados, González-Fierro *et al.* (1994) trabajando en la laguna de Sontecomapán, Veracruz registró valores entre 0.3 y 1.7 ppm, mientras que Vázquez-Sauceda *et al.* (2005) reportan valores entre 1.07 y 1.11 ppm en la laguna San Andrés, Aldama, Tamaulipas, los cuales son superiores a los encontrados en esta investigación.

El contenido promedio de Pb en ostión y sedimento fue significativamente mayor en el banco Limoncito, que es el más alejado a la desembocadura de los ríos Escarbado y González, lo cual puede sugerir que el bajo flujo de agua presente en este banco, facilite la concentración de este metal en los sedimentos y ostiones.

En el caso del plomo en los bancos muestreados el ostión mostró hasta 8 veces más concentración que la permitida por las Normas Oficiales y que el banco con la mayor concentración fue Limoncito, lo cual demuestra la capacidad de los bivalvos para acumular los metales ya ha sido reportada por algunos autores como Guzmán-Amaya *et al.* (2005) y Navarrete-Rodríguez *et al.* (2013).

Los registros de Pb en sedimentos de las lagunas del Golfo de México, van desde 8.9 a $31.8 \mu\text{g g}^{-1}$ (Páez-Osuna *et al.*, 2002; Vázquez y Sharma, 2004; Vázquez-Sauceda *et al.*, 2005)

Los valores detectados en el presente trabajo demuestran que la concentración en el ostión es muy superior a los reportados por Navarrete-Rodríguez *et al.* (2013) y por lo tanto, al límite máximo permisible por la Norma Oficial Mexicana, por la FDA (Estados Unidos) y por el Codex Alimentarius (Comunidad Económica Europea, CEE), en los tres bancos seleccionados. Aunque también son similares o inferiores a los obtenidos para el ostión *C. virginica* (0.86 a 9.40 $\mu\text{g g}^{-1}$) proveniente de diversas lagunas del estado de Veracruz: Alvarado, La Mancha, Tamiahua y de la laguna San Andrés en Tamaulipas. Guzmán-Amaya *et al.* (2005), reportan que las concentraciones promedio de plomo en ostión de las lagunas de Alvarado, Mandinga y Tamiahua, Veracruz, estuvieron por encima del límite máximo permisible promedio de 32.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la FAO y de 1.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la FDA, respectivamente, así como también excedieron los límites de 1.0 $\mu\text{g g}^{-1}$, que marca la NOM-031-SSA1-1993 (DOF, 1996).

Aguilar-Ucán *et al.* (2013) encuentran concentraciones entre 0.049 y 0.134 $\mu\text{g g}^{-1}$, en ostiones de Ciudad del Carmen, Campeche, los cuales están muy por debajo de los niveles encontrados en el presente trabajo (8.93 a 9.89 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Referencias

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27(12): 686-690.
- Agemian, H. y Chau, A.S.Y. (1976) Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst*, 101 (1207), 761-767
- Aguilar, C.A., Montalvo, C., Rodríguez, L.A., Ceron, J.G. y Ceron, R.M. (2012). American oyster (*Crassostrea virginica*) and sediments as a coastal zone pollution monitor by heavy metals. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, (9), 579–586.
- Aguilar-Ucán, C.A., Montalvo-Romero, C., Cerón-Bretón, J.G. y Anguebes-Franceschi, F. (2013). Niveles de Metales pesados en especies marinas: Ostión (*Crassostrea virginica*), Jaiba (*Callinectes sapidus*) y Camarón (*Litopenaeus setiferus*), de Ciudad del Carmen, Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9 (2), 195-203.
- Baqueiro-Cárdenas E, Borabe L, Goldaracena-Islas C y Rodríguez-Navarro J. Los moluscos y la contaminación: Una Revisión. *Rev. Mex. Biodiv.* 2007; 78:1S-7S.
- Bertini, K.K., Martin, J.H. y Teal, J.M. (1976). Aids to analysis of seawater. In: Goldberg ED, (Ed.). *Strategies for marine pollution monitoring*. J. Wiley and Sons, United States. pp. 217-253.
- Del Castillo, I. (2018). Teoría de la depuración biológica: Reutilización y tratamiento de aguas residuales. Maestría en Gestión y Estudios Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 125 p.
- Diario Oficial de la Federación. 1996. Norma Oficial Mexicana Bienes y Servicios NOM-129-SSA1-1995. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud, Diario Oficial de la Federación. 29 de enero de 1996.
- Guzmán Amaya, P., Villanueva, F.S. y V. Botello, A. (2005). Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. P 361-372. In: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) *Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. Nal. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Loring, D.H. (1979). Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science*, (16), 1196-1209.
- Mas, A. y Azcue, J.M. (1993). *Metales en Sistemas Biológicos*. Barcelona, España. Promociones y Publicaciones Universitarias, S. A.
- Moody, J.R. y Lindstrom, R.M. (1977). Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analytical Chemistry*; (49), 2264-2267.

- Navarrete-Rodríguez, G., Castañeda-Chávez, M.R. y Lango-Reynoso, F. (2013). Metales pesados en pesquerías de las lagunas Carmen-Machona, Tabasco. Evaluación de metales pesados en recursos pesqueros del complejo lagunar Carmen-Machona-Pajonal, Tabasco. Deutschland, Alemania. Ed. Académica Española.
- Páez-Osuna, F. (1988). Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés. Tesis doctoral, UACPyP del CCH, UNAM. México.
- Páez-Osuna, F., Ruiz-Fernández, A.C., Botello, A.V., Ponce-Vélez, G., Osuna-López, J.I., Frías-Espéricueta, M., López-López, G. y Zazueta-Padilla, H.M. (2002). Concentrations of selected trace metals (Cu, Pb, Zn), organochlorines (PCBs, HCB) and total pasha in mangrove oysters from the Pacific coasts of Mexico: An overview. *Mar. Pollut. Bull.*, 44(11), 1303-1308.
- Prieto Valiente, L. y Herranz Tejedor, I. (2010). Bioestadística sin dificultades matemáticas. Madrid, España. Ed. Díaz de Santos.
- Vargas-Falcón, P., Brito-Manzano, N., Miramontes Flores, J., Gómez Vázquez, A. y Cruz Hernández, A. (2018). Determinación de Cd, Pb y Zinc en el ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna El Carmen, Tabasco, México. *GCFI*, 70, 1-14.
- Vázquez, F.G. y Sharma, V.K. (2004). Major and trace elements in sediments of the Campeche Sound, southeast Gulf of Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 4(1-2), 87-90.
- Vázquez-Sauceda, M.L., Aguirre-Guzmán, G, Pérez-Castañeda, R., Rábago-Castro, J. y Genaro Sánchez, J. (2005). Contenido de Cadmio y Plomo en agua, ostión y sedimento de la laguna de San Andrés Aldama, Tamaulipas. *Ciencia y Mar*, 27, 3-9.
- Wright, J. (2002). *Environmental Chemistry*. United Kingdom: Routledge Publisher.

BACTERIAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINACIÓN EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO JAMAPA

RICARDO MARTÍNEZ DELFÍN¹, CHRISTIAN REYES VELÁZQUEZ², MARÍA DEL REFUGIO
CASTAÑEDA CHÁVEZ³, ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN⁴

Resumen

El deterioro ambiental de la Cuenca Baja del Río Jamapa es un fenómeno que se ha visto acrecentado en el siglo XXI como consecuencia de la construcción de fraccionamientos y el aumento poblacional en la zona; las descargas de agua sin tratamiento provenientes de estos asentamientos, así como actividades productivas tales como la ganadería, son dos de las fuentes de contaminación más importantes en la zona. El objetivo de este trabajo era emplear la resistencia bacteriana a antibióticos, como bioindicador del grado de afectación microbiológica de la zona. Se procedió a tomar muestras durante el mes de mayo del 2021 al agua y sedimento de zonas aledañas a fuentes puntuales de contaminación tanto en el Río Jamapa como en la reserva estatal Arroyo Moreno. Se contrastaron las medias de los diámetros de inhibición obtenidos por el método de antibiograma Kirby-Bauer, los resultados mostraron que en los sitios aledaños a las descargas de aguas negras se alojan las bacterias que presentan mayor resistencia a antibióticos. Las cepas obtenidas tanto en la descarga del dren B del Canal de la Zamorana, como en la descarga de uno de los fraccionamientos aledaños al Arroyo moreno, presentaron respectivamente ser 60% y 135 % más resistentes a la Ampicilina en comparación con el promedio de las muestras de todos los sitios estudiados. Por tanto, los datos sugieren que las descargas de aguas sin tratamiento son un factor clave tanto en la contaminación de la zona, como en la aparición de cepas resistentes a antibióticos.

Palabras clave: Antibióticos, bacterias, río, aguas negras, ganadería.

Abstract

The environmental deterioration of the Lower Basin of the Jamapa River is a phenomenon that has been increased in the 21st century as a consequence of the construction of subdivisions and the population increase in the area; Untreated water

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. christianreyes@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

discharges from these settlements, as well as productive activities such as cattle ranching, are two of the most important sources of contamination in the area. The objective of this work was to use bacterial resistance to antibiotics as a bioindicator of the degree of microbiological involvement of the area.

Samples were taken during the month of May 2021 of the water and sediment from areas surrounding point sources of pollution both in the Jamapa River and in the Arroyo Moreno state reserve. The means of the inhibition diameters obtained by the Kirby-Bauer antibiogram method were contrasted, the results showed that the bacteria with the greatest resistance to antibiotics are housed in the sites adjacent to the sewage discharges. The strains obtained both in the discharge of drain B of the Canal de la Zamorana, and in the discharge of one of the subdivisions adjacent to the Arroyo Moreno, were respectively 60% and 135% more resistant to Ampicillin compared to the average of the strains. samples from all sites studied. Therefore, the data suggest that untreated water discharges are a key factor both in the contamination of the area and in the appearance of antibiotic-resistant strains.

Keywords: Antibiotics, bacteria, river, sewage, livestock

Introducción

La resistencia bacteriana consiste en diversos mecanismos por los cuales las bacterias pierden sensibilidad ante las sustancias químicas que inhibían su crecimiento o las eliminaban (Crispín, 2008). Asimismo, el abuso de los antibióticos se ha identificado como el factor principal de generación de resistencia (Pastor-Sánchez, 2006). Esto se debe a que, al aumentar el uso de un antibiótico, las bacterias van desarrollando genes de resistencia ante el mismo (WHO, 2014).

Las actividades antropogénicas también juegan un papel clave en el aumento de la resistencia bacteriana a antibióticos, un ejemplo de esto es el incremento de la demanda de carne a nivel mundial, el cual ha traído consigo, un aumento en el uso de antibióticos relacionado a la crianza de animales. En consecuencia, los antibióticos de uso veterinario usados en la ganadería, en países desarrollados como Estados Unidos, rondan el 80% de su consumo total. Aunado a esto se proyecta que México sea el quinto mayor consumidor de antibióticos en el mundo para el 2030 (Van Boeckel et al., 2015).

También es necesario resaltar que investigaciones como la de Karkman y colaboradores (2018) evidencian que existen factores ambientales interactuando en esta problemática. Algunos de estos son la formación de biopelículas por parte de las bacterias, acumulación de fármacos en el agua y sedimento, al igual la capacidad del suelo de filtrar líquidos contaminados con antibióticos (Kümmerer, 2004).

Por tanto, la resistencia a antibióticos por parte de bacterias, supone un bioindicador del grado de afectación microbiológica, producido por las actividades antropogénicas, especialmente las agropecuarias (Al-Bahry et al., 2009).

El objetivo de esta investigación es el de utilizar como bioindicador, la variación de la resistencia a antibióticos, que presentan bacterias en agua y sedimento en la Cuenca Baja del Río Jamapa.

Materiales y métodos

Zona de estudio y selección de sitios

La Cuenca Baja del Río Jamapa se encuentra ubicada entre los municipios de Veracruz, Medellín y Jamapa. Sus coordenadas son 18°45' y 19°14' latitud norte, y entre 95°56' y 97°17' longitud oeste (Fuentes-Mariles et al., 2014).

Mediante un acercamiento previo a la zona de estudio, y un análisis de las imágenes de satélite disponibles, se seleccionarán sitios de muestreo a lo largo de la Cuenca Baja del Río Jamapa donde se concentre la actividad antropogénica al igual que a fuentes puntuales de contaminación.

Tabla 1.- Ubicación de los sitios de muestreo en la Cuenca Baja del Río Jamapa, las características y el tipo de fuente de contaminación.

Sitio	Coordenadas	Características	Tipo de fuente
1	N 19°04'37.288" W 96°08'12.4224"	Sitio con presencia ganadera	Difusa
2	N 19°04'58.35" W 96°08'40.6440"	Descarga de Planta Industrial Dos Bocas	Puntual
3	N 19°05'23.4996" W 96°08'26.3544"	Descarga de aguas negras	Puntual
4	N19°05'28.3704" W 96°08'24.1836"	Descarga de granja acuícola	Puntual
5	N19°06'41.3676" W 96°08'31.542"	Descarga de la termo eléctrica Dos Bocas	Puntual
6	N19°07'07.7232" W 96°07'49.6128"	Dren B de el canal de la Zamorana	Puntual
7	N19°06'13.212" W 96°06'46.5876"	Descarga de desarrollo urbano (Arroyo Moreno)	Puntual
8	N19°05'59.514" W 96°06'42.5484"	Descarga de desarrollo urbano (Playa de Vacas)	Puntual

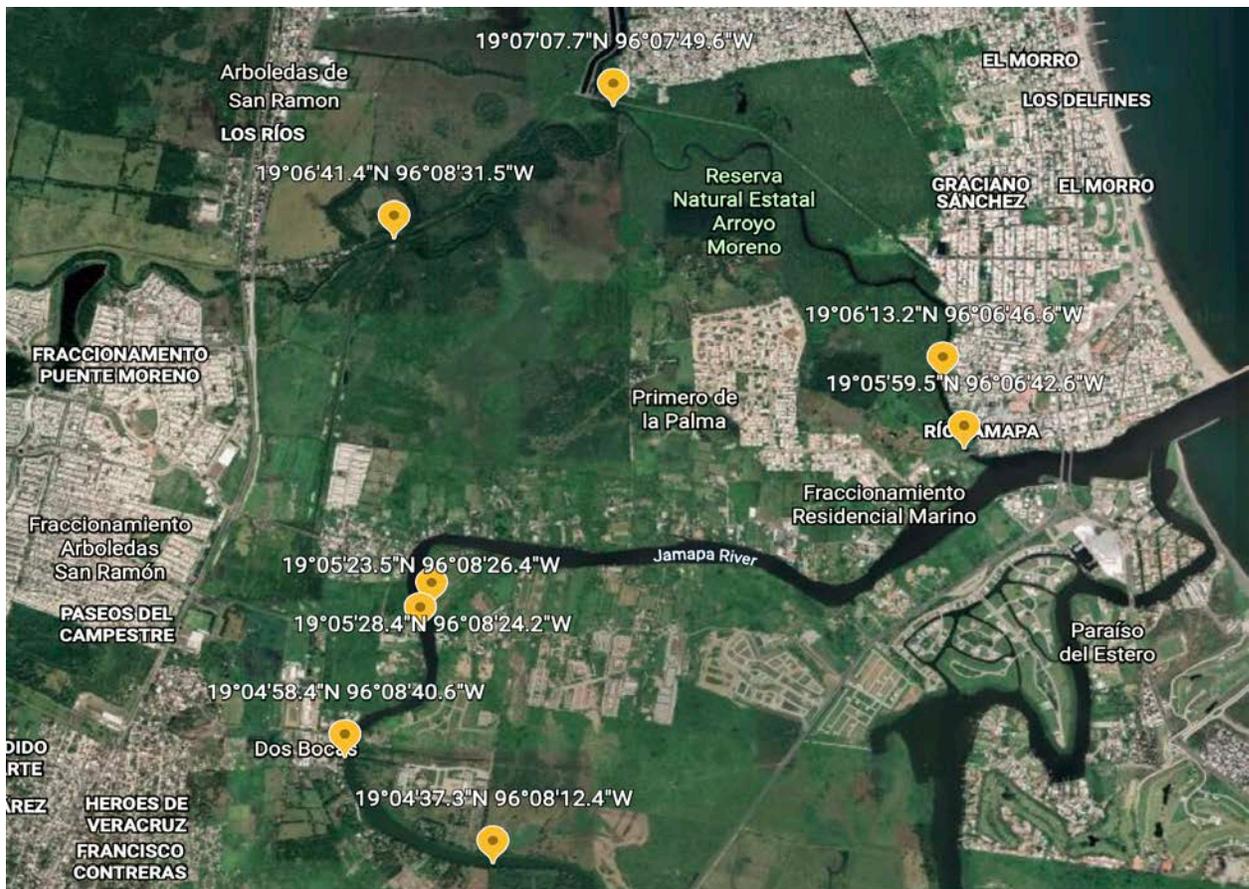


Figura 1.- Mapa de los sitios de muestreo elaborado en Google

Toma de muestra

Se tomaron muestras de agua por duplicado a 0.5 m de profundidad aproximadamente, con bolsas Whirlpak (Nasco), de 100 mL, y luego fueron almacenadas en hieleras para mantener la muestra a 4°C. En el caso de las muestras de sedimento, se tomaron con un nucleador de sedimento a un metro del límite del río, y se hizo su recolección tomando como referencia el método usado en el trabajo de Martínez y colaboradores (2010), para después ser almacenado en bolsas Ziploc. En total se tomaron 16 muestras de agua y 14 de sedimento, esto debido a que el último punto no fue posible tomar muestra de sedimento, ya que el sedimento cercano a la descarga de aguas negras estaba rodeado de piedras.

Transporte de muestra

Las muestras se transportaron en una hielera las muestras a 4°C para ser tratadas en un tiempo máximo de 8 horas como se indica en la norma NMX-AA120-SCFI-2016 y se llevaron al laboratorio LIRA del Instituto Tecnológico de Boca del Río para su procesamiento.

Procesamiento de la muestra

Tomando como referencia trabajos como el de Romina y colaboradores (2016) las muestras fueron homogenizadas en botes de plástico con agua destilada estéril durante las 8 horas posteriores a haber empezado el muestreo. Se agregaron 25 mL de agua en 225 mL de agua destilada estéril, al igual que 25 g de sedimento por 225 mL de agua.

Pasadas 24 horas se procedió a pre enriquecer cada una de las muestras en APA (agua peptonada alcalina) y solución de fosfatos, la metodología fue la siguiente:

La solución de fosfato se preparó añadiendo 34 g de fosfato mono sódico a 500 mL de agua, posteriormente se ajusta el pH con hidróxido de sodio hasta llevarlo a 7.2, se aforó a 1L y se esterilizó, luego se ocuparon 1.5 mL de esta solución concentrada y se aforó a 1 L esta es la solución final que se ocupó para el pre-enriquecimiento. El agua peptonada alcalina se preparó mediante las instrucciones del fabricante (Difco); se pesaron y posteriormente se agregaron 20 g de agua peptonada de la marca Difco a 1L de agua destilada, posteriormente se ajustó el pH con hidróxido de sodio hasta 8.5 y se esterilizó por 15 min.

Se agregaron 9 mL a tubos de ensayo tanto la solución de fosfato como la solución APA y se inocularon con 1 mL de cada una de las muestras previamente agitadas. Posteriormente se dejaron incubando a 35°C. Después de 24 horas se procedió a sembrar en cajas Petri estériles de plástico por estría cruzada en Agar MacConkey, Agar TCBS y Agar de *Pseudomonas* P (Álvarez et al., 2004; Cercenado Emilia, 2008).

Los agares se prepararon mediante lo señalado por el fabricante (Difco) y se procedió a incubar las muestras a 35° C por 24 horas.

Posteriormente se reseleccionaron y aislaron las colonias en agar nutritivo, intentado no repetir las que fenotípicamente se notaban iguales y habían crecido en la misma caja. Tanto en este paso como en el anterior también se utilizaron controles negativos.

Antibiogramas

Teniendo las cepas aisladas, se procedió a realizar la prueba de antibiograma por el método Kirby-Bauer, de acuerdo al trabajo de Odonkor & Addo (2018), para esto primero se realizó un patrón McFarland a 0.5 NTU de turbidez, el cual consiste en 0.05 mL de BaCl₂ 0.048M y 9.95 ml de H₂SO₄ 0.36M. Se comprobó la absorbancia del patrón 0.5 con un espectrofotómetro. Posteriormente se procedió a realizar una suspensión de las colonias aisladas en tubos de ensayo con agua destilada previamente esterilizada por 10 min. La suspensión se realizaba hasta alcanzar la misma turbidez del patrón 0.5 de McFarland equivalente a 1.5x10⁸ CFU/mL. Se sembraron con hisopo las suspensiones en agar Muller-Hinton y se incubaron a 35° C. Para medir la sensibilidad a antibióticos se utilizaron 3 sensibilizadores diferentes: Ampicilina 10 µg/mL, Oxitetraciclina 30 µg/mL, Ceftriaxona 30 µg/mL acorde con

(Bernal & Guzmán, 1984). Estos se realizaron con papel filtro Whatman #42 los cuales fueron remojados en soluciones salinas al 0.9% con los antibióticos a la concentración anteriormente mencionada. Se midieron con una regla los diámetros de los halos de inhibición (áreas donde no hubo crecimiento bacteriano que rodean al sensidisco) para cada antibiótico para las 40 cepas que se sembraron.

Procesamiento de datos

El estudio se realizó de corte cuantitativo utilizando los datos de los diámetros de los halos de inhibición de los antibiogramas, contrastandolos a pruebas de varianza y normalidad.

Primero se realizó para determinar si existe una distribución normal, la prueba de Shapiro-Wilk, con el software de Real Statistics en su versión 2016 para Excel en sistema MacOs para cada grupo de datos agrupados por antibiótico, posteriormente se realizó la prueba ANOVA en el software para ver si había diferencias estadísticamente significativas entre grupos de datos tomando como variable el sitio de muestreo. Por último, se realizaron gráficas descriptivas en Minitab poder observar la tendencia del comportamiento de los resultados, junto con gráficos de Excel de comportamiento de las medias. Se usó un alfa de 0.05 y se planteó como H_0 que existían diferencias significativas entre grupos, a un 95% de confiabilidad.

Resultados

Se documentaron los diámetros de los halos de inhibición medidos para cada una de las 40 cepas que se lograron aislar con respecto a cada uno de los 3 antibióticos.

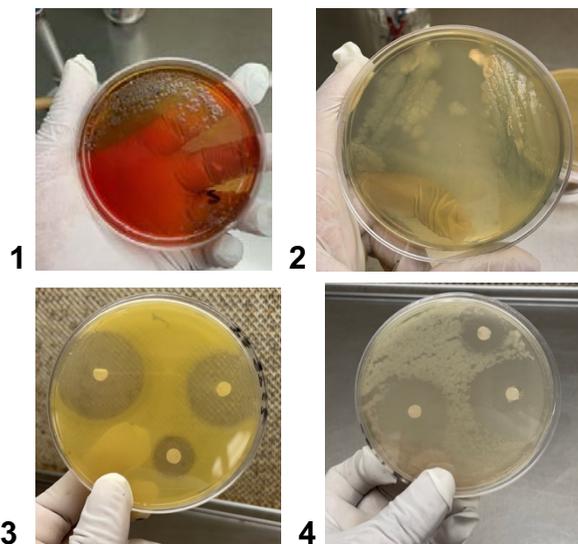


Imagen1.- 1) Crecimiento en Agar MacConkey, 2) aislamiento en agar nutritivo de *Pseudomonas*, 3) Lectura de resultados en agar Muller Hinton para antibiograma 4) Lectura de resultados en agar Muller Hinton para un crecimiento presuntivo de *Pseudomonas*.

Tabla 2.- Tabla de valores de las medias de los diámetros de los halos de inhibición bacteriana para cada antibiótico en las muestras de sedimento y agua en la Cuenca Baja del Río Jamapa.

	Ampicilina 10 mg/L	Oxitetraciclina 30 mg/L	Ceftriaxona 30 mg/L
Sitio 1	0.70 ± 0.08	2.12 ± 0.09	3.12± 0.07
Sitio 2	1.16± 0.09	2.46 ± 0.12	3.34± 0.14
Sitio 3	1.05± 0.13	2.38± 0.13	3.88± 0.11
Sitio 4	0.84± 0.14	2.70± 0.09	3.56± 0.05
Sitio 5	0.37± 0.09	2.55± 0.09	3.22± 0.07
Sitio 6	0.44± 0.05	2.16±0.05	3.20±.087
Sitio 7	0.30± 0.03	2.10± 0.04	3.26± 0.02
Sitio 8	0.56± 0.07	2.26 ± 0.03	3.10± 0.06

*Medias con su respectivo error estándar**

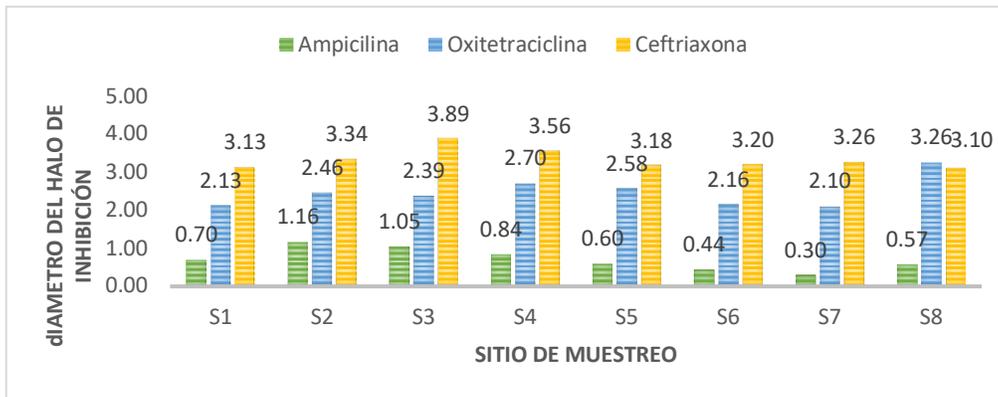


Figura 2.- Valores medios de diámetro de inhibición para cada antibiótico para cada punto de muestreo

Los resultados de la prueba de varianza mostraron; para la Ampicilina a 10 µg/mL que no hay diferencias significativas para los grupos de datos respecto a los grupos de muestreo [$f = (8,7) 1.14$ $p > 0.05$] entre los sitios. En el caso la Oxitetraciclina 30 µg/mL no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de dato respecto al punto de muestreo [$f (8,7) = 1.99$ $p > 0.05$]. Por último, los resultados de prueba de varianza para la Ceftriaxona a 30 µg/mL mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los datos por sitio de muestreo [$f (8,7) = 1.29$ $p > 0.05$].

Discusión

Los resultados de las pruebas de varianza para los datos obtenidos en los antibiogramas mostraron que no hay diferencias significativas entre sitios de muestreo, esto puede deberse a qué muchas zonas pueden presentar el mismo tipo de bacterias (de origen fecal), las cuales pueden presentar valores parecidos de resistencia. No obstante, las medias de los diámetros de los halos de inhibición muestran una tendencia de mayor resistencia en los sitios de muestreo 6 y 7 (ver figura 2), los cuales corresponden a descargas de aguas negras del dren B del canal

de la Zamorana, así como la descarga de la zona residencial aledaña a la Reserva Federal Arroyo Moreno.

Se pudo constatar que en gran parte de la zona de estudio se encuentran descargas de aguas negras de provenientes de los diversos fraccionamientos y residenciales aledaños al Río Jamapa y la Reserva Estatal Arroyo Moreno, esto es importante debido a que trabajos como el de Martínez y colaboradores (2013) se ha documentado como los cuerpos de agua contaminados suelen ser reservorios de genes de resistencia en antibióticos. Debe señalarse que futuras investigaciones tienen que contemplar la identificación de las especies para poder explicar mejor la resistencia que pudiesen presentar a un antibiótico en específico, al igual que se debe contemplar el efecto que puede suponer la estacionalidad en los resultados. En el caso de este estudio, fue realizado en mayo en época de estiaje. Se debe resaltar que la mayor resistencia a la Ampicilina se podría deber a que las bacterias encontradas en este ecosistema, en su mayoría pudiesen ser de origen fecal, ya que, aunque no se realizó una identificación bioquímica hasta el nivel de especie, de forma presuntiva y por sus características fenotípicas, se pudo observar que la bacteria que más se presentó durante las siembras y aislamientos, fueron colonias de *E. coli* en el Agar MacConkey. Aunado a esto en la Cuenca Baja del Río Jamapa es una zona que ha sido documentada sufre de contaminación fecal y altos niveles de coliformes, esto como consecuencia de las descargas de aguas negras (Alfaro-Gómez et al., 2014; Ruiz et al., 2011), recordando que las bacterias Gram negativas como lo es la *E. coli* presentan resistencia a los betalactámicos, y eso podría explicar por que las cepas presentaron una sensibilidad mayor a la Ceftriaxona en comparación a los otros dos antibióticos.

Conclusión

Los datos no muestran diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de muestreo, pero muestran tendencia a tener mayor resistencia a antibióticos (menor sensibilidad) en los puntos de descarga de aguas negras, en comparación con los de origen industrial y ganadero, esto contrastando las medias de los datos obtenidos para los 3 antibióticos. La ampicilina fue el antibiótico al que presentar mayor resistencia todas las cepas obtenidas en la Cuenca Baja del Río Jamapa. Se puede concluir con este trabajo que el ocupar la resistencia a los antibióticos en bacterias como bioindicador, puede mostrar tendencias del grado de afectación que están sufriendo los microorganismos cercanos a fuentes puntuales, pero para un uso más confiable hace falta más información de factores tales como la estacionalidad y la diversidad de especies de bacterias.

Referencias

- Al-Bahry, S. N., Mahmoud, I. Y., Al-Belushi, K. I. A., Elshafie, A. E., Al-Harthy, A., & Bakheit, C. K. (2009). Coastal sewage discharge and its impact on fish with reference to antibiotic resistant enteric bacteria and enteric pathogens as bio-indicators of pollution. *Chemosphere*, 77(11), 1534–1539. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.052>
- Alfaro-Gómez, K., Bazant Fabre, O., Bouchot-Alegría, J., Buendía-Hernández, A., González-Ocaranza, L., Trejo-López, B., & Ortiz-Lozano, L. (2014). Diagnóstico de la problemática ambiental en el estero del Río Jamapa dentro de los municipios de Boca del Río, Alvarado y Medellín, Veracruz, México. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28637.67043>
- Álvarez, J. D., Agurto, C. P., Álvarez, A. M., & Obregón, J. (2004). Resistencia antimicrobiana en bacterias aisladas de tilapias, agua y sedimento en Venezuela. *Revista Científica*, 14(6), 0.
- Bernal, M., & Guzmán, M. (1984). El antibiograma de discos. Normalización de la técnica de Kirby-Bauer. *Biomédica*, 4(3–4), 112–121.
- Cercenado Emilia, C. R. (2008). Procedimientos en Microbiología Clínica. Seimc.Org.
- Crispín, P. V. (2008). Resistencia bacteriana a los antibióticos. *Ciencia e Investigación*, Vol.11, 5–6. <https://doi.org/10.15381/ci.v11i2.4040>
- Fuentes-Mariles, O. A., Franco, V., Luna-Cruz, F., Vélez-Morales, L., & Morales-Rodríguez, H. L. (2014). Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México convenio CNA-SGTGASIR-09/2014, organismo de cuenca X, Golfo centro ciudad de Veracruz, Veracruz ríos Jamapa y Cotaxtla. Comisión Nacional Del Agua e Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Karkman, A., Do, T. T., Walsh, F., & Virta, M. P. J. (2018). Antibiotic-Resistance Genes in Waste Water. In *Trends in Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.09.005>
- Kümmerer, K. (2004). Resistance in the environment. In *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* (Vol. 54, Issue 2, pp. 311–320). <https://doi.org/10.1093/jac/dkh325>
- Martínez, A., Cruz, M., Veranes, O., Carballo, M. E., Salgado, I., Olivares, S., Lima, L., & Rodríguez, D. (2010). Resistencia a antibióticos ya metales pesados en bacterias aisladas del río Almendares. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41, 1–10.
- Martínez, A., Cruz, M., Veranes, O., Carballo, M., Salgado, I., Olivares, S., Lima, L., & Rodríguez, D. (2013). Evaluación de la resistencia a antibióticos y a metales pesados en aislados bacterianos del río almendares. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41, 1–10.

- Odonkor, S. T., & Addo, K. K. (2018). Prevalence of Multidrug-Resistant *Escherichia coli* Isolated from Drinking Water Sources. *International Journal of Microbiology*, vol.2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7204013>
- Pastor-Sánchez, R. (2006). Alteraciones del nicho ecológico: resistencias bacterianas a los antibióticos. *Gaceta Sanitaria*, 20, 175–181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1157/13086041>
- Romina, D., PUCCI, O. H., & PUCCI, G. N. (2016). Patrones de resistencia a antibióticos de bacterias aisladas en el sedimento intermareal de la playa en Comodoro Rivadavia (Argentina). *Hig. Sanid. Ambient*, 16 (4), : 1461-1466.
- Ruiz, M. de los Á. P., de Jesús Alcaraz, Z. T., Rangel, M. A., Avalos, H. Z. de la C., & Ortiz-Lozano, L. (2011). Principales problemáticas de la zona conurbada; veracruz, boca del río y medellín: causas y actores involucrados. *Posgrado de Ecología y Pesquerías*. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana. A.
- Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A., & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>
- WHO. (2014). Antimicrobial resistance. Global report on surveillance. In *World Health Organization*. <https://doi.org/10.1007/s13312-014-0374-3>

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: LA PLANTA DE LOMBRICOMPOSTAJE DE TEOCELO, VERACRUZ

YADENEYRO DE LA CRUZ ELIZONDO¹, HÉCTOR NARAVE FLORES², ARMANDO LOZADA GARCÍA³, FRANCISCO MARTÍNEZ TLAPA⁴, JUAN FONTALVO BUELVAS⁵

Resumen

El municipio de Teocelo al igual que muchos otros lugares del país enfrenta serios problemas ambientales, en particular en la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos, con el fin de contribuir a solucionar esta problemática y con una visión de política ambiental municipal, se implementó el programa integral de separación, manejo, educación y aprovechamiento de los residuos sólidos municipales y una planta de lombricompostaje para la transformación de la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos generados en el municipio. Es así que se pretende proporcionar elementos de gestión municipal que orienten acciones para implementar una política pública municipal para el manejo de residuos sólidos urbanos, tomando como base las experiencias y gestiones que lograron implementar, desarrollar y mantener el mencionado programa. La buena participación de la población logró que los habitantes realizaran la separación de sus residuos domésticos, además, una estrecha vinculación entre los sectores académico, social y la administración municipal es trascendental para transitar hacia un modelo de gestión social de estos residuos. Actualmente el centro de lombricompostaje, además de transformar desechos orgánicos en abonos, funciona como un espacio educativo de identidad social, reconocido a nivel local y nacional, como un caso exitoso de desarrollo regional sustentable para la solución del problema de manejo de los residuos sólidos urbanos.

Palabras clave: Participación social, gestión municipal, abono orgánico.

Abstract

The municipality of Teocelo, like many other places in the country, faces serious environmental problems, particularly in the generation, management and final disposal of urban solid waste, in order to contribute to solving this problem and with

¹ Facultad de Biología (UV). Circuito Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91000, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz. ydelacruz@uv.mx

² Facultad de Biología (UV). Circuito Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91000, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz

³ Facultad de Biología (UV). Circuito Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91000, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz

⁴ Facultad de Biología (UV). Circuito Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91000, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz

⁵ Facultad de Biología (UV). Circuito Aguirre Beltrán S/N, C.P. 91000, Zona Universitaria. Xalapa, Veracruz

a vision of municipal environmental policy. , the comprehensive program for separation, management, education and use of municipal solid waste and a vermicomposting plant for the transformation of the organic fraction of organic solid waste generated in the municipality was implemented. Thus, it is intended to provide elements of municipal management that guide actions to implement a municipal public policy for the management of urban solid waste, based on the experiences and efforts that managed to implement, develop and maintain the aforementioned program. The good participation of the population achieved that the inhabitants carried out the separation of their domestic waste, in addition, a close link between the academic, social sectors and the municipal administration is transcendental to move towards a model of social management of this waste. Currently, the vermicomposting center, in addition to transforming organic waste into fertilizers, works as an educational space of social identity, recognized locally and nationally, as a successful case of sustainable regional development for the solution of the problem of urban solid waste management. .

Keywords: Social participation, municipal management, organic fertilizer.

Introducción

México al igual que muchos países enfrenta serios problemas ambientales, en particular en la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos urbanos. Se estima que en el país alrededor del 65% se disponen principalmente en rellenos sanitarios, el resto se depositan en espacios inadecuados y sin ninguna infraestructura, lo que genera diversos tipos de contaminación, situación que se agrava más en zonas rurales (de la Cruz-Garduño, 2019).

El municipio de Teocelo se ubica en la región montañosa central del Estado de Veracruz, México. Tiene una población de 16300 habitantes distribuidos en 26 localidades; Teocelo, es su cabecera municipal, con 9967 habitantes, la cual enfrenta problemas ambientales como la generación y disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), al igual que muchas otras del Estado y del País. En este sentido, desde hace 20 años se realizan esfuerzos para el manejo integral de los RSU, que han sido reconocidos a nivel local, nacional e internacional (Martínez, 2006; Garibay *et al.*, 2013; Wojtarovksy *et al.*, 2018; de la Cruz *et al.*, 2019).

Con el fin de contribuir a solucionar esta problemática en el 2001, con una visión de política ambiental municipal, se implementó en el municipio el “*Programa Integral de Separación, Manejo, Educación y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales*”, en la cabecera municipal. A partir de esto, se tuvo la iniciativa de construir una Planta de Lombricompostaje (PL) para la transformación de la fracción orgánica de los residuos (Martínez, 2006; Ramírez, 2017). Al paso de unos años, en el 2004 al término del periodo de Gobierno Municipal, no se dió el seguimiento adecuado a la PL y éste quedó en desuso durante la administración 2005-2007. No obstante, por la buena participación de la población que se logró en el programa

inicial, los habitantes continuaron con la separación de sus residuos domésticos en casa, aunque ya no se trataran en al PL que quedó en el abandono.

Con el posterior cambio de administración municipal al período 2008-2010, se retomó la experiencia del manejo de residuos con base en la solicitud e incitativa de la población; se construyó una nueva Planta de Lombricompostaje. En esta ocasión se impulsó su tecnificación; considerando la viabilidad del Programa de separación de Residuos Sólidos Orgánicos (RSO), se mejoró la infraestructura. Durante este periodo, a través de Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología del Gobierno del Estado (COVECyT) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno Federal, se gestionaron dos proyectos. Sin embargo, por problemas administrativos y falta de conciliación entre las diferentes instancias involucradas, el segundo, no se llevó a cabo.

Con el cambio de administración en el periodo 2011-2013, nuevamente la Planta de Lombricompostaje redujo considerablemente sus actividades y minimizó los procesos técnicos, lo que propició un mal manejo de los residuos e inconformidad de vecinos por los malos olores, por lo que estuvo a punto de ser clausurada por la autoridad estatal. A esto se sumó la falta de coordinación con instancias académicas de apoyo y asesoría en aspectos técnicos, por otro lado, también se presentaron conflictos administrativo-financieros, y se ignoró la participación comunitaria. Todo esto impactó de forma negativa su funcionamiento. Durante el periodo 2014-2017, la “nueva administración municipal” volvió a retomar el proyecto, se hicieron mejoras sustanciales en la infraestructura de la PL, se establecieron estrechos vínculos de trabajo con la Universidad Veracruzana y El Colegio de Veracruz, y se fortaleció la participación social de los habitantes a través del establecimiento de una instancia ciudadana-gubernamental, con el objeto y visión a futuro de evitar que el proyecto y la Planta estuviesen de nueva cuenta sometidos a la voluntad “partidista-política” que se da en los constantes cambios de la administración pública municipal, aspectos que se lograron y continúan a la fecha.

El problema de la disposición final de RSU (Residuos Sólidos Urbanos)

De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en el 2012, a nivel nacional la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios y sitios controlados alcanzó poco más del 74% del volumen generado, el 21% se depositó en sitios sin autorización y el 5% restante fue reciclado (SEMARNAT, 2015). Los avances en materia de rellenos sanitarios se han dado principalmente en las grandes ciudades, ya que en ese mismo año el 90% de las zonas metropolitanas disponían sus residuos en éstos, y en “sitios controlados”⁶, mientras que tan solo el 4.5% en las localidades rurales, o semiurbanas lo hacían de la misma manera. De

⁶ Los sitios controlados se definen espacios donde se depositan RSU, que no tienen la infraestructura de relleno sanitario, pero son avalados por la autoridad ambiental.

igual forma, para Jiménez-Martínez (2015), a nivel municipal en materia de disposición de los residuos, los avances más significativos se localizan en las zonas metropolitanas, ya que el 53% de estos fueron depositados en “sitios controlados,” y el 42% corresponde a ciudades medias. Por otra parte, los RSU que mayoritariamente se disponen en sitios no controlados son los generados en las localidades rurales o semiurbanas, como es el caso de Teocelo (Martínez, 2018).

En el Estado de Veracruz, se registra una fuerte problemática en cuanto a los RSU; es la tercera entidad generadora con 6,157.3 toneladas al día, de las que apenas 2,488 se disponen en rellenos sanitarios con “alguna infraestructura”. El resto se dispone en un número indefinido de tiraderos a cielo abierto, lo que provoca contaminación al suelo, la atmósfera y cuerpos de agua. La Secretaría de Medio Ambiente del Estado registra 28 rellenos sanitarios para los 212 municipios de la entidad, lo que refleja el problema de la disposición final de residuos para un gran número de poblaciones (SEDEMA, 2016; SEDEMA, 2019). Por ejemplo, en el municipio de Teocelo, para el año 2006 se generaban en promedio 19 toneladas diariamente de residuos sólidos, de las cuales 12 eran orgánicos, compuestas de la siguiente forma: 70% restos de verduras y frutas, 20% hojarasca y residuos de jardinería, 8% papel y cartón y 2% de otros materiales (Martínez, 2006).

En cuanto a los aspectos normativos y legales sobre los RSU en México (Cuadro 1), compete a los municipios ejercer las funciones de su manejo, como la recolección, traslado, tratamiento, y disposición final. Sin embargo, por diversos aspectos entre los que prevalecen la carencia de recursos, de personal e infraestructura, muchos gobiernos municipales se ven imposibilitados a realizarlo, reduciendo sus actividades a la recolección periódica y la disposición en sitios “a su alcance” por lo regular inadecuados, sin infraestructura y fuera de toda normatividad, lo que trae consigo impactos considerables al ambiente, provocados por la emisión de gases y la producción de lixiviados que contaminan el suelo, el agua y el aire (Aguilar-Virgen, Armijo-de Vega y Taboada-González, 2009); y en algunos casos también afectan la salud humana (Minichilli *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Marco legal del manejo de residuos sólidos urbanos en México, Veracruz y Teocelo.

COMPETENCIA	ORDENAMIENTO	DESCRIPCIÓN
FEDERAL	Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos	<p>Art. 115. Establece que los municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos; sin perjuicio de su competencia constitucional, en el desempeño de las funciones o la prestación de los servicios a su cargo, los municipios observarán lo dispuesto por las leyes federales y estatales.</p> <p>Art. 137. Queda sujeto a la autorización de los municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección,</p>

<p style="text-align: center;">FEDERAL</p>	<p style="text-align: center;">Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)</p> <p style="text-align: center;">Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)</p> <p style="text-align: center;">Normas Oficiales Mexicanas</p>	<p>almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales. La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.</p> <p>Otros artículos relacionados de la LGEEPA son el 5°, 7°, 8°, 15°, 134°, 135°, 136°, 137°, 138°, 140°, 141° y 142°.</p> <p>Art. 10. Los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de los residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final, conforme a las siguientes facultades: Formular los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, emitir los reglamentos y demás disposiciones jurídico-administrativas, controlar los residuos sólidos urbanos, brindar el servicio público de manejo integral de residuos sólidos urbanos y otorgar las autorizaciones para concesiones de una o más de las actividades que comprende la prestación de los servicios de manejo integral de los residuos sólidos urbanos.</p> <p>Art. 96. Define las acciones que deberán llevar a cabo las entidades federativas y los municipios en el ámbito de sus competencias para promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación.</p> <p>Art. 97. Las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a los que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Los municipios regularán los usos del suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. A la fecha sólo se ha emitido la NOM-083-SEMARNAT-2003, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales.</p>
	<p style="text-align: center;">Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD 2019-2024)</p>	<p>Establece disposiciones de observancia obligatoria para el Estado, teniendo como objetivo la prevención, preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como los fundamentos para el manejo y disposición final de los residuos sólidos no peligrosos.</p>

<p>ESTATAL</p>	<p>Ley 62 Estatal de Protección Ambiental</p> <p>Ley 847 de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y Residuos de Manejo Especial para el estado de Veracruz:</p> <p>Ley Orgánica del Municipio Libre en el Estado de Veracruz</p>	<p>Art. 7. Establece las facultades de las autoridades Municipales del Estado de Veracruz, relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos que no estén considerados como peligrosos.</p> <p>Art. 5. Establece que los Ayuntamientos prestarán directamente o a través de sus correspondientes organismos operadores o de concesionarios, los servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los RSU, así como elaborara los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los RSU, a través de las comisiones municipales de Ecología. También, emitir los reglamentos y demás disposiciones jurídico-administrativas dentro de su respectiva jurisdicción, establecer y actualizar el registro de los macro generadores de RSU, así como el padrón de usuarios de los servicios públicos a su cargo. Entre otras actividades de competencia municipal que se mencionan en el artículo son: formular, establecer y evaluar los Sistemas de Manejo Ambiental del Gobierno Municipal, planear y programar la prestación de los servicios de limpia, recolección, traslado, tratamiento, y disposición final de residuos, promover la educación continua y la capacitación de personas, grupos y organizaciones de todos los sectores de la sociedad para contribuir al cambio de hábitos negativos de producción y consumo, entre otros.</p> <p>Art. 53°. La comisión de limpia pública municipal deberá fomentar la limpieza a nivel municipal, vigilando la aplicación de los sistemas de recolección y disposición final de la basura, vigilar la operación de rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de basura.</p> <p>Art. 58°. La Comisión de Ecología y Medio Ambiente deberá colaborar la Comisión de Limpia Pública en la vigilancia de la operación de los rellenos sanitarios, sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de basura.</p>
<p>MUNICIPAL</p>	<p>Programa para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos de Teocelo, Veracruz.</p>	<p>El servicio de limpia pública del municipio de Teocelo atiende: a la Cabecera Municipal, ocho localidades (Baxtla, Independencia, Llano Grande, Santa Rosa, Tejerías, Texín, El Zapote y Barrio La Palma) y a dos rancherías (Rancho de los Cuevas y Loma Alta).</p>

El presente trabajo pretende proporcionar elementos de gestión municipal que orienten acciones para implementar una política pública municipal para el manejo de residuos sólidos urbanos, tomando como base las experiencias y gestiones que lograron implementar, desarrollar y mantener el Programa Integral de Separación, Manejo, Educación y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales en Teocelo, Veracruz. Resaltando que una estrecha vinculación entre el sector académico, el social y la administración municipal es trascendental para transitar hacia un modelo de gestión social de los residuos sólidos municipales.

Materiales y Métodos

El manejo y disposición final de los RSO en Teocelo

Si bien los rellenos sanitarios representan una alternativa para la disposición final de RSU, de manera particular para aquellos que no pueden ser reutilizados o reciclados. Es claro que no es la técnica más sustentable para los RSO, ya que éstos requieren un manejo diferente, desde su separación hasta su disposición final. La problemática de los RSO va más allá de encontrar una solución ecológica o ambientalmente responsable, debido a que en el caso de los municipios “pequeños” como Teocelo sobrepasa a los aspectos económicos de su reducido presupuesto. Además, debe trascender a los cambios de las administraciones municipales, ya que para su éxito y consolidación se requiere continuidad. Por eso en el caso del municipio de Teocelo para mitigar los problemas que causan los RSO se desarrolló una propuesta de gestión que se aborda en cuatro etapas como se muestra en la Figura 1.

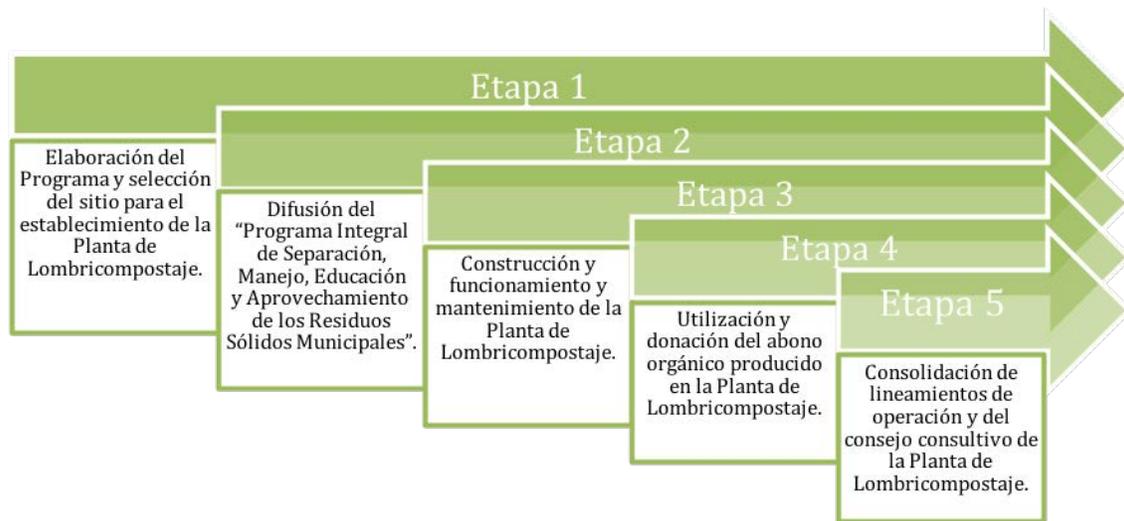


Figura 1. Etapas de la propuesta de gestión social de los residuos sólidos orgánicos para el municipio de Teocelo (Veracruz, México). **Fuente:** Adaptado de Martínez (2018).

De manera general la metodología utilizada en este proyecto de intervención comunitaria estuvo enmarcada en la Investigación Acción Participativa, con enfoque mixto ya que incluye la obtención y análisis de datos cualitativos y cuantitativos. Estuvo integrada por las cinco etapas que se señalan en la Figura 1 y que se detallan con sus resultados más adelante.

Resultados y Discusión

Primera etapa. Elaboración del proyecto y selección del sitio para el establecimiento de la Planta de Lombricompostaje. La problemática con los RSU es multidimensional, por tal razón la solución debe ser holística e integral, considerando los aspectos económicos, políticos y sociales. En la planeación del proyecto deben considerarse todos los aspectos, actores y recursos necesarios, además de los aspectos técnicos para el manejo adecuado. Para este caso se consideró como factor fundamental la participación de la sociedad, por lo que desde un principio se planteó un proceso para la sensibilización de la ciudadanía sobre la situación, problemática e importancia del manejo, así como la capacitación para la separación de los residuos desde su origen, es decir en los hogares (Woftaroswky *et al.*, 2018, Garibay *et al.*, 2012). Para el establecimiento de la Planta de Lombricompostaje, se seleccionó un espacio, cerca de Teocelo, con el objeto de que el transporte de los residuos no representara un problema en costo y tiempo. Este se ubicó en la localidad de Tejerías, congregación a un km de distancia, que reunía las características necesarias de practicidad y funcionalidad, así como tener servicios de agua y luz, acceso fácil para los camiones, rodeada de vegetación para amortiguar los olores de las primeras etapas del proceso y con espacio suficiente para todas las actividades inherentes al proceso de transformación.

Segunda etapa. Difusión del “Programa Integral de Separación, Manejo, Educación y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales”. En la difusión del programa participaron aproximadamente 100 estudiantes del mismo municipio que previamente recibieron una capacitación sobre el tema, todos ellos de nivel medio superior y superior. Con base en un plano de la localidad, se asignaron número de manzanas y calles equitativamente a equipos de cinco estudiantes, para difundir el programa casa por casa, con apoyo de materiales como trípticos y láminas alusivas al programa, en los que se señalaba la clasificación de residuos para su separación; esto se realizó a través de una breve charla de unos minutos, principalmente con las amas de casa. De esta forma, en tres días, toda la localidad fue informada y capacitada de manera general. El equipo técnico de la Dirección de Ecología Municipal verificó que dichas actividades se realizaran y se ejecutaran en tiempo y forma.

Con el mismo objetivo de difusión, cada 30 días durante todo el periodo administrativo 2014-2017 se realizaron exposiciones del Programa en diversas localidades del municipio, además se daban a conocer los avances y logros obtenidos en cada etapa, así como el manejo que se le daba a los desechos sólidos para la transformación de abono orgánico. Paralelamente desde un inicio en cada calle de Teocelo, se designaron personas para que apoyaran en coordinar los esfuerzos y promover el Programa en sus respectivas manzana (bloques), con el propósito de que la comunidad en su conjunto asumiera parte de responsabilidad en éste. Para estimular la participación ciudadana se establecieron tres estrategias: primero, la concientización con respecto a la problemática ambiental; segundo, el beneficio que se podría obtener de los residuos al transformarlos en abono orgánico, que podía ser utilizado por los productores de la comunidad; tercero, la adecuación de la normatividad de cuotas por el servicio de recolección de residuos, mediante la que se especificaba que las personas que realizaran la separación de residuos en orgánicos e inorgánicos, no pagarían la cuota respectiva de recolección, lo que resultó muy atractivo; y para aquellos ciudadanos que no realizaran la separación se mantuvo la cuota por el servicio. Con la finalidad de reconocer a las familias participantes, se fijó una calcomanía en un lugar visible de cada vivienda con la siguiente frase: “Este hogar participa en la separación de basura en beneficio del medio ambiente”.

Paralelamente se ofrecieron talleres al personal de “Limpia Pública” encargados de la recolección y transporte de los residuos, para capacitarlos en el proceso del manejo, partiendo del reconocimiento y diferenciación en orgánicos e inorgánicos; además se abordaron temas como la problemática de los RSU, ventajas que presenta la separación, subproductos de origen orgánico y el lombricompostaje; estas temáticas se desarrollaron por el equipo técnico de la Dirección de Ecología Municipal. Así mismo, para los trabajadores de la Planta de Lombricompostaje se realizaron diferentes capacitaciones teórico-prácticas, sobre el manejo integral y el proceso de transformación de los residuos, el lombricompostaje y los aspectos técnicos, con la finalidad de lograr el buen manejo de los residuos orgánicos que llegaban a la planta. En áreas públicas como parques, jardines y las principales avenidas de Teocelo se colocaron recipientes separadores de residuos, orgánicos e inorgánicos. Estos fueron de dos colores, verdes para residuos orgánicos y rojos para los residuos inorgánicos; es importante mencionar que no se utilizaron los colores del “código usual para separación de residuos”, ya que en este caso los colores obedecieron a aspectos de facilitamiento para la separación por la población. El amplio proceso de concientización de la ciudadanía hizo posible que dichos recipientes fueran utilizados en su mayoría de forma adecuada.

Tercera etapa. Construcción, funcionamiento y mantenimiento de la Planta de Lombricompostaje. La Planta de Lombricompostaje fue construida (Figura 2) de acuerdo con un diseño del personal técnico responsable del Programa. El diseño contó con área de recepción, módulo de pre-composteo, módulo de lombricompostaje, área de secado y bodega. Cada módulo de forma rectangular, con una dimensión de 400 m²; en uno de estos módulos se encuentran las camas o lechos de lombrices, suficientes para tener un buen control en los desechos orgánicos y su transformación en lombricomposta. Los módulos están protegidos por una malla de sombra que evita la entrada excesiva de luz. Su diseño dispone de una buena ventilación, así como de un sistema de drenaje del 2% de desnivel en las camas de producción, para eliminar el exceso de humedad en el riego o precipitación. Estos módulos se construyeron con materiales de la región para evitar traslados largos de materiales y disminuir así el impacto ambiental de la obra. Con esta infraestructura, las lombrices se desarrollaron adecuadamente dado que se puede controlar la cantidad de residuos para su alimentación, la humedad, la intensidad lumínica, el pH y la oxigenación a partir de volteos con herramientas manuales como los tridentes. Por lo tanto, no se presentaron olores desagradables o fauna nociva lo que reduce los impactos ambientales y las afectaciones a la salud humana.

El transporte de los RSU a la Planta de Lombricompostaje se realizó diariamente en un “camión de volteo” del Ayuntamiento, con capacidad de cuatro toneladas, que recorre la cabecera municipal y algunas localidades de municipio para recolectar específicamente los residuos orgánicos. A pesar de que la población en general separa la basura en orgánica e inorgánica, a la llegada a la planta fue necesario extraer manualmente algunos desechos inorgánicos que por algún motivo no se separaron, debido principalmente a que los hogares no cuentan con recipientes idóneos para esto. Sin embargo, la labor y las destrezas adquiridas con respecto a los procesos de separación, facilitaron el trabajo cotidiano que se desarrolló dentro de la Planta de Lombricompostaje.

Después de realizar la limpieza y reclasificación se trituran todos los residuos, desperdicios de verdura, frutas, papel, cartón, maleza del campo (hierbas que se sustraen de los cultivos), etc. Con la ayuda de una trituradora se lograron partículas de tamaño pequeño y uniforme (3-5 cm), esto facilitó que el sustrato fuera precompostado. Se acumularon en pilas de no más de un metro y medio de alto por tres metros ancho, se dejaron reposar por 48 horas, lo que permitió que los residuos alcanzaran temperaturas de 60°C, suficientes para inhibir algunos de los agentes patógenos que se pudieron presentar. Posteriormente, se procedió a enfriar el sustrato con aireación y aplicación de agua hasta alcanzar una humedad del 80%. Con este mecanismo manual, se tuvieron sustratos con temperaturas de 25°C, aptos para proceder a alimentar a las lombrices en las camas de producción. Para obtener una producción continua de abono orgánico, fue necesario incorporar de 4

a 6 Kg/m² de lombrices. La alimentación de las lombrices se realizó de manera escalonada, es decir incorporando capas de 20 cm de altura a intervalos de 28 días. Los residuos orgánicos que llegaron diariamente a la Planta, fueron sustratos idóneos para el alimento de las lombrices de la especie *Eisenia andrei*. El sustrato para ser administrado a las lombrices debió reunir ciertas características: contener entre un 75-85 % de humedad, un pH entre 6 y 8, una temperatura alrededor de 25°C y un contenido de celulosa menor al 20%.



Figura 2. Etapas de la propuesta de gestión de los residuos sólidos orgánicos para el municipio de Teocelo (Veracruz, México). **Fuente:** Tomado de Martínez (2018).

Como referencia, es posible decir que para poder cosechar una cama de abono orgánico ya transformado y listo para cosecharse (5-7 toneladas), se requiere en promedio tres meses y depositar un volumen cuatro veces mayor de desechos orgánicos fresco. Esto significa que los desechos son reducidos en su transformación, a solo el 20 o 25% de su volumen inicial y proporciona un sustrato orgánico transformado, concentrado de nutrientes y minerales. Así, desde el vaciado del sustrato en las camas de lombricompostaje, hasta su transformación en abono orgánico, solo se requieren 30 días. El abono retirado de las camas de producción tiene una humedad que oscila entre el 70 y el 80%, misma que dificulta su aplicación en campo, de ahí que sea necesario secarse hasta obtener una humedad del 40 al 45% para ser cernido, empacado, almacenado y distribuido hasta su usuario final que son principalmente productores de café y hortalizas.

Cuarta etapa: Utilización y donación del abono orgánico producido en la Planta de Lombricompostaje. El abono producido en la Planta fue donado a amas de casa interesadas en implementar huertos de traspatio; también fue proporcionado a todas las escuelas de Teocelo para que instauraran huertos escolares. Otra parte, fue compartido con pequeños colectivos de campesinos del municipio; la entrega fue coordinada con el municipio mediante programas agropecuarios, a través de la Dirección de Fomento Agropecuario. De esta forma, algunos productores realizaron siembras en invernaderos con diversos cultivos, como alternativa a la crisis cafetalera que se dio en la región desde la década del 2000. La cantidad de abono orgánico que les correspondía a cada colectivo o agrupación era de 1500 kg por semestre, lo que generó gran interés por parte de los campesinos para la producción de cultivos orgánicos. La aplicación de lombricomposta dio mejores beneficios en la producción, en comparación con los fertilizantes químicos convencionales, empezando por los costos; algunos mencionaron que sus parcelas presentaron mejores características como conservación de humedad y porosidad, plántulas sanas, vigorosas, uniformes y que al trasplantarlas a campo se redujo la presencia de enfermedades y plagas.

Paralelo al tiempo que comenzó a producirse la lombricomposta, el Ayuntamiento a través de la Dirección de Fomento Agropecuario y la Dirección de Ecología, donó material a 45 familias de agricultores para la construcción de invernaderos para cultivar productos alternativos al café. El material constó de bambú, propio de la zona, y plástico donado a los agricultores de la región. Con este material se capacitó a las familias para instalar en su traspatio invernaderos, se recomendó la siembra de tomates, pimiento morrón, flores ornamentales y diversas hortalizas. A estos productores se les proporcionó las semillas para la siembra y periódicamente el abono orgánico del proceso de lombricompostaje. Durante el tiempo del programa, se pudo beneficiar con este proyecto a 45 grupos establecidos, todos ellos incorporados a los proyectos productivos del municipio. Otra parte del abono se aplicó a las áreas verdes del municipio, como parques y jardines, lo que permitió que se redujeran considerablemente los costos de insumos como fertilizantes químicos y plaguicidas. De esta manera, la ciudadanía observó que los beneficios eran tangibles en espacios públicos, lo que propició un sentido de pertenencia por dicho programa.

Quinta etapa: Consolidación de lineamientos de operación y de Consejo Consultivo para la Planta de Lombricompostaje. Dados los antecedentes de interrupción de operaciones y abandono administrativo de la Planta, durante la administración municipal 2014-2017 se abordaron dos procesos para garantizar la continuidad del programa. En primer lugar, se elaboró el Manual de Operación de la Planta de Lombricompostaje que permite manejar y aprovechar los RSO municipales de una manera eficiente. En segundo lugar y a petición de los ciudadanos, se determinó

instalar un Consejo Consultivo aprobado por la misma autoridad municipal y con la mediación de la academia (Universidad Veracruzana y El Colegio de Veracruz). Estas herramientas sirvieron para facilitar a la administración entrante la operación, manejo y transparencia de la Planta de Lombricompostaje.

Este programa tuvo gran aceptación por parte de la ciudadanía en general, así como por las amas de casa, instituciones educativas de todos los niveles y productores entre otros. Todos estos actores sociales, han hecho posible que Teocelo esté a la vanguardia en el manejo de RSO. Este tipo de logros han recibido reconocimientos a nivel estatal, nacional e incluso internacional; lo cual es un indicador favorable de la excelente gestión realizada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Premios y reconocimientos asociados a la gestión de la Planta de Lombricompostaje de Teocelo.

Año	Premio o reconocimiento
2002	<i>Premio Estatal a Servidor Público 2002</i> Otorgado por el Gobierno del Estado mediante convocatoria a todos los servidores públicos municipales como de dependencias estatales.
2002	<i>Premio Estatal del Medio Ambiente 2002</i> Otorgado por Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Desarrollo Regional y Consejo Estatal de Medio Ambiente.
2002	<i>Premio Estatal del Medio Ambiente</i> Otorgado por Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Desarrollo Regional y Consejo Estatal de Medio Ambiente.
2003	<i>Presentación del Programa en la Universidad de Harvard</i> Esto se realizó en el marco de una reunión de la Universidad sobre alternativas exitosas para el desarrollo y beneficio social, cultural económico y ambiental de países con economías no consolidadas, el municipio de Teocelo representó a México con la presentación del Programa.
2009	<i>Premio Limpiemos México Tv Azteca</i> Obtención del tercer lugar en el concurso nacional organizado por la Fundación Azteca, Grupo Salinas y La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con la intención de sensibilizar a la comunidad sobre el grave problema de la disposición de los desechos sólidos en México.

Fuente: Adaptado de Martínez (2018).

La implementación de programas socioambientales que parten desde lo local permite resolver algunas problemáticas complejas como la de los RSO, que hasta la fecha en la mayoría de los municipios constituyen uno de los principales retos en lo social, ambiental y económico. En el municipio de Teocelo, la implementación de una estrategia de vinculación entre la autoridad municipal, la academia y el sector social (amas de casa y productores), ha permitido tener ahorros económicos significativos como lo muestra la Cuadro 3. Ese ahorro anual, multiplicado por los cuatro años de gestión municipal (2014-2017) ofrece como resultado una cantidad ahorrada de \$2,423,624.00, que fueron destinados y empleados para otros rubros de la gestión municipal.

Cuadro 3. Costos comparativos de los ejercicios selectivos de los residuos sólidos municipales por parte de la comunidad.

GASTOS COMPARATIVOS SIN Y CON APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE TEOCELO (2016)	
No selectivos	Selectivos (Orgánicos)
\$3, 058,041.60 MXN	\$2, 452,135.60 MXN
Ahorro anual: \$605,906.00 MXN	

Fuente: Adaptado de Martínez (2018).

El aprovechamiento de los RSU transformándolos en material aprovechable como fertilizantes mediante el lombricompostaje, constituye una alternativa factible, a través de lo cual se contribuye a mitigar la contaminación a nivel local, municipal, y disminuir problemas relacionados con la salud humana. La incorporación de la ciudadanía en el Programa mediante los procesos de separación en casa y beneficiarlos con los productos del lombricompostaje, generó una sinergia que resultó fundamental para atender la problemática y el éxito del Programa. En este sentido los procesos de sensibilización y capacitaciones previas son fundamentales. A través de lo anterior, se redujo el volumen de los RSU trasladados al Relleno Sanitario, de 23 a 12 toneladas semanales, el resto, correspondiente a los residuos orgánicos se lleva a la Planta de Lombricompostaje. Esto, trajo beneficios económicos para el Ayuntamiento como el ahorro en el pago por depósito en el relleno sanitario, equivalente a 11 toneladas menos; así mismo la reducción del gasto en combustible por el traslado de la localidad al sitio de disposición final y los gastos por mantenimiento de vehículos en que los transportaban.

Conclusión

Los elementos de gestión municipal presentados orientaron acciones para implementar una política pública municipal para el manejo de residuos sólidos urbanos. Este programa demostró la eficacia de la ecotecnología del lombricompostaje que ha servido como modelo para otros ayuntamientos de la región. La apropiación de la técnica por parte del personal operativo y la población en general se dió gracias las capacitaciones continuas para el buen funcionamiento de la planta. Actualmente el centro de lombricompostaje, además de transformar desechos orgánicos en abonos, funciona como un espacio educativo de identidad social, reconocido a nivel local y nacional, como un caso exitoso de desarrollo regional sustentable para la solución del problema de manejo de los residuos sólidos urbanos.

Referencias

- Aguilar-Virgen, Q., Armijo-de Vega, C. & Taboada-González, P. (2009). El potencial energético de los residuos sólidos municipales. *Ingeniería*, 13(1), 59-62.
- Angello, V. C. M. (2010). Programa para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el municipio de Teocelo, Veracruz, México (Tesis de Licenciatura) Universidad Veracruzana.
- Capistrán, H. & Morossini, A. F. (1997). La basura urbana en Veracruz. *Rev. La Ciencia y el Hombre*, 26(1): 67-80.
- de la Cruz-Garduño, H. (2019). El manejo de residuos sólidos urbanos en México desde una perspectiva global en el marco de la sustentabilidad social (Tesis de licenciatura) Universidad Autónoma del Estado de México.
- de la Cruz, E. Y., Martínez-Tlapa, F., Fontalvo-Buelvas, J.C. & Narave, F. H. V. (2019). Gestión social de la Planta de Lombicompostaje en el municipio de Teocelo, Veracruz En: J. Covarrubias, L. Capdevila & M. Chamorro (Eds.). De la acción comunitaria al desarrollo social. Debates en torno a los procesos de gestión social. (pp. 237-262.) Universidad de Guadalajara.
- Garibay, L., de la Cruz E., Y., Narave, F. H. V. & Chamorro, M. (2013). Teocelo sustentable, manejo correcto de la basura. En: D. Pineda, L. Sánchez, A. Travieso, R. Valencia, L. Vázquez & C. Welsh (Eds.). Teocelo y su compromiso con la sustentabilidad. Bases de un modelo entre sociedad, gobierno municipal y universidad (pp. 92-100) CÓDICE
- González-Romero, A. & López-González, C. A. (1993). Reconocimiento preliminar de la mastofauna asociada a las zonas suburbanas de Xalapa y Coatepec. En: I. R. López-Moreno (Ed.). *Ecología urbana aplicada a la ciudad de Xalapa*. (pp. 223-243) Instituto de Ecología, A. C. y H. Ayuntamiento de Xalapa.
- Jiménez-Martínez, N.M. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales Flacso-Ecuador*, 17(1), 29-56. DOI: 10.17141/letrasverdes.17.2015.1419
- Landa-Guerrero, Y. (2014). Diagnóstico de los factores que afectan la disponibilidad de agua en la ciudad de Teocelo, Veracruz, México (Tesis de Licenciatura). Universidad Veracruzana.
- Martínez, T. F. (2006). Manejo de los Residuos Orgánicos en el municipio de Teocelo, Ver.” (Tesis de Licenciatura) Universidad Veracruzana.
- Martínez, T. F. (2018). Gestión social de la planta de lombricompostaje del municipio de Teocelo, Veracruz, México (Tesis de Maestría) Universidad Veracruzana.
- Minichilli, F., Bartolacci, S., Buiatti, E., Pallante, V., Scala, D., & Bianchi, F. (2005). A study on mortality around six municipal solid waste landfills in Tuscany Region. *Epidemiologia e prevenzione*, 29(5-6 Suppl), 53-56.

- Munguía, T. E. (2009). Estudio de generación y composición de los RSU de la localidad de Teocelo, municipio de Teocelo, Veracruz, México (Tesis de Licenciatura) Universidad Veracruzana.
- Ortiz, S. I. (2015). Educación ambiental y cultura del agua: implementación de una estrategia en Teocelo Veracruz (Tesis de Maestría) Universidad Veracruzana.
- Pineda, D., Sánchez, L, R., Travieso-Bello, A. C., Valencia, R., Vázquez, L. A. & Welsh, C. (2013). Teocelo y su compromiso con la sustentabilidad: bases de un modelo entre sociedad, gobierno municipal y universidad. México: CÓDICE.
- Ramírez, J. N. C. (2017). Lombricultivo en la Producción de Abono Orgánico para Fomento de Valores Ambientales. *Revista Cientific*, 2(3), 276-288. DOI: <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.3.15.276-288>
- Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz (SEDEMA) (2016). Programa Estatal para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Veracruz (PEPGIR-Ver). México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Informe de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 29 de abril de 2020 de <https://bit.ly/2QxNNDw>
- Tlapaya, L. & Gallina, S. (2010). Cacería de mamíferos medianos en cafetales del centro de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 259-277. DOI:10.21829/azm.2010.262698
- Wojtarovksy, A., Piñar, M. & Álvarez. M. (2018). ¿Por qué Teocelo sí pudo? un análisis de los factores. *Cultura y Representaciones Sociales*, 13(25), 235-278. DOI: <http://doi.org/10.28965/2018-25-09>

ANÁLISIS DE USO DE CATALIZADORES HÍBRIDOS PARA LA ELIMINACIÓN DE ANTIBIÓTICOS EN AGUA.

FERNANDO PACHECO TORRES¹, GABRIELA PÉREZ OSORIO², EDUARDO TORRES RAMÍREZ³

Resumen

La presencia de contaminantes emergentes en cuerpos de agua ha sido un tema que ha pasado desapercibido por muchas décadas, dentro de los contaminantes emergentes se encuentran los antibióticos, útiles para el tratamiento de un amplio espectro de infecciones. Parte de los antibióticos administrados se excretan por el organismo de manera que llegan al sistema de drenaje municipal y finalmente a los cuerpos receptores. En épocas recientes, de la mano del creciente interés público acerca de este tema, han surgido investigaciones que reportan la presencia y efectos de los antibióticos en la biota, dentro de estos efectos se encuentra la afectación de las comunidades microbianas, desbalance dentro de cloroplastos, mitocondrias y conductancia estomática, generando afectaciones al crecimiento. Adicionalmente, han surgido desarrollos y aplicaciones de tecnologías biocatalíticas paliativas para esta clase de contaminantes. Por tal motivo, se realiza una búsqueda bibliográfica de estas alternativas para el tratamiento de antibióticos en aguas residuales. En investigaciones recientes se ha detectado la presencia de antibióticos en aguas residuales en el Municipio de San Martín Texmelucan, Puebla, por lo que se propone el diseño de un catalizador híbrido químico-biocatalítico basado en óxido de silicio (SiO_2) y la enzima lacasa, para eliminación de ciprofloxacino en dicho efluente. Para tal efecto, se hará uso de una enzima de baja especificidad con la capacidad de usar distintos compuestos como sustrato, que será inmovilizada en un soporte inorgánico con capacidades adsorbentes, de esta relación se espera un efecto sinérgico de ambos materiales para la remoción de antibióticos en agua.

Palabras clave: Agua residual, antibióticos, degradación, enzima, inmovilización

¹ Instituto de ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, (ICUAP), Ciudad Universitaria, Colonia Jardines de San Manuel, C.P. 72570. Puebla, Puebla México.
fernando.pachecotorres@viep.com.mx

² Facultad de Ingeniería Química, (FIQ), Ciudad, Universitaria, Colonia Jardines de San Manuel, C.P. 72570. Puebla, Puebla México.

³ Instituto de ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, (ICUAP), Ciudad Universitaria, Colonia Jardines de San Manuel, C.P. 72570. Puebla, Puebla México.

Abstract

The presence of emerging contaminants in bodies of water has been an issue that has gone unnoticed for many decades, among emerging contaminants are antibiotics, useful for the treatment of a wide spectrum of infections. Part of the antibiotics administered are excreted by the body so that they reach the municipal drainage system and finally the receiving bodies. In recent times, hand in hand with the growing public interest in this subject, research has emerged that reports the presence and effects of antibiotics on the biota, among these effects is the affectation of microbial communities, imbalance within chloroplasts, mitochondria and stomatal conductance, affecting growth. Additionally, developments and applications of palliative biocatalytic technologies have emerged for this class of pollutants. For this reason, a bibliographic search of these alternatives for the treatment of antibiotics in wastewater is carried out. Recent research has detected the presence of antibiotics in wastewater in the Municipality of San Martín Texmelucan, Puebla, for which the design of a hybrid chemical-biocatalytic catalyst based on silicon oxide (SiO₂) and the enzyme laccase is proposed for elimination of ciprofloxacin in said effluent. For this purpose, a low specificity enzyme will be used with the ability to use different compounds as a substrate, which will be immobilized on an inorganic support with adsorbent capacities, from this relationship a synergistic effect of both materials is expected for the removal of antibiotics in water.

Keywords: Wastewater, antibiotics, degradation, enzyme, immobilization

Introducción

La presencia de antibióticos en cuerpos de agua se ha descrito desde hace algunos años. De manera específica, el ciprofloxacino (CIP), ha sido reportado en distintas investigaciones por ejemplo se ha detectado presencia de CIP en agua de grifo en Guangzhou y Macao, China (Wang *et al.*, 2010), agua superficial en Ríos: Pearl, Yellow, Hai y Liao, China (Peng *et al.*, 2008; Peng *et al.*, 2009; Peng *et al.*, 2011), agua superficial en Ríos: Jarma, Manzanares, Guadarrama, Henares, Tagus, España (Valcárcel *et al.*, 2011), agua subterránea en Delta del río Llobregat, España (Cabeza *et al.*, 2012).

Recientemente se han presentado tratamientos para enfrentar la presencia de antibióticos en aguas, entre estos se pueden encontrar procesos de adsorción, fotodegradación, biodegradación y oxidación. Dentro de los procesos de biodegradación se ha reportado el uso de enzima lacasa de distintos organismos tanto libre como inmovilizada para la degradación de distintas familias de antibióticos: enzima lacasa de *Trametes versicolor* libre para sulfametoxazol (Alharbi *et al.*, 2019), clortetraciclina (Pulicharla *et al.*, 2018) e inmovilizada en nano fibras electro hiladas de PMMA / Fe₃O₄ para distintas tetraciclinas (Zdarta *et al.*, 2020), *Pleurotus ostreatus* libre para CIP (Singh *et al.*, 2017) y para sulfadiazina (Li

et al., 2021), *Streptomyces ipomoea* libre para CIP y norfloxacino (Blánquez *et al.*, 2016), *Streptomyces mutabilis* libre para sulfadiazina y sulfatazol (Reda *et al.*, 2019), *Bacillus subtilis* inmovilizada en Cu-BTC para tetraciclina y ampicilina (Zhang *et al.*, 2020), *Pycnoporus* sp. libre para tetraciclina y oxitetraciclina (Tian *et al.*, 2020), y *Pleurotus eryngii* libre para levofloxacino (Mathur *et al.*, 2021).

En esta investigación se propone sintetizar un catalizador híbrido basado en la enzima lacasa inmovilizada en SiO₂ para la eliminación de CIP en agua, y como propuesta tecnológica para el tratamiento de aguas residuales de la zona de San Martín Texmelucan, Puebla, donde se ha detectado la presencia de antibióticos.

Materiales y Métodos

Revisión Bibliográfica

Se inició con una revisión bibliográfica del estado del arte del tema a tratar “Análisis de uso de catalizadores híbridos para la eliminación de antibióticos en agua”, para tal efecto se buscaron distintas palabras clave “*degradation fluoroquinolone*”, “*degradation antibiotics*” y “*laccase fluoroquinolone*” en buscadores académicos, tales como *Scopus*, *Frontiers*, *Springer*, *Science Direct*, *Conricyt* y *Scholar Google* con la finalidad de ver el panorama general de publicaciones en las que se incluyen las palabras empleadas. Posteriormente se buscaron publicaciones en las que se utilizó la enzima lacasa tanto libre como inmovilizada en la degradación de fármacos, enfocándose en aquellas donde los compuestos transformados fueron antibióticos.

Una vez determinado el estado del arte y al haberse cerciorado de la limitada cantidad de publicaciones donde se hace uso de la enzima lacasa para la degradación de distintos fármacos, se plantea utilizar la enzima lacasa de *Coriolopsis gallica*, la cual será inmovilizada en SiO₂ generando así un catalizador híbrido químico biocatalítico útil en el tratamiento de ciprofloxacino en agua.

Síntesis del catalizador

El procedimiento de elaboración del catalizador consistirá en primera etapa en la síntesis de SiO₂ a partir del método sol-gel planteado por Bedolla & Muñoz (2020): Para la formación de la fase SOL, se mezclará precursor de silicio TEOS (tetraetilortosilicato) con solvente (etanol), se mantendrá en agitación continua durante 30 minutos. Para la formación de la fase GEL se agregará gota a gota HF como agente gelificante a temperatura (80-90°C) y agitación controlada. El Sol-Gel formado se llevará a un proceso de envejecimiento que consta en dejarlo secar por evaporación a 100°C por 24 horas, hasta la obtención de cristales pequeños. Los cristales obtenidos, en forma de polvo, se depositarán en una canaleta de cuarzo y se mantendrá en horno de alta temperatura con flujo de nitrógeno a 450°C por 10 horas. Finalmente se depositará el polvo en una cápsula de porcelana y se calcinará en mufla a 650°C por 4 horas.

Caracterización del catalizador

Una vez sintetizado el SiO₂ se abordarán tres técnicas para su caracterización. La difracción de rayos X aportará información acerca de la estructura y ordenamiento del SiO₂, y nos indicará si se trata de un sólido cristalino, un nano cristal o un sólido amorfo (Kulkarni & Kulkarni, 2015). La microscopía electrónica de barrido ayudará a observar la forma que presentan las partículas obtenidas, ya sean esféricas, cilíndricas o sin forma, además nos ayudará a confirmar lo obtenido mediante la difracción de rayos X (Smith & Oatley, 1955; Kulkarni & Kulkarni, 2015). La Espectroscopía dispersiva de energía aportará información acerca de la composición química elemental (% atómico) del SiO₂, esta información tiene importancia ya que nos indica si el material tiene impurezas o rastros de la síntesis (Lovejoy *et al.*, 2012). Todas ellas son técnicas básicas y ayudarán a ver si la síntesis de SiO₂ fue correcta.

Inmovilización de la lacasa

Una vez caracterizado el SiO₂, se procederá a la inmovilización de la enzima lacasa. Para la inmovilización se proponen tres técnicas de inmovilización reportadas por distintos autores (Zdarta *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020; Gahlout *et al.*, 2017) pero dada la economía y simplicidad del método de adsorción de Zhang *et al.* (2020) es éste el elegido. El método dicta que el proceso se llevará a cabo añadiendo 20 mg del soporte a una solución tampón de citrato sódico (0.1 mol/L, pH = 4.5) que contendrá 2 mg de lacasa pura. La mezcla resultante se mezclará a 150 rpm. a 25°C con agitación durante 15 minutos con la intención de alcanzar el equilibrio de adsorción. La lacasa inmovilizada se separará por centrifugación a 15 000 rpm durante 2 minutos, posteriormente se secará a -42°C en vacío y se almacenará una vez seca a 4°C hasta su utilización.

Caracterización del catalizador híbrido

Posterior a la inmovilización, se determinará el rendimiento de inmovilización. Después de una revisión bibliográfica se encuentra que varios autores usan el método de Bradford para cuantificar la lacasa remanente en el proceso de inmovilización, a pesar de ser un método probado y bastante usado, es una metodología larga, costosa debida a la cantidad de reactivos que necesita (Chan Cupul *et al.*, 2016; Zdarta *et al.*, 2020). Es por esto por lo que se buscan alternativas y se encuentra a Ning *et al.*, (2016), donde hacen uso de la espectrofotometría UV-Vis para cuantificar lacasa en un medio acuoso, esta técnica se basa en la absorción de UV-Vis por parte de los centros catalíticos de cobre que están presentes en la enzima. Se elaborará una solución tampón sodio-acetato a 50 mM a un pH de 4.5. Posteriormente la lacasa a determinar se colocará en el tampón preparado, se realizará un barrido de 200 a 800 nm en el equipo, esto con la finalidad de encontrar el valor para realizar las mediciones futuras. Ning *et al.*, (2016) encuentran que el

valor de longitud de onda para poder medir la concentración de la lacasa es de 280 nm. La determinación de la cantidad de lacasa inmovilizada se realiza midiendo la concentración de la lacasa antes de la inmovilización y posterior a ser inmovilizada, las mediciones se realizan a las soluciones remanentes donde se da el baño de lacasa al soporte.

Posteriormente se realizará la determinación de la actividad enzimática medida en Unidades Enzimáticas (U), se propone usar la metodología planteada por Blánquez *et al.* (2016) en donde se determinará la actividad a temperatura ambiente midiendo la oxidación de ácido 2,20-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) a una concentración de 5 mM en tampón de acetato 50 mM (pH 4,5) y 2,6-dimetoxifenol (DMP) a 5 mM en tampón fosfato 100 mM (pH 8). El aumento en la absorbancia será generado por la actividad enzimática y se medirá usando un espectrofotómetro ($\epsilon = 29,300 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ para ABTS oxidado y $\epsilon = 27,500 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ para 2,6-DMP oxidado) a 436 nm para ABTS y 469 nm para 2,6-DMP. Una unidad enzimática (U) será definida como la cantidad de lacasa requerida para oxidar $1 \mu\text{mol}$ de ABTS o DMP por minuto. Las reacciones de control se realizarán con todos los componentes en ausencia de lacasa.

Prueba del catalizador en agua sintética

Finalmente se probará el catalizador híbrido en la degradación de muestras sintéticas de agua, para ello se utilizará la metodología descrita por Blánquez *et al.* (2016), se incubarán mezclas de reacción conteniendo 0.4 U de lacasa/ml (previamente determinadas mediante en el ensayo ABTS), $50 \mu\text{g/ml}$ de ciprofloxacino en tampón fosfato 50 mM pH 8 durante 0, 1, 4 y 24 h a $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Será necesario realizar todos los experimentos tres veces.

Midiendo las concentraciones de CIP mediante la preparación de una solución madre de $50 \mu\text{g/ml}$, disolviendo 5 mg de ciprofloxacino en 100 ml de tampón fosfato con pH 2.5 y pH 7.4, en HCl 0.1 N y en agua destilada. Se prepararán soluciones estándar de diversas concentraciones (1, 2, 3, 4, 5 $\mu\text{g/ml}$) mediante dilución de cada una de las cuatro soluciones madre. La longitud de onda de emisión máxima (λ_{max}) del CIP en cada medio se buscará escaneando en el rango de UV de 190 nm a 400 nm. Posteriormente se elaborará la curva estándar con la concentración frente a la absorbancia. Nijhu *et al.*, (2011) obtuvo longitudes de onda de 278 nm en el medio de tampón pH 2.5, 270 nm en el medio de tampón pH 7.4, 277 nm en el medio de HCl 0.1 N, 278 nm en el medio de agua destilada.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 A se utiliza *Google trends* como una herramienta para medir el interés de la sociedad respecto a la palabra clave “*degradation antibiotics*” ya que esta plataforma muestra los términos de búsqueda más populares en los últimos 12 meses en todo el mundo, los resultados obtenidos muestran que el 33% de las

búsquedas relacionadas con la palabra clave están relacionadas con el área de Salud. En Figura 1 B se presentan las áreas que cuentan con más publicaciones en el buscador Scopus usando las palabras clave “*laccase fluoroquinolone*”, obteniendo a las ciencias ambientales como la principal área con publicaciones relacionadas con la palabra clave usada. En Figura 1 C se tienen los resultados obtenidos en distintos buscadores académicos usando tres palabras clave, “*degradation fluoroquinolone*”, “*degradation antibiotics*” y “*laccase fluoroquinolone*”, se hace uso de la escala logarítmica para poder apreciar la baja cantidad de resultados obtenidos para “*laccase fluoroquinolone*”, los resultados arrojados esta última búsqueda permiten relacionar la gran cantidad de artículos relacionados con “*degradation fluoroquinolone*” y “*degradation antibiotics*” con la poca cantidad de artículos relacionados con “*laccase fluoroquinolone*”.

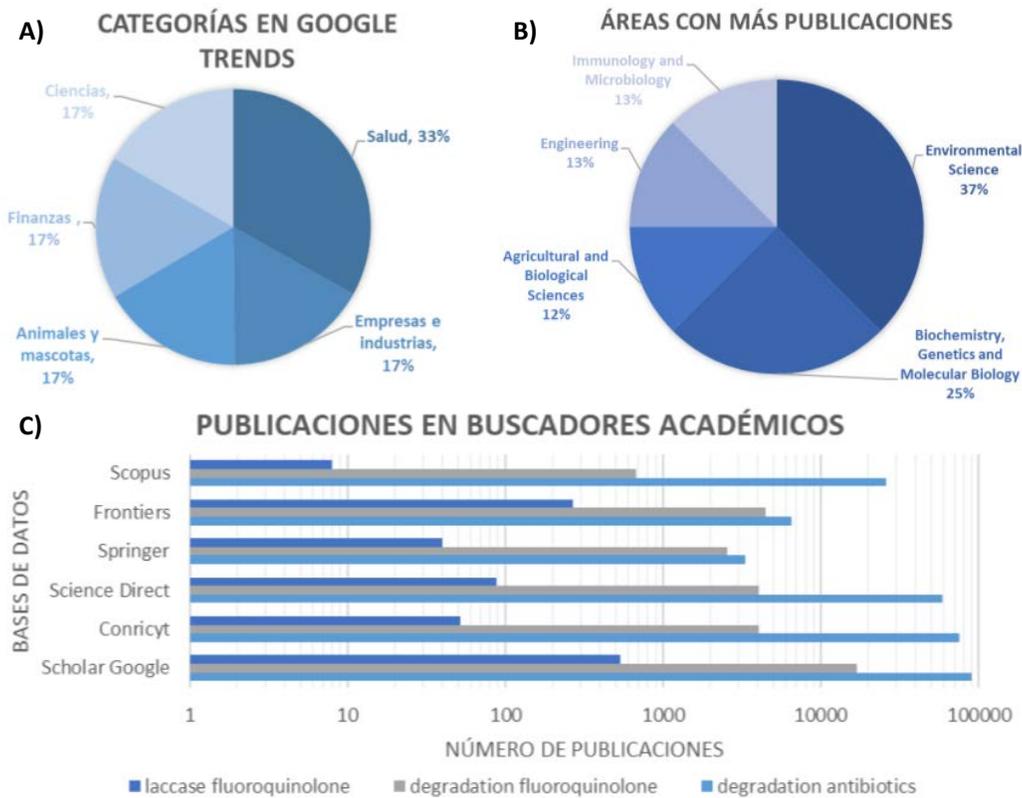


Figura 1. A) Categorías dentro de las que se aborda el término “*degradation antibiotics*” en Google trends. B) Áreas que cuentan con más publicaciones en el buscador Scopus con el término “*laccase fluoroquinolone*” C) Revisión bibliográfica del número de artículos reportados del 2015 al 2021 usando las palabras “*degradation fluoroquinolone*”, “*degradation antibiotics*” y “*laccase fluoroquinolone*” en los buscadores Scopus, Frontiers, Springer, Science Direct, Conricyt y Scholar Google, el eje de las abscisas se encuentra en escala logarítmica.

En lo que refiere a la búsqueda de investigaciones donde se emplea enzima lacasa tanto libre como inmovilizada en la degradación de diversos fármacos, enfocándose en aquellas donde los compuestos transformados fueron antibióticos, se encuentra que la enzima lacasa ha sido utilizada por distintos investigadores para degradar una variedad de antibióticos, incluso se ha reportado la degradación de CIP por lacasa (Singh *et al.*, 2017; Blánquez *et al.*, 2016), sin embargo, han sido ensayos de enzima libre, por lo que, la propuesta que se presenta resulta innovadora al no encontrarse trabajos similares a lo que se está proponiendo. Las investigaciones más relevantes que se encontraron se condensan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Investigaciones donde se emplea enzima lacasa libre o inmovilizada para degradar fármacos.

Organismo productor de la lacasa	Contaminantes degradados	Proceso (inmovilizada o no)	Referencia
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	17-alpha-ethynilestradiol (anticonceptivo)	Libre e inmovilizada en alginato de cobre y calcio- quitosano	García <i>et al.</i> , 2019.
<i>Trametes versicolor</i>	Diclofenaco, trimetoprima, carbamazepina y sulfametoxazol	Libre	Alharbi <i>et al.</i> , 2019.
<i>Trametes hirsuta</i>	Cloranfenicol	Libre	Navada & Kulal, 2019.
<i>Trametes versicolor</i>	Clortetraciclina	Libre	Pulicharla <i>et al.</i> , 2018.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Ciprofloxacino	Libre	Singh <i>et al.</i> , 2017.
<i>Pycnoporus sanguineus</i>	Nonifenol y triclosán	Libre	Ramírez <i>et al.</i> , 2014.
<i>Streptomyces ipomoea</i>	Ciprofloxacino y Norfloxacino	Libre	Blánquez <i>et al.</i> , 2016.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Antinflamatorios no esteroides	Libre	Singh <i>et al.</i> , 2016.
<i>Streptomyces mutabilis</i>	Sulfadiazina y sulfatazol	Libre	Reda <i>et al.</i> , 2019.
<i>Bacillus subtilis</i>	Tetraciclina y ampicilina	Inmovilizada en Cu-BTC	Zhang <i>et al.</i> , 2020.
<i>Trametes versicolor</i>	Tetraciclina	Inmovilizada en nano fibras electro hiladas de PMMA / Fe ₃ O ₄	Zdarta <i>et al.</i> , 2020.
<i>Pycnoporus sp.</i>	Tetraciclina y oxitetraciclina	Libre	Li <i>et al.</i> , 2021.
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Sulfadiazina	Libre	Mathur <i>et al.</i> , 2021.
<i>Pleurotus eryngii</i>	Levofloxacino	Libre	Primožič <i>et al.</i> , 2020.
<i>Trametes versicolor</i>	Diclofenaco	Inmovilizada Enzimas entrelazadas con glutaraldehído y nano partículas amino salinas magnéticas	Li <i>et al.</i> , 2021.

Óxido de silicio (IV) o dióxido de silicio (SiO_2) es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice. Desde 2008 se han realizado investigaciones in vivo para la identificación de su biodistribución, toxicidad y efecto terapéutico. Este nano material ha ganado un interés creciente y han demostrado su compatibilidad para aplicaciones biológicas en la última década. Es bien sabido que el SiO_2 a granel se usa intensamente en la industria alimentaria o cosmética, lo que indica que tiene baja toxicidad. En las aplicaciones, los parámetros y efectos que deben ser monitoreados incluyen, además de la degradabilidad y la posibilidad de ser eliminados, son el tamaño, forma, volumen de poro y funcionalización de la superficie (Kim *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2011; Meng *et al.*, 2011). En la síntesis del SiO_2 , se logra sintetizar el compuesto de manera correcta, en la Figura 2 se muestran imágenes del proceso de síntesis, siendo A y B correspondientes a la formación del Gel mediante la adición de HF a Sol. C y D corresponden, por tanto, al proceso de secado y evaporación después del cual se logra obtener el SiO_2 que es caracterizado por las técnicas ya mencionadas y posteriormente será usado para la inmovilización de la enzima lacasa.



Figura 2. Síntesis de óxido de silicio (SiO_2) por el método sol-gel (Bedolla & Muñoz, 2020). A y B corresponden a la formación del Gel, C y D corresponden al proceso de secado.

De acuerdo con la Figura 3, se puede apreciar que el patrón de difracción del SiO_2 no presenta un comportamiento de picos definido como es el caso de un sólido cristalino, tampoco presenta el patrón de un nano cristal, por tanto, el patrón que presenta el SiO_2 se asemeja a un sólido amorfo o un líquido, es este caso al tratarse de un sólido, se concluye que se trata de un sólido amorfo, de acuerdo con lo planteado por (Kulkarni & Kulkarni, 2015).

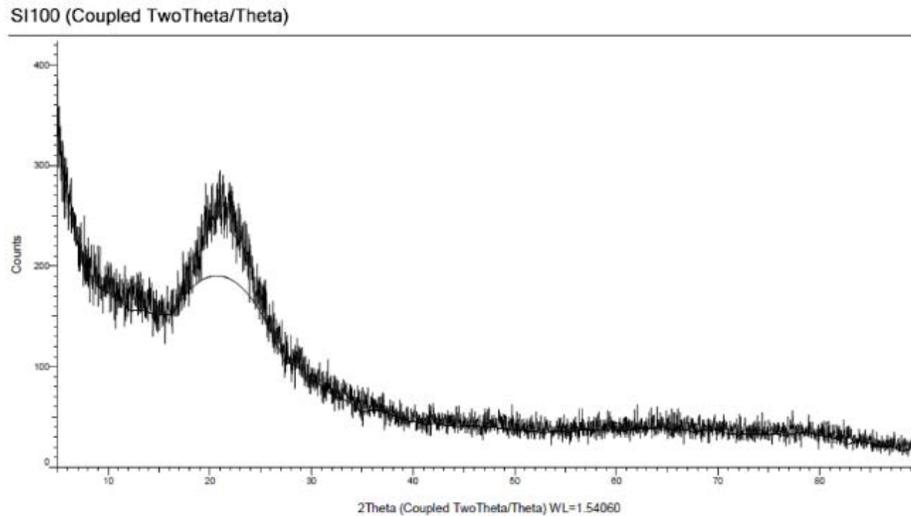


Figura 3. Patrón de difracción del óxido de silicio (SiO₂).

En la Figura 4 se pueden apreciar distintas imágenes obtenidas de SiO₂ mediante un microscopio electrónico de barrido, estas imágenes corresponden a tres ampliaciones diferentes mediante electrones secundarios (SEI): x1000 (A), x3000 (B) y x6000 (C). Gracias a esta información se puede confirmar lo obtenido en la difracción de rayos X, el SiO₂ no presenta una estructura cristalina, más bien presenta tamaños de partículas variados con geometría irregular, esto muestra que las partículas tienen la estructura de un sólido amorfo.

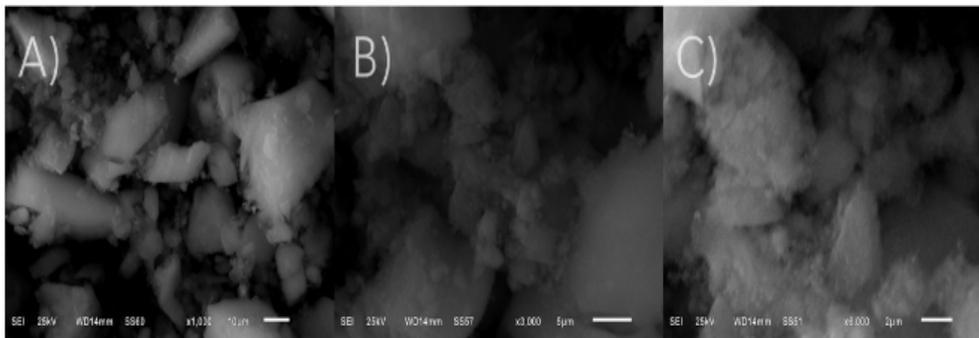


Figura 4. Imágenes obtenidas de óxido de silicio (SiO₂) mediante un microscopio electrónico de barrido. A) ampliación x1000, B) ampliación x3000, C) ampliación x6000. En todas se usaron electrones secundarios (SEI).

En Figura 5, la cual es un espectro dispersivo de energía se pueden apreciar dos picos bien definidos, uno corresponde al oxígeno y otro al silicio. Esto nos muestra que el SiO₂ obtenido por el método sol-gel da un material con la composición deseada, sin contaminación, sin impurezas, sin residuos de síntesis, lo que nos da la posibilidad de tener un soporte para usar en la inmovilización. Adicionalmente se encuentra que el material tiene un porcentaje en peso de 46.74% de silicio y 53.26% de oxígeno, lo que nos da un total de 100.00%

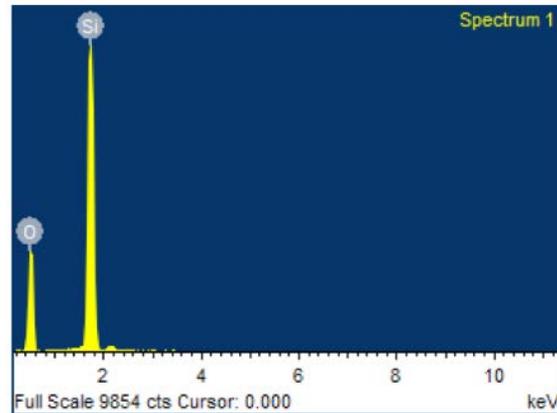


Figura 5. Espectro de Espectroscopía Dispersiva de energía del óxido de silicio (SiO_2).

Conclusión

Se ha visto que los catalizadores híbridos son efectivos para la degradación de distintos fármacos, entre ellos los antibióticos, logrando tiempos de vida de anaquel mayores a los de enzima libre, reusabilidad de la enzima y mayor estabilidad en distintas condiciones de reacción (García *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020; Zdarta *et al.*, 2020; Primožič *et al.*, 2020), por lo que se decide diseñar un catalizador híbrido químico biocatalítico con enzima lacasa y un soporte de SiO_2 para aplicarlo en agua sintética con un antibiótico seleccionado (CIP) y posteriormente en el efluente de la planta de tratamiento de San Martín Texmelucan, Puebla.

Dada la pandemia presente a causa de COVID-19, el acceso a laboratorios ha sido limitado, por lo que se espera lograr los puntos aquí planteados.

Referencias

- Alharbi, S. K., Nghiem, L. D., Van De Merwe, J. P., Leusch, F. D., Asif, M. B., Hai, F. I., & Price, W. E. (2019). Degradation of diclofenac, trimethoprim, carbamazepine, and sulfamethoxazole by laccase from *Trametes versicolor*: transformation products and toxicity of treated effluent. *Biocatalysis and Biotransformation*, 37(6), 399-408. doi: 10.1080/10242422.2019.1580268.
- Bedolla, L. A. F., & Muñoz, B. C. (2020). Fabricación de capas anti reflejantes y absorbedores solares mediante la técnica Sol-gel: Un resumen sobre la variación de síntesis y condiciones experimentales realizadas en la UTP.
- Blánquez, A., Guillén, F., Rodríguez, J., Arias, M. E., & Hernández, M. (2016). The degradation of two fluoroquinolone-based antimicrobials by SilA, an alkaline laccase from *Streptomyces ipomoeae*. *World Journal of microbiology and Biotechnology*, 32(3), 52. doi: 10.1007/s11274-016-2032-5.
- Cabeza, Y., Candela, L., Ronen, D., & Teijon, G. (2012). Monitoring the occurrence of emerging contaminants in treated wastewater and groundwater between 2008 and 2010. The Baix Llobregat (Barcelona, Spain). *Journal of hazardous materials*, 239, 32-39. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.07.032.
- Chan Cupul, W., Heredia Abarca, G. P., & Rodríguez Vázquez, R. (2016). Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática ligninolítica de macromicetos del estado de Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 339-351. doi: 10.20937/RICA.2016.32.03.08.
- Gahlout, M., Rudakiya, D. M., Gupte, S., & Gupte, A. (2017). Laccase-conjugated amino-functionalized nanosilica for efficient degradation of Reactive Violet 1 dye. *International Nano Letters*, 7(3), 195-208. doi: 10.1007/s40089-017-0215-1.
- García, L. F., Lacerda, M. F. A. R., Thomaz, D. V., de Souza Golveia, J. C., Pereira, M. D. G. C., de Souza Gil, E., ... & Santiago, M. F. (2019). Optimization of laccase–alginate–chitosan-based matrix toward 17 α -ethinylestradiol removal. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 49(4), 375-383. doi: 10.1080/10826068.2019.1573195.
- Huang, X., Li, L., Liu, T., Hao, N., Liu, H., Chen, D., & Tang, F. (2011). The shape effect of mesoporous silica nanoparticles on biodistribution, clearance, and biocompatibility in vivo. *ACS nano*, 5(7), 5390-5399. doi: 10.1021/nn200365a.
- Kim, J., Kim, H. S., Lee, N., Kim, T., Kim, H., Yu, T., & Hyeon, T. (2008). Multifunctional uniform nanoparticles composed of a magnetite nanocrystal core and a mesoporous silica shell for magnetic resonance and fluorescence imaging and for drug delivery. *Angewandte Chemie*, 120(44), 8566-8569. doi: 10.1002/anie.200802469.

- Kulkarni, S. K., & Kulkarni, S. K. (2015). *Nanotechnology: principles and practices*. Springer.
- Li, R., Zhou, T., Khan, A., Ling, Z., Sharma, M., Feng, P., ... & Liu, P. (2021). Feed-additive of bioengineering strain with surface-displayed laccase degrades sulfadiazine in broiler manure and maintains intestinal flora structure. *Journal of Hazardous Materials*, 406, 124440. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124440.
- Lin, Y. S., Hurley, K. R., & Haynes, C. L. (2012). Critical considerations in the biomedical use of mesoporous silica nanoparticles. *The journal of physical chemistry letters*, 3(3), 364-374. doi: 10.1021/jz2013837.
- Lovejoy, T. C., Ramasse, Q. M., Falke, M., Kaepfel, A., Terborg, R., Zan, R., ... & Krivanek, O. L. (2012). Single atom identification by energy dispersive X-ray spectroscopy. *Applied Physics Letters*, 100(15), 154101. doi: 10.1063/1.3701598.
- Mathur, P., Sanyal, D., & Dey, P. (2021). Optimization of growth conditions for enhancing the production of microbial laccase and its application in treating antibiotic contamination in wastewater. *3 Biotech*, 11(2), 1-15. doi: 10.1007/s13205-020-02627-1.
- Meng, H., Xue, M., Xia, T., Ji, Z., Tarn, D. Y., Zink, J. I., & Nel, A. E. (2011). Use of size and a copolymer design feature to improve the biodistribution and the enhanced permeability and retention effect of doxorubicin-loaded mesoporous silica nanoparticles in a murine xenograft tumor model. *ACS nano*, 5(5), 4131-4144. doi: 10.1021/nn200809t.
- Navada, K. K., & Kulal, A. (2019). Enzymatic degradation of chloramphenicol by laccase from *Trametes hirsuta* and comparison among mediators. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 138, 63-69. doi: 10.1016/j.ibiod.2018.12.012.
- Nijhu, R. S., Jhanker, Y. M., & Sutradhar, K. B. (2011). Development of an assay method for simultaneous determination of ciprofloxacin and naproxen by UV spectrophotometric method. *Stamford journal of pharmaceutical sciences*, 4(1), 84-90. doi: 10.3329/sjps.v4i1.8876.
- Ning, Y. J., Wang, S. S., Chen, Q. J., Ling, Z. R., Wang, S. N., Wang, W. P., ... & Zhu, M. J. (2016). An extracellular yellow laccase with potent dye decolorizing ability from the fungus *Leucoagaricus naucinus* LAC-04. *International journal of biological macromolecules*, 93, 837-842. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.09.046.
- Peng, X., Tang, C., Tan, J., Huang, Q., & Wang, Z. (2008). Occurrence of steroid estrogens, endocrine-disrupting phenols, and acid pharmaceutical residues in urban riverine water of the Pearl River Delta, South China. *Science of the total environment*, 397(1-3), 158-166. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.059.
- Peng, X., Tang, C., Yu, Y., Tan, J., Huang, Q., Wu, J., & Mai, B. (2009). Concentrations, transport, fate, and releases of polybrominated diphenyl

- ethers in sewage treatment plants in the Pearl River Delta, South China. *Environment international*, 35(2), 303-309. doi: 10.1016/j.envint.2008.07.021.
- Peng, X., Zhang, K., Tang, C., Huang, Q., Yu, Y., & Cui, J. (2011). Distribution pattern, behavior, and fate of antibacterials in urban aquatic environments in South China. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(2), 446-454. doi: 10.1039/c0em00394h.
- Primožič, M., Kravanja, G., Knez, Ž., Crnjac, A., & Leitgeb, M. (2020). Immobilized laccase in the form of (magnetic) cross-linked enzyme aggregates for sustainable diclofenac (bio) degradation. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124121. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124121.
- Pulicharla, R., Das, R. K., Brar, S. K., Drogui, P., & Surampalli, R. Y. (2018). Degradation kinetics of chlortetracycline in wastewater using ultrasonication assisted laccase. *Chemical Engineering Journal*, 347, 828-835. doi: 10.1016/j.cej.2018.04.162.
- Ramírez-Cavazos, L. I., Junghanns, C., Ornelas-Soto, N., Cárdenas-Chávez, D. L., Hernández-Luna, C., Demarche, P., ... & Parra, R. (2014). Purification and characterization of two thermostable laccases from *Pycnoporus sanguineus* and potential role in degradation of endocrine disrupting chemicals. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 108, 32-42. doi: 10.1016/j.molcatb.2014.06.006.
- Reda, F. M., El-Mekkawy, R. M., & Hassan, N. S. (2019). Detoxification and bioremediation of sulfa drugs and synthetic dyes by *Streptomyces mutabilis* A17 laccase produced in solid state fermentation. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(1), 85-96. doi: 10.22207/JPAM.13.1.09.
- Singh, D., Rawat, S., Waseem, M., Gupta, S., Lynn, A., Nitin, M., ... & Sharma, K. K. (2016). Molecular modeling and simulation studies of recombinant laccase from *Yersinia enterocolitica* suggests significant role in the biotransformation of non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Biochemical and biophysical research communications*, 469(2), 306-312. doi: 10.1016/j.bbrc.2015.11.096.
- Singh, S. K., Khajuria, R., & Kaur, L. (2017). Biodegradation of ciprofloxacin by white rot fungus *Pleurotus ostreatus*. *3 Biotech*, 7(1), 69. doi: 10.1007/s13205-017-0684-y.
- Smith, K. C. A., & Oatley, C. W. (1955). The scanning electron microscope and its fields of application. *British Journal of Applied Physics*, 6(11), 391. doi: 10.1088/0508-3443/6/11/304.
- Tian, Q., Dou, X., Huang, L., Wang, L., Meng, D., Zhai, L., ... & Liao, X. (2020). Characterization of a robust cold-adapted and thermostable laccase from *Pycnoporus* sp. SYBC-L10 with a strong ability for the degradation of tetracycline and oxytetracycline by laccase-mediated oxidation. *Journal of hazardous materials*, 382, 121084. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121084.

- Valcárcel, Y., Alonso, S. G., Rodríguez-Gil, J. L., Gil, A., & Catalá, M. (2011). Detection of pharmaceutically active compounds in the rivers and tap water of the Madrid Region (Spain) and potential ecotoxicological risk. *Chemosphere*, 84(10), 1336-1348. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.05.014.
- Wang, Q. J., Mo, C. H., Li, Y. W., Gao, P., Tai, Y. P., Zhang, Y., ... & Xu, J. W. (2010). Determination of four fluoroquinolone antibiotics in tap water in Guangzhou and Macao. *Environmental Pollution*, 158(7), 2350-2358. doi: 10.1016/j.envpol.2010.03.019.
- Zdarta, J., Jankowska, K., Bachosz, K., Kijeńska-Gawrońska, E., Zgoła-Grzeškowiak, A., Kaczorek, E., & Jesionowski, T. (2020). A promising laccase immobilization using electrospun materials for biocatalytic degradation of tetracycline: Effect of process conditions and catalytic pathways. *Catalysis Today*, 348, 127-136. doi: 10.1016/j.cattod.2019.08.042.

MARCO LEGAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS PROCEDENTES DE LABORATORIOS ACADÉMICOS

ANA RUGERIO SUÁREZ¹, GABRIELA PÉREZ OSORIO²

Resumen

Las actividades desarrolladas en los laboratorios de instituciones educativas generan residuos químicos que son considerados residuos peligrosos por sus características fisicoquímicas que requieren de un manejo, clasificación y disposición especial. Una gestión inapropiada representa un peligro para el medio ambiente y la salud humana, se debe conocer el marco legal y normativo existentes para una correcta gestión de estos residuos químicos. Se revisaron las recomendaciones de organismos nacionales como SEMARNAT e internacionales EPA, OSHA Y PNUMA sobre los requerimientos legales y normativos vigentes para el manejo de residuos peligrosos. En este sentido, la ONU propuso el Sistema Globalmente Armonizado (GHS) que establece lineamientos de clasificación y comunicación de riesgos garantizando criterios uniformes y que ha sido adoptado por la mayoría de los países entre ellos México. El gobierno de México se ha integrado a los acuerdos internacionales de Brasilea, Rotterdam, Estocolmo y la Agenda 21 para la protección del medio ambiente y salud humana de los efectos nocivos derivados de la gestión inapropiada de las sustancias químicas a lo largo de su ciclo de vida. Se han desarrollado leyes nacionales, estatales y municipales como la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, Ley de Aguas Nacionales que establecen las bases legales para el manejo de residuos peligrosos. La legislación está centrada en las actividades industriales y no considera a las educativas como una fuente específica de generación de residuos químicos peligrosos por lo que se requieren acciones y normatividad en esta área.

Palabras clave: Clasificación, Gestión, Marco legal, Residuos químicos, Residuos peligrosos

Abstract

institutions generate chemical residues that are considered hazardous waste due to their physicochemical characteristics that require special handling, classification and disposal. Inappropriate management represents a danger to the environment and human health, the existing legal and regulatory framework must be known for the

¹ Instituto de Ciencias, Posgrado en Ciencias Ambientales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) Ciudad Universitaria Av. Sn. Claudio y, Blvd. 18 sur Col, Jardines de San Manuel, 72570 Puebla, Pue.

² Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) Ciudad Universitaria Av. Sn. Claudio y, Blvd. 18 sur Col, Jardines de San Manuel, 72570 Puebla, Pue.

correct management of these chemical residues. The recommendations of national organizations such as SEMARNAT and international EPA, OSHA and UNEP on the current legal and regulatory requirements for the management of hazardous waste were reviewed. In this sense, the UN proposed the Globally Harmonized System (GHS) that establishes risk classification and communication guidelines, guaranteeing uniform criteria and that has been adopted by most countries, including Mexico. The government of Mexico has joined the international agreements of Brasilea, Rotterdam, Stockholm and Agenda 21 for the protection of the environment and human health from the harmful effects derived from the inappropriate management of chemical substances throughout their life cycle. National, state, and municipal laws have been developed, such as the General Law for Ecological Balance and Environmental Protection, the Federal Environmental Responsibility Law, and the National Water Law, which establish the legal bases for managing hazardous waste. The legislation is focused on industrial activities and does not consider educational activities as a specific source of generation of hazardous chemical waste, so actions and regulations are required in this area.

Keywords: Classification, Management, Legal framework, Chemical waste, Hazardous waste

Introducción

Las universidades deben promover acciones que se vinculen con el cuidado personal, institucional y del medio ambiente mediante la gestión de sus residuos. Estas instituciones cuentan con laboratorios que generan una amplia gama de residuos químicos que requieren de una gestión adecuada. Por lo que es importante conocer los lineamientos existentes para su manejo desde las disposiciones legales y normativas a nivel internacional y nacional, además de identificarlos y clasificarlos adecuadamente desde el momento que se producen con base en los criterios de compatibilidad química. Existen sistemas para la identificación y la clasificación de residuos químicos peligrosos propuestos por organismos internacionales como las Naciones Unidas sobre el Sistema Global Armonizado (GHS). También se han desarrollado normas internacionales como las ISO (Organización Internacional de Normalización) que proporciona un marco de referencia para las organizaciones que garantizan la calidad y seguridad en sus procesos. La incorporación del gobierno mexicano a los acuerdos internacionales como el de Brasilea, Rotterdam, Estocolmo y la Agenda 21 ha promovido la creación e implementación de un marco legal nacional para el cuidado de la salud humana y medio ambiente cuando se considere que exista un riesgo por la presencia de sustancias químicas peligrosas. Los laboratorios de Ingeniería Ambiental pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla producen diferentes residuos químicos que requieren de una identificación y clasificación para su manejo seguro. Este trabajo tiene como objetivo el análisis de la legislación y

normatividad en torno a la gestión de este tipo de residuos químicos, así como los lineamientos de clasificación para su manejo y disposición que permitan reducir los riesgos a la salud humana y al ambiente.

Materiales y Métodos

Se realizó un análisis de los acuerdos internacionales a los que se ha incorporado México relacionados al manejo seguro de los residuos químicos peligrosos. Mediante el análisis del informe final 2016 del Perfil Nacional de Sustancias Químicas preparado por la coordinación General de contaminación y salud ambiental del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Este informe describe la situación de la gestión de las sustancias químicas a lo largo de su ciclo de vida (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2017). Se analizaron las leyes nacionales que mencionan las bases legales para el manejo de residuos considerados como peligrosos en la legislación de los Estados Unidos Mexicanos. Se identificó la normatividad existente sobre el manejo de residuos considerados como peligrosos expedida por las diferentes dependencias como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). También se analizaron normas internacionales ISO y las Buenas Prácticas de Laboratorios de la OCDE sobre la gestión de las organizaciones para su desarrollo sustentable en el manejo de sus residuos.

Para la identificación y clasificación de los residuos químicos considerados como peligrosos se analizaron las leyes y normas propuestos por organizaciones internacionales como la EPA, OSHA y las Naciones Unidas mediante el GHS. También se analizó la normatividad mexicana para conocer los lineamientos que establecen la identificación y clasificación de los residuos químicos peligrosos generados por los laboratorios de investigación y docencia de las universidades.

Se realizó la identificación de los residuos químicos procedentes de los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Los cuatro laboratorios seleccionados por ser identificados como generadores de residuos químicos son el de análisis de agua, análisis de suelo, química ambiental con laboratorio y residuos sólidos y peligrosos mediante el análisis de sus manuales de prácticas donde se identificaron y clasificaron los residuos de acuerdo con la normatividad mexicana establecida.

Resultados y Discusión

México se ha incorporó a los acuerdos internacionales sobre el manejo de sustancias químicas peligrosas como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Acuerdos Internacionales a los que se ha incorporado México sobre manejo de sustancias químicas peligrosas (Elaboración propia).

La Agenda 21 en 1992 fue la primera iniciativa internacional enfocada al manejo racional de las sustancias químicas en el marco de un desarrollo sostenible. Estableció la importancia de las sustancias químicas en el logro de metas económicas y sociales, pero también se reconocen sus riesgos y se plantea un uso racional para prevenirlos con una visión orientada a evaluar el impacto de estas a lo largo de toda su vida desde que son fabricados hasta que se convierten en residuos.

El Convenio de Basilea sobre Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su disposición fue adoptado por la Conferencia de Plenipotenciarios en 1989 con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos derivados de la generación, manejo, movimientos transfronterizos y la eliminación de los desechos peligrosos y otros desechos.

El Convenio de Rotterdam establecido en el 2004 sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. El cual ha contribuido a asegurar que los gobiernos cuenten con información necesaria sobre los productos químicos peligrosos para su evaluación de riesgos y adoptar decisiones sobre su importación con conocimiento de causa como un sistema de alerta temprana.

El Convenio de Estocolmo que entro en vigor en el 2004 sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente a través de la reducción en la medida posible su eliminación de su producción, utilización, importación y exportación de productos que contengan COP permitiendo así reducir o eliminar estos contaminantes en fuentes estacionarias o difusas. Y como una medida de prevención de desarrollo de nuevos COP a través de legislaciones nacionales (INECC, 2017).

Las normas internacionales ISO son un conjunto de estándares internacionales como una herramienta de mejoramiento continuo de los Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) para la mejora de los procesos de fabricación de las organizaciones a nivel mundial (Yáñez y Yáñez, 2012). La norma ISO 9001 Requisitos-Sistema de

gestión de la calidad ayuda a las organizaciones a mejorar su desempeño global y proporciona bases sólidas para su desarrollo sostenible con una visión para aumentar la satisfacción del cliente (ISO 9001, 2015). Norma ISO 14001 Requisitos-Sistema de gestión ambiental está enfocado en proporcionar un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas con un enfoque sistemático a la gestión ambiental. Esta norma establece entre sus requisitos establecer la gestión adecuada de sus residuos usando una perspectiva de ciclo de vida que pueda prevenir los impactos ambientales (ISO 45001, 2018). La norma ISO 45001 Sistema de administración/gestión en seguridad y salud ocupacional proporciona un marco de referencia para administrar/gestionar los riesgos y oportunidades para la seguridad y salud en el trabajo, es de importancia crítica para las organizaciones eliminar peligros y minimizar los riesgos tomando medidas de prevención y pretensión eficaces donde se deben de establecer el manejo seguro de sus residuos para los trabajadores (ISO 45001, 2018).

Adicionalmente, las Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE, son medidas adoptadas por el país en materia de la gestión de sustancias químicas y que junto con otras disposiciones y recomendaciones lo llevaran a ser aceptado a los países integrantes de la OCDE. Se establecen los Procedimientos Operativos Estandarizados (POEs) que son pre-requisitos donde se documentan las actividades rutinarias y transversales entre estos requisitos se encuentran el manejo de reactivos y eliminación de residuos (Mier *et al*, 2017).

Los acuerdos internacionales han resultado en el desarrollo de legislación nacional que establecen las bases legales sobre el manejo de residuos peligrosos Figura 2. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (LGEEPA) que establece la prevención y restauración del equilibrio ecológico, así como su protección al medio ambiente, en el territorio nacional desarrollando artículos en su capítulo VI sobre Materiales y Residuos Peligrosos (Diario Oficial de la Federación, 2021). Ley Federal de Responsabilidad Ambiental (LFRA) tiene el objetivo de regular la responsabilidad ambiental que nace de los daños ocasionados al ambiente, como la reparación y compensación de dichos daños (DOF, 2021). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) tiene como objetivo el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial en su capítulo quinto se refiere a los artículos para el Manejo Integral de Residuos Peligrosos (DOF, 2021). Ley General de Salud (LGS) establece los mecanismos de vigilancia e inspección de las actividades, los productos y servicios que impliquen un riesgo para la salud humana donde se establece en su capítulo IV efectos del Ambiente en la Salud (DOF, 2021). Ley Federal del Trabajo (LFT) establece las medidas de seguridad e higiene en centros de trabajo que garanticen el bienestar del trabajador en su título noveno Riesgos de

Trabajo (DOF, 2012). También es importante mencionar la Ley de Aguas Nacionales ya que estos contaminantes químicos peligrosos pueden ser vertidos en el sistema de alcantarillado o cuerpos de agua lo cual representaría un riesgo importante para la salud humana y medio ambiente por lo que esta ley tiene como uno de sus objetivos la prevención de su cantidad y calidad donde se desarrolla los artículos referentes a la Prevención y control de contaminación en su título séptimo capítulo I (DOF, 2020).



Figura 2. Legislación nacional sobre residuos peligrosos (Elaboración propia).

Las dependencias del gobierno mexicano han desarrollado normatividad para diferentes servicios o procesos cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad o dañar la salud humana. En materia de gestión de residuos peligrosos la SEMARNAT a expedido Normas Oficiales Mexicanas (NOM) las cuales se mencionan en el Cuadro 1 esta normatividad son regulaciones técnicas de carácter obligatorio que se publican en el Diario Oficial de la Federación y se revisan cada 5 años a partir de su entrada en vigor (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

Para la identificación y clasificación de los residuos químicos se revisaron los lineamientos recomendados por la EPA establecidos por la Ley de Recuperación y Conservación de Recursos (RCRA) para proteger la salud y medio ambiente del posible peligro descarte de residuos, conservar energía y recursos naturales, reducir la cantidad de residuos generados y asegurar que los residuos sean manejados de manera ambientalmente sensata. La ley RCRA está dividida en secciones llamadas Subtítulos. Los Subtítulos C establecen un marco reglamentario para el manejo de residuo peligroso desde su generación hasta su disposición final para el extenso programa de manejo de residuos EPA de los EE. UU. (EPA, 1997).

La Ley de Seguridad y Salud Ocupacional de 1970 de los Estados Unidos genero la creación de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional OSHA por sus siglas en inglés para asegurar la seguridad y salud de trabajadores estadounidenses mediante el establecimiento y cumplimiento de normas dentro de estas se encuentra las Operaciones con Desechos Peligrosos y Respuesta de Emergencia (HAZWOPER por sus siglas en inglés) se refiere a cinco tipos de operaciones de

residuos peligrosos realizados en EE.UU. bajo la norma OSHA 1910.120 que contiene los requisitos de seguridad que los empleadores deben cumplir para llevar a cabo estas operaciones incluyen las operaciones de limpieza requeridas por un organismo gubernamental que se lleven a cabo en sitios de desechos peligrosos, las acciones correctivas/operaciones de limpieza, operaciones voluntarias de recuperación y limpieza con desechos, materiales y residuos peligrosos en los sitios autorizados y operaciones de emergencia de respuesta a la liberación o amenazas de emisiones de sustancias peligrosas (Haward, 2011).

Cuadro 1. Normas Oficiales Mexicanas referentes a Residuos peligrosos (SEMARNAT, 2009).

Norma	Objetivo
NOM-052-SEMARNAT-2005	Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos
NOM-053-SEMARNAT-1993	Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente
NOM-054-SEMARNAT-1993	Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993
NOM-055-SEMARNAT-2003	Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
NOM-056-SEMARNAT-1993	Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
NOM-057-SEMARNAT-1993	Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
NOM-058-SEMARNAT-1993	Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos
NOM-133-SEMARNAT-2005	Protección ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs) - especificaciones de manejo
NOM-098-SEMARNAT-2002	Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes

El Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de Productos Químicos (GHS por sus siglas en inglés, Globally Harmonized System) es un sistema acordado a nivel internacional, promovido en 1992 por las Naciones Unidas. Reemplaza las numerosas normas nacionales de clasificación y etiquetado,

garantizando criterios uniformes a nivel mundial. Este sistema proporciona la infraestructura para que todos los países implementen un sistema de clasificación y comunicación de riesgos (Roswitha, 2018).

México adoptado este sistema de clasificación y etiquetado GHS en la NOM-018-STPS-2015, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo tiene el objetivo de establecer los requisitos mínimos de un sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, que de acuerdo a sus características físicas, químicas, toxicidad, concentración y tiempo de exposición, pueden afectar la salud de los trabajadores o dañar el centro de trabajo esta norma se complementa con la norma NMX- R-019-SCFI-2011 Sistema Armonizado de Clasificación y Comunicación de peligros de los productos químicos. En la NOM-052-SEMARNAT-2005 que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. El residuo es peligroso si presenta al menos una de las siguientes características: Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad Ambiental, Inflamabilidad y Biológico-Infeciosa.

Con el análisis de los manuales de laboratorios de ingeniería ambiental se identificaron las prácticas que generan residuos químicos y se clasificaron de acuerdo con su compatibilidad química como residuos orgánicos, inorgánicos, ácidos y metales tóxicos, en los laboratorios de suelo también se pudo identificar residuos sólidos orgánicos de suelo como se describe en la Figura 3 clasificación de residuos.

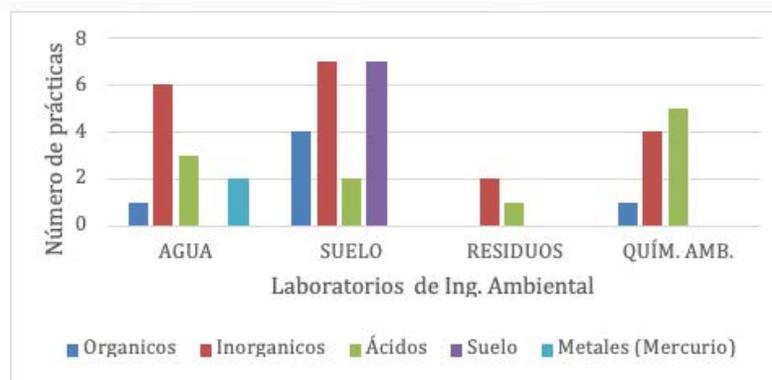


Figura 3. Clasificación de los residuos químicos procedentes de los laboratorios de Ingeniería Ambiental (Elaboración propia).

La normatividad NOM-052-SEMARNAT-2005 establece el procedimiento para identificar si un residuo es peligroso de acuerdo con sus características, sin embargo, las mezclas de reactivos químicos no se encuentran dentro de los listados de clasificación de residuos peligrosos por fuente específica y fuente no específica, por lo que su identificación se realizó de acuerdo con el código de peligrosidad CPR (Corrosividad C, Reactividad R, Explosividad E, Toxicidad T,

Inflamabilidad I y Biológico-Infeciosa B). Para su identificación se toman los lineamientos establecidos en la NOM-018-STPS-2015 para la comunicación de peligros y riesgos de sustancias químicas peligrosas que incluyen: a) el nombre de la sustancia química o mezcla, b) la palabra de advertencia de acuerdo con sus peligros físicos y peligros para la salud, c) los pictogramas o símbolos que aplique de acuerdo con la categoría de sus peligros físicos y para la salud, d) el código de identificación de peligro H y los códigos de identificación P con su indicación de peligros físico o para la salud y su consejo de prudencia. También se debe tener la información del generador de los residuos o área de generación. Estos elementos deben de cumplir con las características identificadas al tipo de residuos químico peligroso que se genere. En la Figura 4 se da la propuesta de una etiqueta de identificación con los datos requeridos de acuerdo con los aspectos antes mencionados establecidos en los lineamientos de la normatividad correspondiente.

Generador : FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA INGENIERÍA AMBIENTA		
Laboratorio: ANÁLISIS DE AGUA		
Palabra de advertencia: PELIGRO		
Nombre del Residuo por compatibilidad : Orgánicos		
Código de identificación H: Peligro físico -H226 Líquidos y vapores inflamables Peligro a la salud - H303 + H313 + H333 Puede ser nocivo en caso de ingestión, en contacto con la piel o si se inhala.		Código de Peligrosidad CPR : T (Th) - I
Código de identificación P: P210 Mantener alejado del calor, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar P280 Usar guantes/ropa de protección/equipo de protección para la cara /los ojos. P404 Almacenar en un recipiente cerrado		Nombre/Contacto del Responsable :

Figura 4. Propuesta de etiqueta de identificación de residuos químicos peligrosos (Elaboración propia).

Con la identificación y clasificación de los residuos característicos de acuerdo con el tipo de prácticas realizadas en el laboratorio se puede realizar una mejor disposición para su manejo y de acuerdo con sus características hacer una clasificación más selectiva para establecer propuestas de tratamiento de descontaminación para una reducción de la generación de volúmenes de residuos químicos peligrosos. Evitando la generación de mezclas más complejas con mayor dificultad de tratamiento. En la clasificación encontrada en los diferentes laboratorios de estudio se proponen tratamiento para los residuos ácidos mediante su neutralización y para los residuos orgánicos un tratamiento mediante fotocátalisis heterogénea para la oxidación de la materia orgánica permitiendo así la disminución de residuos químicos peligrosos y con ello el cuidado a la salud humana y medio ambiente.

Conclusión

Mediante el análisis de las disposiciones legales y normativas nacionales e internacionales se identifican los lineamientos y criterios para la clasificación y manejo de residuos químicos peligrosos. Estos pueden ser adaptados y aplicados en instituciones educativas para reducir el riesgo de los efectos negativos tanto a la salud humana como al ambiente por los residuos químicos generados en las actividades académicas de los diferentes laboratorios.

Estas bases marcan los lineamientos generales para la gestión adecuada de estos residuos sin embargo debido a que los residuos químicos procedentes de los laboratorios de investigación y académicos son muy diversos y forman mezclas complejas su apego a estos lineamientos son difíciles de cumplir con precisión, ya que dentro del manejo de residuos peligrosos no se considera esta fuente de generación. Se consideran fuentes de generación industrial que, aunque son los grandes generadores de residuos peligrosos crea una falta de información para su gestión apropiada como se pudo verificar en el caso de manejo de los residuos químicos peligrosos procedentes de los laboratorios de instituciones académicas. Estas mezclas de residuos químicos peligrosos dificultan la disposición de estos y su tratamiento. En este sentido se están buscando acciones para reducir el volumen de residuos químicos que se generan en los laboratorios y su clasificación adecuada para la mejor disposición y su posible tratamiento.

Referencias

- DOF 18-01-2021 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988 Última reforma publicada DOF 18-01-2021.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_180121.pdf
- DOF 18-01-2021 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003 Última reforma publicada DOF 18-01-2021.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_180121.pdf
- DOF 08-01-2021 Ley General de Salud Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984 Última reforma publicada DOF 01-06-2021.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Ley_General_de_Salud.pdf
- DOF 09/01/2012 Ley Federal del Trabajo Diario Oficial de la Federación el 1º de abril de 1970 Última reforma publicada DOF 09-04-2012
https://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_social/docs/marco/Ley_FT.pdf
- DOF 08-01-2021 Ley de Aguas Nacionales Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992 Última reforma publicada DOF 06-01-2020.
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- EPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados (1997). Reduciendo el Riesgo de Residuos EPA530-K-97-004S <http://www.epa.gov/osw>
- Haward Méndez H. (4 enero, 2011). HAZWOPER: Manejo De Operaciones Y respuesta A Emergencias Con Desechos Peligrosos. Estructplan.
<https://estructplan.com.ar/hazwoper-manejo-de-operaciones-y-respuesta-a-emergencias-con-desechos-peligrosos/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2017 Martínez Arroyo A., Paramo Figueroa V. H., Gavilán García A., Martínez Cordero M. A., Mendoza Cantú A., Cano Robles F. K. Perfil Nacional de Sustancias Químicas. México. 373 pp.
- Mier Giraldo H., Fernández Rodríguez J. y Cepeda Herrera M. (2017). Buenas Prácticas de Laboratorio de la OCDE Guía de implementación de los principios en entidades de ensayo Programa de Calidad para el Sector Cosméticos Safe+
- Colombia.https://onac.org.co/wpcontent/uploads/2021/06/GUIA_IMPLEMENTACION_PRINCIPIOS_BPL_OCDE.pdf
- Organización Internacional de Normalización. (2015). Sistemas de gestión de la calidad- Requisitos (ISO 9001).
<http://www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%209001-2015%20Sistemas%20de%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Calidad.pdf>

- Organización Internacional de Normalización. (2015). Sistemas de gestión ambiental- Requisitos con orientación para su uso (ISO 14001)
- Organización Internacional de Normalización. (2018). Sistemas de administración/gestión en seguridad y salud ocupacional- Requisitos con guías para su uso (ISO 14001). https://autoqconsulting.com.mx/Muestra10.ISO45.2020/Norma_ISO_45001_2018_espanol.pdf
- Roswitha Meyer, (2018). Manejo de Desechos Químicos para Laboratorios. Phisikalisch-Technische Bundesanstalt Instituto Nacional de Metrología. Cooperación Internacional.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2009). Guía para el cumplimiento de obligaciones contenidas en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD_0021_73.pdf
- Yáñez, J., & Yáñez, R. (2012). Auditorías, Mejora Continua y Normas ISO: factores clave para la evolución de las organizaciones. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, 3(9), 83-92.

EL SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO A PEQUEÑAS COMUNIDADES INSULARES: EL CASO DEL MUNICIPIO DE GUANAJA, HONDURAS.

ELA ROXANA RIVERA NÚÑEZ¹, AMADO ENRIQUE NAVARRO FRÓMETA²

Resumen

El análisis de la situación y dificultades en los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento en municipios insulares pequeños y medianos muestra que el principal problema que estos afrontan es una insuficiencia financiera para su gestión lo que conlleva a que la población reciba una menor calidad en la prestación de los servicios de agua y saneamiento. Esto, aunado a los problemas de la gestión de los asentamientos urbanos y otros problemas derivados del incremento de la población y de la presión antrópica sobre los ecosistemas conduce a problemas de contaminación, salubridad y deterioro de la calidad del agua en zonas costeras, embalses y todo tipo de reservorios acompañados de un deficiente servicio de atención al consumidor por parte de los diferentes sectores, privados, del gobierno y los entes reguladores de los municipios. A lo anterior se suman las incertidumbres derivadas del cambio climático. Por lo anterior, se discute el contexto histórico, el diseño y la ejecución, en una primera fase, de una investigación de campo en el municipio de Guanaja dirigida a evaluar la situación del agua y los servicios de saneamiento.

Palabras clave: Calidad del agua, cualitativo, auditoría ambiental. Water quality, qualitative, environmental audit.

Abstract

The analysis of the situation and difficulties in the drinking water supply and sanitation systems in small and medium-sized island municipalities shows that the main problem they face is a financial insufficiency for their management, which means that the population receives a lower quality in provision of water and sanitation services. This, together with the problems of managing urban settlements and other problems derived from the increase in population and human pressure on ecosystems, leads to problems of pollution, health and deterioration of water quality in coastal areas, reservoirs and all kinds of reservoirs accompanied by a deficient customer service by the different sectors, private, government and regulatory entities

¹ Universidad Nacional Autónoma de Honduras – Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (UNAH-CURLA). Carretera CA-13 La Ceiba-Tela, Aldea El Búfalo detrás del aeropuerto Golosón, 31101, La Ceiba, Honduras. ela.rivera@unah.edu.hn

² Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros (UTIM). Prolongación Reforma 168, Barrio de Santiago Mihuacán, C.P. 74420, Izúcar de Matamoros, Puebla

of the municipalities. Added to this are the uncertainties arising from climate change. Due to the above, the historical context, the design and the execution, in a first phase, of a field investigation in the municipality of Guanaja aimed at evaluating the situation of water and sanitation services are discussed.

Keywords: Water quality, qualitative, environmental audit. Water quality, qualitative, environmental audit.

Introducción

En el año 2015 se evaluó de manera positiva el avance en el cumplimiento de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio, establecidos en septiembre del 2000 en Nueva York, en específico con respecto al agua y el saneamiento se plantearon los siguientes logros (ONU, 2015):

- El 91% de la población mundial utilizaba una fuente mejorada de agua potable, en comparación con el 76% en 1990;
- De los 2.600 millones de personas que obtuvieron acceso a agua potable mejorada desde 1990, 1.900 millones obtuvieron acceso a agua potable entubada en las instalaciones y más de la mitad de la población mundial (58 por ciento) disfrutaba de ese nivel más alto de servicio.
- A nivel mundial, 147 países cumplieron la meta de agua potable, 95 países cumplieron la meta de saneamiento y 77 países cumplieron ambas.
- En todo el mundo, 2.100 millones de personas obtuvieron acceso a un saneamiento mejorado. Se redujo casi a la mitad la proporción de personas que practicaban la defecación al aire libre.

Considerando lo anterior, se plantearon los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, como la continuación de los esfuerzos realizados en el período 2000-2015. Entre ellos se destaca el Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (ONU, 2016). Los ODS buscan garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos para 2030. Estos objetivos también incluyen la acción climática, innovación, educación, entre otros, más sin embargo no se pueden lograr sin una gestión adecuada de los recursos naturales (ONU, 2017). La pandemia del coronavirus Sar-Cov-2 ha afectado duramente a los objetivos y en específico al acceso al agua potable, a servicios de saneamiento e higiene y a la gestión de los recursos hídricos, fundamentalmente en los países en desarrollo (Navarro Saenz, 2020).

La situación actual sigue sin ser halagüeña. Las cifras y hechos actuales del agua y saneamiento nos muestran que, especialmente en los países más pobres (ONU, 2021):

- 1 de cada 4 personas (2000 millones de personas) en todo el mundo carece de agua potable;

- Casi la mitad de la población mundial, 3.600 millones de personas, carece de saneamiento seguro;
- 494 millones de personas todavía practican la defecación al aire libre;
- 1 de cada 3 personas (2.300 millones de personas) en todo el mundo carece de instalaciones básicas para lavarse las manos en el hogar;
- Casi la mitad de las escuelas del mundo no tienen instalaciones para lavarse las manos con agua y jabón;
- A nivel mundial, al menos 2 mil millones de personas utilizan una fuente de agua potable contaminada con heces;
- 297.000 niños menores de cinco años, más de 800 cada día, mueren cada año por enfermedades diarreicas debido a la falta de saneamiento, la falta de higiene o el agua potable insalubre.

La carga de enfermedad asociada a una vida fuera de los parámetros permisibles de calidad de agua, saneamiento e higiene incluye: infecciones gastrointestinales (por ejemplo, el cólera); parasitosis (por ejemplo, las amebas); enfermedades de la piel, los ojos y oídos (por ejemplo, conjuntivitis) y enfermedades transmitidas por vectores (por ejemplo la malaria, el dengue y la leptospirosis). En el Caribe, Haití, uno de los países más pobres de la región y del mundo, tiene condiciones muy desfavorables en agua y saneamiento, siendo el país que presenta la mayor mortalidad y el mayor riesgo de morir por enfermedades relacionadas con el agua. La situación también es alarmante en Jamaica y Guyana, en donde la carga de enfermedad relacionada con el agua y el saneamiento presenta los valores más elevados (OPS,2011).

Por lo tanto, aún queda mucho por hacer. Además alrededor de un tercio de la población mundial, cerca de 2 millones de personas, viven en países que tienen problemas hídricos y esto aumentará dos tercios para el año 2025 y todavía muchas personas no tienen la información necesaria sobre los aspectos relacionados con la gestión del agua y el saneamiento, pese a ser un derecho humano reconocido, lo que incide en su gobernanza. En verdad es necesario que se retome el decenio 2018-2028 como el Decenio Internacional de Agua para el Desarrollo Sostenible (OPS, 2011; Navarro, 2019; Kumar et al., 2020).

El objetivo de este trabajo es llamar una vez más la atención sobre este problema, en lo concerniente a las pequeñas comunidades insulares con sus problemas específicos y mostrar los primeros pasos de un Proyecto relacionado con el tema en el Municipio de Guanaja, Honduras que, al mismo tiempo, muestra la potencialidad de la vinculación universitaria para atender los problemas de sus regiones de influencia.

Los sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en las pequeñas comunidades insulares.

Las islas son sistemas naturales, socioeconómicos y socioculturales que están separados de un área demográfica por el mar, esto define inmediatamente la autosostenibilidad. La actividad económica más importante para muchas islas es el turismo, la agricultura y la pesca, por lo que la seguridad ambiental y sanitaria es una prioridad. Las casas en las islas fuera de los asentamientos, por lo general no están conectadas a sistemas públicos de alcantarillado. En su lugar, se utilizan tanques de almacenamiento, que generalmente tienen fondos permeables al agua. Las descargas de aguas residuales y residuos sépticos en la mayoría de las islas son descargadas directamente en los sistemas de alcantarillado cuando es posible, y otro es descartado ilegalmente en la superficie del suelo o al agua (Margeta, 2021). En general la construcción de infraestructura para servicios de depuración de aguas residuales está a la zaga de los servicios de abastecimiento de agua potable. Se calcula que, de las aguas residuales que llegan al mar Caribe, el 85% llega sin tratar (OPS 2011).

El derecho humano al agua se reconoce explícitamente en el artículo 145 de la Constitución de Honduras, reformada en 2012 a tal efecto y que plantea que “El Estado conservará el medio ambiente adecuado para proteger la salud de las personas. En consecuencia declarase el acceso al agua y saneamiento como un derecho humano. Cuyo aprovechamiento y uso será equitativo preferentemente para consumo humano. Asimismo se garantiza a la preservación de las fuentes de agua a fin de que éstas no pongan en riesgo la vida y salud pública” (Constitución de la República de Honduras, 2018). Pero, para garantizar ese derecho humano, el primer paso es dar la necesaria cobertura del servicio a la población. El éxito de la cobertura se evalúa en función del número de hogares registrados que tienen una fuente de agua potable mejorada (definida como agua por tubería en las instalaciones) u otras fuentes de agua potable mejoradas (que incluyen grifos públicos, perforaciones, recolección de agua de lluvia o pozos). Es de suma importancia considerar otros parámetros, como la cantidad de las horas de servicio disponibles, para asegurar que existe un suministro confiable y continuo. Las deficiencias en los datos que se utilizan para medir el acceso sostenible de las personas al agua se relacionan con los problemas de la desigualdad social, pobreza y la prestación de servicios de mala calidad sin un control sistemático de la calidad del agua (Faivre et al., 2021). Otro componente importante se relaciona con las fuentes del agua. No existe mucha información sobre las fuentes no seguras que incluyen el agua proporcionada por proveedores informales, así como pozos o aguas superficiales que no tienen un control adecuado del manejo de sus fuentes. Para alcanzar el objetivo de disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento es fundamental el suministro a partir de fuentes de agua potable gestionadas de forma segura. (Mahlknecht et al., 2020). Para que una fuente de

agua se considere gestionada de manera segura, básicamente debe estar libre de contaminación, disponer de tuberías en buen estado y tener disponibilidad durante al menos 12 horas con el cumplimiento de criterios de regulación o normativas de cada país, que en el caso de Honduras se especifican en la “ Norma Técnica Nacional para la calidad de agua potable”. Estos aspectos son particularmente críticos en muchas comunidades insulares. Una gestión adecuada también concierne al tema de los residuos sépticos. (Margeta, 2020; Grube et al., 2021).

Existen varias islas cuyas áreas rurales están drásticamente desatendidas, como es el caso de las islas Salomon, ubicada en Oceanía, donde se reporta que solamente un 18% de la población rural utiliza servicios mejorados de saneamiento y se presentan desigualdades geográficas en el abastecimiento de agua (Anthonj et al., 2020; Chan et al., 2020). Asimismo, los recursos hídricos en el Caribe se ven muy influenciados por una serie de factores sociales como las prácticas tanto ambientales como de la gestión del agua en condiciones meteorológicas y climáticas difíciles. La disponibilidad de agua depende en gran medida de los estados del tiempo con lluvias estacionales y a menudo se ve afectada por la creciente demanda de agua y las malas prácticas de gestión del agua que exponen a muchas islas del Caribe al deterioro hídrico. De manera similar a lo que ocurre globalmente, la insuficiencia de fondos y la falta de mecanismos eficientes de financiación propicia una gestión inadecuada de los recursos hídricos y un escaso apoyo técnico en los monitoreos de la calidad del agua siendo la causa principal de que muchos pequeños Estados insulares en desarrollo (PEID) del Caribe brinden servicios de agua inadecuados (Ramírez, 2006; Cashman, 2013; OMS, 2016; WWAP, 2019).

Por supuesto, la pobreza se paga. Los pobres no solo carecen de un acceso adecuado al agua, sino que también pagan más por un acceso limitado. Se deben identificar zonas vulnerables en lugares que no tienen acceso al agua segura de calidad y cantidad para lograr un acceso con sostenibilidad y que sea igualitario para toda la población. A medida que los centros urbanos en todo el Caribe continúen expandiéndose, habrá una mayor demanda de los recursos de agua dulce existentes, esto podría afectar los niveles de agua superficial y la recarga de agua subterránea debido a la extracción excesiva. (Lester y Rhiney, 2018).

Los retos del cambio climático

El Caribe es una región tropical húmeda; el clima varía según la elevación y el tamaño de la masa terrestre. La temperatura depende mucho de la elevación: en las zonas costeras, varía en promedio entre una máxima de 32 °C y una mínima de 24 °C, pero con el aumento de la elevación la temperatura puede bajar a 10 °C. Hay dos estaciones diferentes en el año: la estación seca y la estación lluviosa (Cashman, 2013).

Las islas del mar Caribe y de los océanos Atlántico e Índico tienen playas de arenas blancas, cordilleras cubiertas de bosques y puertos históricos. Sin embargo, la ubicación de los pequeños Estados insulares en desarrollo también hace que sean especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático.

El cambio climático también representa una amenaza a los sistemas de agua y saneamiento, especialmente los que sirven a las poblaciones más vulnerables y las de los países insulares y áreas costeras. La variación del clima y la alteración en el régimen de lluvias y vientos perjudican a los ecosistemas y se presentan con especial intensidad durante los eventos extremos (OPS, 2011; Gobierno de España, 2020). Tal fué el caso del huracán y tormenta tropical Mitch que a su paso por el territorio nacional en 1998 causó serios daños a la economía nacional; dañando más de 51,435 letrinas, 47 acueductos urbanos, así como 1,600 de los 4,000 acueductos rurales existentes en el país; (Suazo y Reyes, 2007). Después de los desastres naturales se observan la degradación de la calidad del agua y brotes relacionados con enfermedades transmitidas por el agua. (Jiang et al., 2020). Cabe destacar que el cambio climático ocasionará el aumento del nivel del mar en el futuro y puede conducir a la pérdida de tierras y la mortalidad de los sistemas coralinas impactada negativamente por la afluencia de los sedimentos de las islas (Jamero et al., 2019; Albert et al., 2021)

En materia del fomento social de la conservación del agua y el uso eficiente de los recursos hídricos, es necesario considerar que existe una estrecha vinculación entre los habitantes y la actividad agrícola por lo que sería necesario una mayor concienciación en el uso racional de fertilizantes en comprender la interrelación entre el uso del agua en la agricultura y la garantía del agua de abastecimiento doméstico y, en general, la importancia de un uso más eficiente del agua en el uso agrario y urbano (Gobierno de España, 2020).

El caso del municipio de Guanaja

La región de estudio.

La costa caribeña de Honduras se extiende desde la frontera con Guatemala a la frontera con Nicaragua y abarca un grupo de islas costeras que incluyen las islas de la Bahía (Utila, Roatán y Guanaja). Los problemas de la costa del caribe hondureño han sido documentados desde inicios del siglo actual (Harborne et al., 2001). En la figura 1 se muestra la isla de Guanaja. Según los datos del último censo del Instituto Nacional de Estadística en Guanaja para el año 2018 la población que reside es de aproximadamente 5,739 personas con una población en el área urbana de 1,805 personas y en el área rural de 3,934 personas.

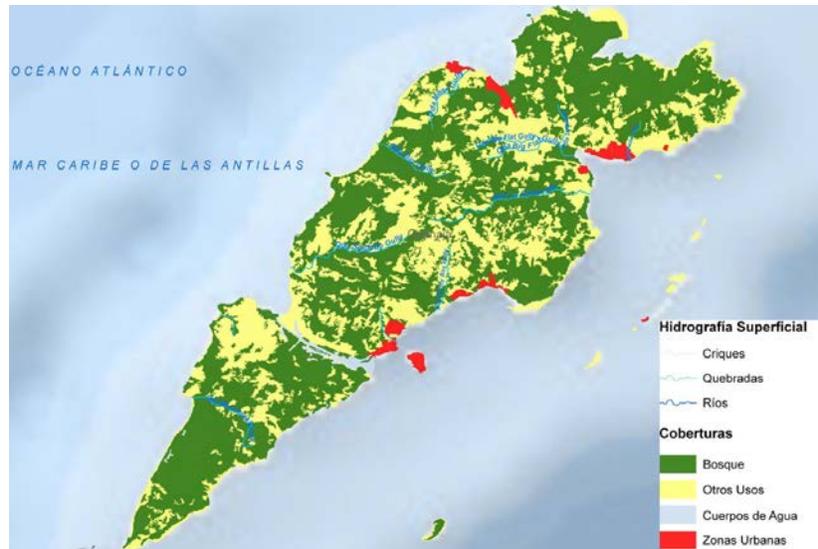


Figura 1. Mapa de isla Guanaja (fuente: <http://www.inparsa.net/atlas/?q=node/178>)

Materiales y métodos. Se realizó un estudio de caso que se basa en datos de campo recopilados en la comunidad. Se utilizó una encuesta semiestructurada para documentar cómo diferentes factores ambientales y socioeconómicos pueden afectar la isla centrandose el estudio en el ser humano y en la medición de la accesibilidad a la información de la calidad del agua, especialmente cuando el agua ya está entubada.

Resultados y su discusión.

Los recursos hídricos.

La isla de Guanaja cuenta con buenos recursos hídricos, el relieve topográfico divide la isla en 34 microcuencas hidrográficas, con una red hídrica con densidad de drenaje elevada, más de 5 k/km², de aspecto dendrítico ya que son regiones de suelos poco permeables. La superficie de estas pequeñas microcuencas varía entre 0.2 a 5.0 km². La precipitación anual se estima entre 1500 y 3600 mm según la información obtenida del Ordenamiento Territorial de Islas de la Bahía que financiaron Zolitur y otras organizaciones en el año 2013.

Las cuencas que abastecen el agua en la isla de Guanaja son: Bonacca, Sandy Bay Gully , La Ensenada, Mean Gully , Soldado Gully.

Entre la represas ubicadas en Guanaja están:

- 1- Bonacca con un área de 68 hectáreas; abastecen las comunidades : El Cayo, Armadores y Sandy Bay Gully que cubre la demanda de Mangrove Bright y Brisas del Mitch
- 2- La Ensenada con un área de 396 hectáreas y con un caudal de 6.3 Litros por segundo abastece la comunidad de Savannah Bight.
- 3- Represa Sandy Bay con un caudal de 1.5 Litros por segundo, éste abastece al taque de almacenamiento de la comunidad de El cayo ; Sandy Bay también cubre la demanda de Mangrove Bright y Brisas del Mitch, La Ensenada para

Savannah Bight y East End , y Mean Gully .st End , y Mean Gully para los Cayitos.

- 4- Se está trabajando para potenciar represa Soldado Gully con caudal de 10 litros por segundo y un área de 487 hectáreas.

Un caso especial es la isla del Cayo (figura 2). Allí se localiza el tanque de almacenamiento el Pelicano que abastece a la población de este asentamiento. Sus habitantes no cuentan con mucha información sobre la calidad del agua terrestre y marina. No existe la explotación de bosques, no hay industrias que puedan dañar el entorno del medio ambiente, pero si existe el problema de depuración de las aguas residuales porque el sistema de tratamiento es obsoleto. Por ello, sería de gran ayuda un estudio para evaluar la factibilidad de utilizar un minisistemas de depuración de aguas residuales como alternativa de saneamiento descentralizado (Oliveira et al., 2021).

En lo que se refiere al impacto de los eventos extremos el paso del huracán ocasionó que la isla de Guanaja perdiera una gran parte de las tuberías de agua potable y de las que conectaban a los sistemas de saneamiento de aguas residuales, problema que se observa también en otras islas (Fleming et al., 2019).



Figura 2. Comunidad El Cayo en la isla de Guanaja (Fotografía K. Bodden, 2019)

En lo que se refiere a los resultados de la encuesta, se observó el alto interés en la población con un 76 % de los encuestados se preocupaban por no tener información documentada del tema de calidad del agua para consumo humano y el resultado obtenido fue el apoyo que se le brindó por parte de la Universidad a la comunidad con monitoreos en dos épocas: verano e invierno en el año 2019 (por motivos de financiamiento no se ha proseguido) y se requirió una cuidadosa consideración de una serie de aspectos del proceso analítico, sistemática y continua de la evaluación de la calidad del agua, incorporándose desde la fuente, procesos de tratamiento, almacenamiento y distribución del agua en Guanaja.

Hubo experiencias positivas como las que se obtuvieron a través de la Vinculación Universidad-Municipalidad de Guanaja para mejorar la calidad del agua para consumo humano en la isla por el año 2019; con la participación exhaustiva para la colaboración del mejoramiento del sistema de Gestión de abastecimiento del agua potable en la isla, la realización de una auditoría ambiental con apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras - Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (UNAH-CURLA).

A raíz de los resultados obtenidos se procedió al mantenimiento de algunas obras de captación de agua distribuidas a través de tuberías terrestres; se realizaron muestreos de agua, se analizaron en el Laboratorio Análisis Ambiental en (CURLA), con los parámetros bacteriológicos de muestras de agua potable para el monitoreo de la calidad para consumo humano, rigiéndonos con resultados obtenidos con la “Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable”. Los resultados bacteriológicos no fueron favorables pero permitió determinar que la comunidad aplicaba una limitada desinfección y que se requiere vigilancia. En los puntos de muestreo en el Cayo, donde se identifica el mayor porcentaje de asentamiento poblacional, se identificó la presencia de coliformes totales. La “Norma Técnica Nacional para la Calidad de Agua Potable” define como valor máximo permisible de 0 UFC para los parámetros de coliformes totales y fecales si es agua para consumo humano, la detección de E. coli o coliformes fecales incluso en estos niveles bajos podría presentar un riesgo para la salud. A raíz de la socialización cuando se informó a la comunidad y al personal de la municipalidad de los resultados recopilados, se tomaron decisiones en el manejo de la gestión del agua con la juramentación de la junta del agua para una continua vigilancia de la calidad del agua en los diferentes tanques de almacenamiento.

Conclusiones

El sistemas de distribución de agua es insuficiente y no garantiza una distribución presurizada en cantidad y calidad del agua .

La calidad del agua almacenada puede estar afectada por la contaminación, con niveles de cloro residual insuficientes para garantizar la desinfección durante el almacenamiento.

Las intervenciones para mejorar la calidad del agua deben centrarse en la distribución, monitoreo y buen almacenamiento, en particular en lo que respecta a mantener los niveles de cloro residual, mantener limpias las cisternas y los tanques de techo.

Las cisternas en comunidades que son administradas adecuadamente con vigilancia para suministrar agua de alta calidad a nivel doméstico podrían ser parte de la solución (Grube et al., 2020)

Se utilizó una encuesta semiestructurada para documentar cómo se podría ayudar a la comunidad con temas medioambientales y socioeconómicos. Los datos de la encuesta se utilizaron para identificar el tema de estudio a desarrollar y apoyar a la comunidad, el cuál reveló el interés por conocer con datos medibles y cuantitativos la presentación de resultados de análisis bacteriológicos del agua, especialmente cuando el agua ya está entubada y es distribuida a los hogares.

El proceso de socialización con la comunidad de los resultados obtenidos contribuyó a la elección de la junta de agua para mejorar una gestión del suministro de agua y la prestación de servicios en la isla que beneficien a los grupos más vulnerables y marginados de la sociedad.

El monitoreo de calidad del agua realizado representa el primer conjunto de datos recaudados y socializados con la población en el tema de la calidad del agua. Asimismo se hizo evidente la necesidad de un monitoreo continuo de la calidad del agua.

Algunas recomendaciones que se derivan del análisis de esta primera etapa del estudio y que pueden ser válidas más allá del marco de las pequeñas comunidades insulares son:

Sistematizar el monitoreo de la calidad del agua.

Realizar un estudio para determinar el Índice de Accesibilidad al Agua (WAI) que proporcionará un enfoque alternativo para identificar hogares con acceso al agua comparativamente limitado (Lester y Rhiney, 2018). Este enfoque permitirá abordar los desafíos de las desigualdades en el acceso al agua en la distribución del agua dentro de la isla. La mejora de la información de que se dispone y su inserción en sistemas de información puede incluso ayudar a dirigir los esfuerzos en la mejora del abastecimiento de agua y el saneamiento (Deshpande et al., 2020)

Es necesario fortalecer el sentido comunitario y el diálogo entre los distintos actores de la gestión del agua y el saneamiento, incluyendo la academia. Esto permitirá aprovechar todas las formas de intercambio, no necesariamente monetarias, para mejorar (Barrington et al., 2016; Saunders et al., 2016).

Es necesario incrementar el apoyo gubernamental, así como socializar y llevar al diálogo de saberes entre los académicos y los pobladores las múltiples experiencias a nivel internacional, captación de agua de lluvia, desalinización con energías renovables, sistemas descentralizados de tratamiento incluyendo a nivel de casa habitación, entre otros, para garantizar una mejor calidad ambiental y la dotación de agua y saneamiento, incluyendo las que se han derivado de la búsqueda de soluciones en medio de la pandemia del SARS-COV-2, que dejan soluciones relevantes adaptables a nivel comunitario, así como la utilización de la energía (Sealey et al., 2014; MacDonald et al., 2020; Avila et al., 2021; Espinosa, 2021).

Referencias

- Albert, S., Deering, N., Tongi, S., Nandy, A., Kisi, A., Sirikolo, M., ... Grinham, A. (2021). Water quality challenges associated with industrial logging of a karst landscape: Guadalcanal, Solomon Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112506. doi:10.1016/j.marpolbul.2021.112506
- Anthonj, C., Tracy, J. W., Fleming, L., Shields, K. F., Tikoisuva, W. M., Kelly, E., ... Bartram, J. (2020). Geographical inequalities in drinking water in the Solomon Islands. *Science of The Total Environment*, 712, 135241. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135241
- Avila, D., Marichal, G., Hernández, Á. and Luis, F., 2021. Hybrid renewable energy systems for energy supply to autonomous desalination systems on Isolated Islands. *Design, Analysis, and Applications of Renewable Energy Systems*, pp.23-51. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824555-2.00009-5>
- Barrington, D. J., Sridharan, S., Saunders, S. G., Souter, R. T., Bartram, J., Shields, K. F., Hughes, R. K. (2016). Improving community health through marketing exchanges: A participatory action research study on water, sanitation, and hygiene in three Melanesian countries. *Social Science & Medicine*, 171, 84–93. doi:10.1016/j.socscimed.2016.11.003
- Cashman A., 2013. La Seguridad del Abastecimiento de Agua en El Caribe. Nota Técnica # IDB – TN – 516. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-seguridad-del-abastecimiento-de-agua-en-el-Caribe.pdf>
- Constitución de la República de Honduras, 2018. Disponible en: <https://pdba.georgetown.edu/Parties/Honduras/Leyes/constitucion.pdf>
- Chan, T., MacDonald, M. C., Kearton, A., Elliott, M., Shields, K. F., Powell, B., ... Hadwen, W. L. (2020). Climate adaptation for rural water and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support. *Science of The Total Environment*, 136681. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136681
- Deshpande, A., Miller-Petrie, M. K., Lindstedt, P. A., Baumann, M. M., Johnson, K. B., Blacker, B. F., ... Abdollahpour, I. (2020). Mapping geographical inequalities in access to drinking water and sanitation facilities in low-income and middle-income countries, 2000–17. *The Lancet Global Health*, 8(9), e1162–e1185. doi:10.1016/s2214-109x(20)30278-3
- Espinosa C. (2021) Provisión de agua potable a las poblaciones sin acceso a redes durante la emergencia por COVID-19 Experiencias en Latinoamérica y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo (IDB Technical Note; 516) Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Provision-de-agua-potable-a-las-poblaciones-sin-acceso-a-redes-durante-la-emergencia-por-COVID-19-Experiencias-en-Latinoamerica-y-el-Caribe.pdf>

- Faivre, G., Sami, E., Mackey, B., Tomlinson, R., Zhang, H., Kotra, K., Aimbie, J., Maniel, M., da Silva, G. and Rand, E., 2021. Water circulation and impact on water quality in the southwest of Efate Island, Vanuatu. *Marine Pollution Bulletin*, 173, p.112938. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112938.
- Fleming, L., Anthonj, C., Thakkar, M. B., Tikoisiva, W. M., Manga, M., Howard, G., ... Bartram, J. (2019). Urban and rural sanitation in the Solomon Islands: How resilient are these to extreme weather events? *Science of The Total Environment*, 683, 331–340. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.253
- Gobierno de España, 2020. Ministerio de la Transición Ecológica. Libro Verde de la Gobernanza de Agua en España. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/libro-verde-gobernanza-agua_tcm30-517206.pdf
- Gobierno de Honduras (2015) <http://www.inparsa.net/atlas/?q=node/178>
- Grube, A. M., Stewart, J. R., & Ochoa-Herrera, V. (2020). The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 228, 113547. doi:10.1016/j.ijheh.2020.113547
- Harborne, A. R., Afzal, D. C., & Andrews, M. J. (2001). Honduras: Caribbean Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1221–1235. doi:10.1016/s0025-326x(01)00239-9
- Jamero, M. L., Onuki, M., Esteban, M., Chadwick, C., Tan, N., Valenzuela, V. P., ... Avelino, J. E. (2019). In-situ adaptation against climate change can enable relocation of impoverished small islands. *Marine Policy*, 108, 103614. doi:10.1016/j.marpol.2019.103614
- Jiang, S. C., Han, M., Chandrasekaran, S., Fang, Y., & Kellogg, C. A. (2020). Assessing the water quality impacts of two Category-5 hurricanes on St. Thomas, Virgin Islands. *Water Research*, 115440. doi:10.1016/j.watres.2019.115440
- Kumar, P., Avtar, R., Dasgupta, R., Johnson, B. A., Mukherjee, A., Ahsan, M. N., ... Mishra, B. K. (2020). Socio-hydrology: A key approach for adaptation to water scarcity and achieving human well-being in large riverine islands. *Progress in Disaster Science*, 8, 100134. doi:10.1016/j.pdisas.2020.100134
- Lester, S., & Rhiney, K. (2018). Going beyond basic access to improved water sources: Towards deriving a water accessibility index. *Habitat International*, 73, 129–140. doi:10.1016/j.habitatint.2018.02.
- MacDonald, M. C., Elliott, M., Langidrik, D., Chan, T., Saunders, A., Stewart-Koster, B., ... Hadwen, W. L. (2020). Mitigating drought impacts in remote island atolls with traditional water usage behaviors and modern technology. *Science of The Total Environment*, 741, 140230. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140230

- Mahlknecht, J., González-Bravo, R., & Loge, F. J. (2019). Water-Energy-Food Security: A Nexus Perspective of the Current Situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*, 116824. doi:10.1016/j.energy.2019.116824
- Margeta, J. (2021). Selection and evaluation of a septage management concept for islands: The case study of Brač Island. *Journal of Environmental Management*, 285, 112128. doi:10.1016/j.jenvman.2021.112128
- Oliveira, G. A., Colares, G. S., Lutterbeck, C. A., Dell’Osbel, N., Machado, Ê. L., & Rodrigues, L. R. (2021). Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment*, 773, 145609. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145609
- OMS, 2016. World Health Organization. Regional Office for the Western Pacific. Sanitation, drinking-water and health in Pacific island countries : 2015 update and future outlook. Disponible en: <https://iris.wpro.who.int/handle/10665.1/13130>
- ONU, 2015. The Millennium Development Goals Report 2015. New York. Disponible en: [https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](https://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf).
- ONU, 2016. United Nations, Global Sustainable Development Report 2016, Department of Economic and Social Affairs, New York, July. Disponible en: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2328Global%20Sustainable%20development%20report%202016%20\(final\).pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/2328Global%20Sustainable%20development%20report%202016%20(final).pdf)
- ONU, 2017. Resolution 71/313 adopted by the General Assembly on 6 July 2017. Disponible en: <https://undocs.org/A/RES/71/313>
- ONU, 2021. Water sanitation and hygiene. Facts and figures. <https://www.unwater.org/water-facts/water-sanitation-and-hygiene/>
- OPS, 2011. Organización Panamericana de la Salud. Agua y saneamiento: Evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2012/AyS-PUB-WEB-20111104.pdf>
- Navarro Frómata, A.E., 2019. Apuntes de una reflexión sobre el agua, su gestión y su gobernanza. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias* 10(24): 1 – 21.
- Navarro Sanz, Beatriz, 2020. El impacto de la crisis de la COVID-19 en los Objetivos de Desarrollo Sostenible: ¿un retroceso sin precedentes en la Agenda 2030? Documento de Opinión IEEE 78/2020. http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2020/DIEEEO78_2020BEANAV_CovidODS.pdf y/o enlace bie3.
- Ramírez Rodríguez A.I., 2006. Análisis de la problemática de abastecimiento de agua en la Comunidad de Chachahuate, Cayos Cochinos, Honduras. Tesis

- de licenciatura. Disponible en:
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/982/1/IAD-2006-T024.pdf>
- Saunders, S. G., Barrington, D. J., Sridharan, S., Meo, S., Hadwen, W., Shields, K. F., Bartram, J. K. (2016). Addressing WaSH challenges in Pacific Island Countries: A participatory marketing systems mapping approach to empower informal settlement community action. *Habitat International*, 55, 159–166. doi:10.1016/j.habitatint.2016.03.010
- Sealey, K. S., & Smith, J. (2014). Recycling for small island tourism developments: Food waste composting at Sandals Emerald Bay, Exuma, Bahamas. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 25–37. doi:10.1016/j.resconrec.2014.08.008
- Suazo Suazo Geraldina, Reyes Osorio José Noé , 2007. Secretaria de Salud, Tegucigalpa, Honduras. Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Uso Seguro de Aguas Servidas en Agricultura (FAO, WHO, UNEP, UNU-INWEH, UNW-DPC, IWMI e ICID) Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Honduras.
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO.

METALES PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS DE DOS LAGUNAS COSTERAS DE TABASCO, MÉXICO

CECILIA VÁZQUEZ JIMÉNEZ¹, NANCY BRITO MANZANO², PERLA VARGAS FALCÓN³, MARTHA PERERA GARCÍA⁴

Resumen

Los metales pesados tienen una importante fuente en las actividades de origen antropogénico y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano y un factor de deterioro de la calidad hídrica y ambiental. Los sedimentos ribereños, uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como fuentes secundarias de contaminación de los cuerpos de agua, por lo que resulta importante evaluar la concentración de metales como una herramienta que permita rastrear el origen de los contaminantes en el medio y predecir los impactos que pueden producir en los ecosistemas acuáticos. En el presente trabajo se analizó por cuadruplicado por espectrofotometría de absorción atómica la concentración de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn en agua superficial y en sedimentos de dos lagunas costeras durante un año. Las muestras fueron colectadas mensualmente, a partir de tres estaciones de muestreo por cada una de las lagunas, El Carmen y Machona. Las concentraciones detectadas de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn fueron mínimas y no sobrepasaron los LMP en la norma mexicana; en ninguna de las dos lagunas estudiadas.

Se encontró que se presentan niveles significativamente superiores ($p < 0.05$) de metales pesados en sedimento comparado con los observados en agua. El contenido de Cd y Cr en sedimentos no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los bancos ostrícolas de ambas lagunas. La distribución de metales no fue homogénea, ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles distribuidos a lo largo de los bancos estudiados.

Palabras clave: contaminación, litoral, salud humana.

¹ División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

² División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280. nancy.brito@ujat.mx

³ División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

⁴ División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Km 25 carretera Villahermosa-Teapa. R/a La Huasteca 2ª. Sección. Villahermosa, Tabasco, México. C.P. 86280.

Abstract

Heavy metals have an important source in the activities of anthropogenic origin and constitute a danger for the aquatic biota and the human being and a factor of deterioration of the hydric and environmental quality. Riverside sediments, one of the main reservoirs of these elements, act as secondary sources of contamination of water bodies, so it is important to evaluate the concentration of metals as a tool that allows tracing the origin of contaminants in the environment and predict the impacts they can produce on aquatic ecosystems. In the present work, the concentration of Cd, Cr, Cu, Pb and Zn in surface water and in sediments of two coastal lagoons during one year was analyzed by quadruplicate by atomic absorption spectrophotometry. The samples were collected monthly, from three sampling stations for each of the lagoons, El Carmen and Machona. The detected concentrations of Cd, Cr, Cu, Pb and Zn were minimal and did not exceed the LMP in the Mexican standard; in neither of the two lagoons studied.

It was found that significantly higher levels ($p < 0.05$) of heavy metals are present in sediment compared to those observed in water. The content of Cd and Cr in sediments did not present significant differences ($p < 0.05$) between the oyster banks of both lagoons. The distribution of metals was not homogeneous, nor did it present a markedly defined geographical pattern, being able to find high levels distributed throughout the banks studied.

Keywords: pollution, coastline, human health.

Introducción

Los sedimentos en sistemas acuáticos, tanto de agua dulce como marina, son matrices complejas dinámicas compuestas de materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado que varía en tamaño y composición química, así como material de origen biológico y antropogénico. Numerosos contaminantes están asociados a depósitos finos ricos en materia orgánica y la interacción entre los contaminantes en los depósitos, determinan su destino ambiental, biodisponibilidad y su toxicidad (Chen y White, 2004).

Este tipo de contaminantes han causado efectos nocivos en la biota que habitan los ecosistemas costeros y han repercutido en la salud pública, en este caso los metales pesados por su inclusión en la cadena alimenticia (Shrivastava, Saxena y Swarup, 2003). Los metales pesados son elementos naturales de la corteza terrestre, rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua (Albert y Badillo, 1991; Caso, Pisanty y Ezcurra, 2004). Existen cambios en sus concentraciones debido al uso extensivo en la industria y actividades humanas.

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos (Bohn McNeal y O'Connor, 2001). Estos depósitos tienen un gran valor científico para el

estudio de estos ecosistemas, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su recorrido, y al interaccionar con las corrientes de agua ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua (Mariani y Pompêo, 2008).

Los metales pesados provienen en gran medida de fuentes antropogénicas, como desechos domésticos, agrícolas e industriales, y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano, así como un factor de deterioro ambiental. El estudio de la presencia de metales pesados en aguas de ríos, lagunas, mares y sedimentos, constituye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental de determinado cuerpo de agua. Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales, tal es el caso de las especies que el hombre consume como parte de su dieta (Contreras *et al.*, 2004).

Debido a que la dinámica sedimentaria de los ríos determina en gran medida la distribución de contaminantes y su disponibilidad en la columna de agua a lo largo del tiempo, el objetivo de esta investigación fue evaluar de forma preliminar la concentración de metales pesados en agua y sedimentos de dos lagunas costeras del estado de Tabasco, México.

Material y Métodos

Se realizaron muestreos mensuales durante un año, en seis bancos ostrícolas (tres por cada laguna estudiada) que comprenden los principales bancos ostrícolas de las Lagunas El Carmen y Machona, Tabasco.

Se colectaron muestras de 1000 ml de agua en cada sitio de muestreo en frascos de polietileno previamente lavados con agua, después con una mezcla de HNO₃ al 5% y con agua destilada. Antes de tomar la muestra, el frasco correspondiente se enjuagó tres veces con el agua del sitio. Se dispuso a la toma de la muestra sumergiendo el frasco en el sitio ubicado junto a la lancha, al sumergir frascos hasta la altura del brazo en cada una de las estaciones, posteriormente se acidificó con 10 ml de ácido nítrico para fijar la muestra y realizar el análisis. La muestra se analizó de acuerdo a los lineamientos establecidos por la NMX-AA-003-1980.

Los sedimentos fueron obtenidos con una draga manual de 10 lb y transportados en frascos 1:1 v/v con 1 mL de HNO₃ concentrado, logrando un pH de 1.6 a 2.0. Las muestras de agua y sedimento fueron etiquetadas y transportadas en hieleras con hielo, a fin de mantenerlas frescas para su posterior fijación y análisis (Cobelo-García Lavandería y Prego, 2005).

Método de secado y digestión de sedimento

Los sedimentos se extendieron y se dejaron secar sobre bolsas de nylon a temperatura ambiente. Una vez secas las muestras se molieron, etiquetaron y guardaron en bolsas zyploc. Posteriormente se pesó 1 g de sedimento en una balanza analítica, se depositaron en un matraz Kjhendal y se agregaron 10 ml de HNO₃ concentrado. Se realizaron 3 réplicas y a una de ellas se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std. Se elaboró un blanco al cual se le adicionó 10 ml de HNO₃ y un blanco referenciado con 10 ml de ácido y 100 µl del estándar multielemento. Para realizar la digestión de muestras se utilizó un equipo micro Kjhendal, hasta obtener una apariencia clara, posteriormente se filtraron y aforaron en matraces de 50 ml con disolución de ácido nítrico al 5% y fueron almacenados en frascos de polietileno.

Método de digestión del agua

En el laboratorio se agregaron 500 ml de cada muestra de agua en vasos de precipitado y se le adicionaron 50 ml de ácido nítrico concentrado, posteriormente se llevaron a ebullición con la ayuda de una parrilla eléctrica.

Las muestras se hicieron por triplicado, se filtraron con papel Whatman #40 y se aforaron a 50 ml, a una de las muestras se le adicionaron 100 µl del estándar multielemento High Purity Std. Aparte se elaboró un blanco (agua marina) y un blanco referenciado con 100 µl de estándar multielemento.

Finalmente se determinaron los metales pesados en agua y sedimentos en un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC HG3000 Avanta, usando flama de aire-acetileno. El análisis de los metales se determinó de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-117-SSA1-1994.

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos de las lecturas de los metales pesados, se realizaron análisis estadísticos, de acuerdo con la distribución de los datos se procedió hacer pruebas paramétricas o no paramétricas. Se realizó un análisis de Kruskal Wallis para conocer si existen diferencias significativas en las temporadas climáticas de los sedimentos, el agua, y de los metales pesados. (Prieto y Herranz, 2010).

Resultados y discusión

Contenido de metales en sedimentos

Se detectó la presencia de todos los metales pesados en los sedimentos analizados, sin embargo, en los seis bancos ostrícolas muestreados en las dos lagunas, ninguna superó el Límite Máximo Permitido (LMP) por las Normas Oficiales Mexicanas (Cuadro 1). En el cuadro se puede apreciar que, en general la laguna El Carmen presentó el mayor contenido de los metales y que en la laguna Machona los niveles de Cadmio la mitad del año el contenido no fue detectable y que el contenido de

Plomo también tuvo niveles no detectables. Estos valores fueron inferiores a los registrados por Guzmán, Villanueva y Botello (2005) quienes presentaron un valor máximo y mínimo de Cadmio para Mandinga de 0.89 mg/kg y 0.46 mg/kg al igual que para la Laguna de Tamiahua de 6.21 mg/kg y 1.86 mg/kg, por Rubio-Arias, Mejía-Leyva, Cortés-Palacios, Ochoa-Rivero y De la Mora-Orozco (2018) en los sedimentos de la laguna de Bustillos, Chihuahua y Flores, Del Ángel, Frías y Gómez (2020) en la laguna de las Ilusiones. El análisis de Kruskal-Wallis determinó que el Cadmio, el Cromo y el Plomo presentaron diferencias estadísticamente significativas entre lagunas ($H=11.720$, $p=2.815^{-3}$, $H=12.321$, $p=2.672^{-3}$, $H=11.698$, $p=2.831^{-3}$, respectivamente).

Cuadro 1. Concentración promedio de Cadmio (mg/Kg^{-1}) en sedimentos en dos lagunas costeras del estado de Tabasco.

Meses	Cadmio		Cromo		Plomo		Cu		Zinc	
	Carmen	Machona								
enero	0.10	0.08	0.41	0.23	0.11	0.07	1.9	0.7	4.3	2.0
febrero	0.03	N.D.	0.44	0.23	0.03	0.07	1.9	0.7	4.3	1.7
marzo	0.04	0.02	0.44	0.24	0.03	N.D.	1.9	0.7	4.7	1.7
abril	0.06	N.D.	0.45	0.24	0.07	N.D.	1.8	0.5	4.9	1.7
mayo	0.02	N.D.	0.47	0.26	0.07	N.D.	1.8	0.5	4.3	1.4
junio	0.18	N.D.	0.47	0.27	0.19	N.D.	1.4	0.6	4.3	1.4
julio	0.18	N.D.	0.48	0.27	0.19	N.D.	1.4	0.6	3.7	1.2
agosto	0.17	0.07	0.48	0.29	0.17	0.08	0.9	0.5	3.6	2.1
septiembre	0.20	0.20	0.48	0.33	0.20	0.19	0.9	0.8	3.6	2.6
octubre	0.20	0.16	0.47	0.34	0.20	0.19	0.7	0.6	3.3	2.6
noviembre	0.20	0.20	0.49	0.35	0.20	0.20	1.1	0.6	3.8	2.8
diciembre	0.04	N.D.	0.49	0.35	0.18	0.19	1.1	0.6	4.7	2.8

LMP = 0.1- 0.2 mg/kg NOM-ECOL-001-1996

N.D. = No detectado

En cuanto al Cromo, en el trabajo actual las concentraciones encontradas fueron superiores a los reportados en el río Tuxpan por Mendoza-Reynosa (2010) de 0.11 mg/kg; Guzmán *et al.* (2005) reportaron valores superiores a esta investigación (0.23 a 0.49 mg Kg^{-1}), en la Laguna de Alvarado encontraron valores de 13.75 mg/kg, en la Laguna de Mandinga valores de 14.75 mg/kg y en Tamiahua los valores fueron de 26.40 mg/kg. En el río de Coatzacoalcos, Rosales y Carranza (2005) presentaron un valor máximo de 109 mg/kg, muy superiores a los de este trabajo. Con respecto al Cobre, los máximos valores se registraron de noviembre a mayo en la laguna El Carmen, mientras que en la laguna Machona se encontraron de septiembre a marzo. Por su parte, el contenido de Zinc registró sus valores más altos de diciembre a junio en la laguna El Carmen y para Machona de agosto a enero. Las concentraciones de ambos metales (Cu y Zn) fueron superiores a las

reportadas por Laino-Guanes, Bello-Mendoza, González-Espinosa, Ramírez-Marcial, Jiménez-Otárola y Musálem-Castillejos (2015) para los sedimentos en la cuenca alta del río Grijalva, pero inferiores a los registros de Flores *et al.* (2020) en sedimentos de la laguna De las Ilusiones, en Tabasco.

Contenido de metales en agua

Se analizaron los resultados de los muestreos de metales pesados en agua (Cuadro 2); los datos no presentaron relación clara entre la presencia de los metales con la época del año. Al igual que en los sedimentos, se detectaron todos los metales muestreados y ninguno presentó valores por arriba de los LMP. La laguna El Carmen fue la que presentó las mayores concentraciones de los metales analizados. El Cromo y el Zinc fueron los que presentaron los valores más altos, sin embargo, fueron inferiores a los reportados por Laino-Guanes *et al.* (2015) en agua de la cuenca alta del río Grijalva y por Flores *et al.* (2020) en agua de la laguna de las Ilusiones en Tabasco.

Cuadro 2. Concentración promedio de Cadmio (mg/Kg^{-1}) en agua en dos lagunas costeras del estado de Tabasco.

Meses	Cadmio		Cromo		Plomo		Cu		Zinc	
	Carmen	Machona								
enero	0.7	0.3	< 19	< 14	< 0.18	< 12	< 2	< 1	< 4	2
febrero	0.7	0.3	< 19	< 14	< 0.18	< 12	< 2	< 1	< 4	2
marzo	0.7	0.3	< 19	< 14	< 0.18	< 12	< 2	< 1	< 4	2
abril	0.7	0.3	< 19	< 14	< 0.18	< 12	< 2	< 1	< 4	2
mayo	0.7	0.3	< 19	< 14	< 0.18	< 12	< 2	< 1	< 4	2
junio	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 4	2
julio	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 4	1
agosto	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 4	1
septiembre	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 5	1
octubre	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 5	1
noviembre	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 5	1
diciembre	0.7	0.3	< 20	< 10	< 0.10	5	1	0.4	< 5	1

En relación a los otros metales (Cd y Pb), los valores registrados en el presente trabajo también resultaron ser inferiores a los encontrados por Laino-Guanes *et al.* (2015) y por Flores *et al.* (2020) en aguas de la cuenca alta del río Grijalva y de la laguna de las Ilusiones, respectivamente. Los valores registrados por Rubio-Arias *et al.* (2018), fueron muy superiores a los del presente trabajo. Para el Cu no se reportan valores de LMP en las normas mexicanas.

López-Ortega (2010) reporta valores de plomo en el agua de la Laguna de Tampamachoco inferiores a 0.02 mg/L, dicho valor se encuentra por debajo de las concentraciones obtenidas en este trabajo, Mendoza-Reynosa (2010) en su investigación reportó un valor máximo de 0.14 mg/L y un valor mínimo de 0.0006 mg/L, los cuales son similares a los encontrados en este estudio. García (2005) en su investigación que abarcó dos años de muestreo en el 2003 reportó un valor máximo de 1.69 mg/L y un valor mínimo de 1.05 mg/L, para el 2004 los valores oscilaron entre 3.29 mg/L y 1.00 mg/L, estos valores descritos superan los límites establecidos en la norma oficial mexicana y los encontrados en esta investigación.

Referencias

- Albert, L. A. y Badillo, F. (1991). Environmental Lead in Mexico. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, (117), 1-49.
- Bohn, H., McNeal, B. y O'Connor, G. (2001). *Soil Chemistry*. Alberta, Canadá: John Wiley & Sons.
- Caso, M., Pisanty, I. y Ezcurra, E. (2004). Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ed. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, México. 1108 pp
- Chen, G. y White, P. A. (2004). The mutagenic hazard of aquatic sediments; a review. *Mutagenic Research*. 567(2-3), 151-225.
- Cobelo-García, A., Lavandería, A. y Prego, R. (2005). Two opposite cases of metal accumulation in ria sediments: Ferrol and Corme-Laxe (Galicia, NW Iberian Peninsula) (Dos casos opuestos en la acumulación de metales en el sedimento de una ría: Ferrol y Corme-Laxe (Galicia, NO Península Ibérica). *Ciencias Marinas*, 31, 653– 659.
- Flores, C., Del Ángel, E., Frías, D.M. y Gómez, A.L. (2020). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. 9(2), 39-57.
- García, G. C. (2005). Metales tóxicos en el sistema lagunar Mandinga Veracruz. Proyecto de servicio social. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, D.F. México. 32 pp.
- Guzmán Amaya, P., Villanueva, F.S. y V. Botello, A. (2005). Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. pp 361-372. In: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) *Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. Nal. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Laino-Guanes, R.F., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F. y Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales pesados en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. 6(4), 61-74.
- López-Ortega, M. (2012). Determinación de metales pesados en *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830) y agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz por espectroscopía de absorción atómica. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de Reforma, México.

- Mariani, C. y Pompêo, M. (2008). La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos. *Revista Ciencia Hoy*, 18(107), 48-53.
- Mendoza-Reynosa, E. (2010). Evaluación de la salud de Mugil curema Valenciannes, 1836 (Pisces: Mugilidae) de la laguna de Tampamachoco y el río Tuxpan, Veracruz y su relación con factores ambientales. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Prieto Valiente, L. y Herranz Tejedor, I. (2010). Bioestadística sin dificultades matemáticas. Madrid, España. Ed. Díaz de Santos.
- Rubio-Arias, H.O., Mejía-Leyva, P.F., Cortés-Palacios, L., Ochoa-Rivero, J.M. y De la Mora-Orozco, C. (2018). Metales pesados en sedimentos de la Laguna de Bustillos, Chihuahua, México y comparación de agua regia y peróxido de hidrógeno como métodos de digestión. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 26(74), 39-47.
- Rosales, H. L. y Carranza, A. E. (2005). Estudio geoquímico de metales en el estuario del río Coatzacoalcos. pp. 389-406. In: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.) *Golfo de México contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2ª. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. Nal. de México, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Shrivastava, P., Saxena, A. y Swarup, A. (2003). Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal, (M. P.) India. *Lakes and Reservoirs. Research and Monagement*, 8(1), 1-4.

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE FLUORUROS EN POZOS PROFUNDOS DE UN MUNICIPIO EN LOS ALTOS DE JALISCO

ALDO ANTONIO CASTAÑEDA VILLANUEVA¹

Resumen

La ingesta de alimentos con cantidades reducidas y/o elevadas de fluoruros puede resultar perjudicial para la salud humana y animal. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la concentración de fluoruros en pozos profundos que abastecen de agua potable al municipio de Tepatitlán, el cual se localiza en la región Altos Sur en el estado de Jalisco, la población de este municipio es de 150,190 habitantes (2020), y presenta situaciones de estrés hídrico debido a periodos de sequía cada vez más largos y frecuentes. La Organización Mundial de la Salud y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, establecen una concentración máxima de 1.5 miligramos por litro (mg/l) de fluoruros en agua potable. Mediante técnicas espectrofotométricas, se evaluaron 68 pozos profundos operativos en la zona de estudio, resultando que más del 20% presentan concentraciones de fluoruros que superan los límites máximo permisibles para agua potable, reportando valores de hasta 11.44 mg/l, las mayores concentraciones de fluoruros se localizan principalmente en el centro, al norte y al este del municipio, así mismo quedo evidenciado un incremento en la cantidad de pozos con concentración de fluoruros mayores a lo establecido en la normatividad vigente, el incremento en la concentración de compuestos como fluoruros en el agua subterránea extraída, puede ser indicador de la disminución sensible del nivel dinámico del agua en el acuífero.

Comprender la hidrodinámica particular de las fuentes de suministro de agua potable subterránea, resulta fundamental para asegurar las mejores condiciones de la misma, contribuyendo con la preservación de la salud pública.

Palabras clave: Agua subterránea, Altos de Jalisco, Determinación de fluoruros.

Abstract

The intake of foods with low and/or high amounts of fluoride can be detrimental to human and animal health. The objective of the present study was to quantify the concentration of fluorides in deep wells that supply drinking water to the municipality of Tepatitlán, which is located in the Altos Sur region in the state of Jalisco, the population of this municipality is 150,190 inhabitants (2020), and presents situations of hydric stress due to increasingly long and frequent periods of drought. The World

¹ Centro Universitario de Los Altos (CUAltos) / Universidad de Guadalajara (UDG). Av. Rafael Casillas Aceves No. 1200, C.P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
acastaneda@cualtos.udg.mx

Health Organization and the Mexican Official Standard NOM-127-SSA1-1994 establish a maximum concentration of 1.5 milligrams per liter (mg/l) of fluoride in drinking water. Through spectrophotometric techniques, 68 operational deep wells in the study area were evaluated, resulting in more than 20% having fluoride concentrations that exceed the maximum permissible limits for drinking water, reporting values of up to 11.44 mg/l, the highest concentrations of fluorides. located mainly in the center, north and east of the municipality, likewise there was evidence of an increase in the number of wells with concentrations of fluorides greater than that established in the current regulations, the increase in the concentration of compounds such as fluorides in the groundwater extracted, can be an indicator of the sensitive decrease in the dynamic level of water in the aquifer.

Understanding the particular hydrodynamics of underground drinking water supply sources is essential to ensure the best conditions for it, contributing to the preservation of public health.

Keywords: Groundwater, Altos de Jalisco, Determination of fluorides.

Introducción

El flúor es un componente volátil muy importante en el magma terrestre, su solubilidad se asocia a cationes de sodio y potasio. Los factores que intervienen para que aumente la concentración de fluoruros en el agua subterránea son:

- Tipo de minerales de origen
- Tiempo de residencia del agua con la roca
- Temperatura debido a la profundidad de circulación
- pH y la actividad y solubilidad de los propios minerales
- Porosidad del suelo y la presencia de elementos que inducen a que el flúor se conjugue.

Para un sistema de flujo en particular; local, intermedio o regional, la concentración de fluoruros se incrementa desde la zona de recarga alcanzando valores máximos en la zona de descarga. resulta importante destacar el papel del funcionamiento hidrogeológico en el conocimiento y evaluación de diferentes respuestas químicas del agua, como los fluoruros, para entender su incidencia en las fuentes de agua subterránea y cómo ésta afecta la salud de la población que la consume (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales minerales que contienen Flúor (Rao, 2003; Cronin y col., 2000).

Compuesto	Descripción	Mineral
Haluros	Compuestos químicos binarios, formados por un NaF (villiaumita)	
Halogenuros	átomo de flúor y un radical de menor KF	
Sales	electronegatividad.	CaF ₂ (fluorita)
Haluros con Sales	formadas por varios átomos de Flúor y Na(BF ₄)	
fluoroaniones aniones.		K(BF ₄) Na ₃ (AlF ₆) (criolita)

Fosfatos	Sales o ésteres del ácido fosfórico, con un átomo de $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ (Fluorapatita) fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica.
Silicatos	Unión de silicio y oxígeno, también denominados $\text{Al}_2\text{F}_2(\text{SiO}_4)$ (Topacio) sales del ácido silícico, son los minerales más abundantes en la corteza terrestre. $\text{KAl}_2\text{F}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (Muscovita) $\text{KMg}_3\text{F}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ (Flogopita)
Riolitas	Roca ígnea extruida (volcánica félsica), con una Cuarzo, feldespato potásico, composición química muy parecida a la del granito, oligoclasa, biotita, anfíbol, por lo que se considera el equivalente volcánico del piroxeno. granito.
Granitos	Roca ígnea intrusiva de composición félsica formada esencialmente por cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y mica.

La ingesta de alimentos con cantidades reducidas y/o elevadas de fluoruros puede resultar perjudicial para la salud humana y animal. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la concentración de fluoruros en pozos profundos que abastecen de agua potable al municipio de Tepatitlán de Morelos (MTM), el cual se localiza en la región Altos Sur en el estado de Jalisco, la población de este municipio es de 150,190 habitantes (2020), y presenta situaciones de estrés hídrico debido a periodos de sequía cada vez más largos y frecuentes. La Organización Mundial de la Salud y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, establecen una concentración máxima de 1.5 miligramos por litro (mg/l) de fluoruros en agua potable.

El continuo consumo de agua con una composición no adecuada para la salud, es el posible origen de diversas enfermedades tanto en la piel, los dientes, los huesos y órganos internos como el hígado.

La presencia de muchos compuestos y elementos químicos disueltos en el agua no deben superar los niveles óptimos permitidos para su adecuado y seguro consumo humano y animal (Stockholm International Water Institute, 2005).

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, establece el límite máximo permisible en agua para uso y consumo humano en 1.5 mg/L de fluoruros, que coincide con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (2012).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USHHSF por sus siglas en inglés, 2015), recomiendan una concentración máxima de fluoruros en agua potable 0.7 mg/l, buscando equilibrar los beneficios de prevenir la caries dental y fijar el límite de los efectos no deseados en la salud, mientras que la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR, 2020), ha calculado la referencia mínima de consumo de flúor de 0.05 mg/kg/día para una exposición oral crónica. Las dosis recomendadas en los Estados Unidos y Canadá son de 4 mg/día para el hombre, 3 mg/día para la mujer y entre 2 y 3 mg/día para niños y adolescentes.

En nuestro país 17 estados presentan problemas por contaminación natural del agua subterránea por flúor, esta contaminación es de origen geológica, resultado de la interacción natural que tiene el agua subterránea con algunas rocas volcánicas que se encuentra ampliamente diseminadas en la sierra Madre Occidental y que constituye algunos de los principales acuíferos con que se abastece de agua a la población: en los estados de Baja California Norte, Durango, Aguascalientes, Zacatecas y Guanajuato, la contaminación del agua subterránea se localiza en la mayor parte del estado, mientras que en Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sinaloa, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Estado de México, Hidalgo y Puebla, la presencia de contaminantes se observa solo en algunas localidades. Según la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Estatal del Agua del estado de Jalisco, la mayoría de los acuíferos en el estado de Jalisco se encuentran sin disponibilidad (figura 1).

Figura 1. Situación geológica de los acuíferos en el estado de Jalisco: en rojo los acuíferos sobreexplotados y en verde los que presentan disponibilidad. CEA-Jalisco (2018).



La región Altos Sur de Jalisco cuenta con aprox. 6,677 km² (8.33% del territorio estatal)

Hidrológicamente pertenece en su mayoría a RH-12 “Lerma-Santiago”, en las cuencas del río Verde Grande, el río Lerma-Salamanca, el río Lerma-Chapala, el río Santiago Guadalajara. La fuente principal para el suministro de agua potable en la región Altos Sur son los acuíferos subterráneos, que en muchos casos son de origen hidrotermal, los cuales se caracterizan por la presencia de compuestos químicos potencialmente dañinos para el consumo humano y animal (CONAGUA, 2018).



Figura 3. Localización del municipio de Tepatlán la región altos Sur del estado de Jalisco (2010) Los análisis se realizaron en el Laboratorio para Análisis de Aguas del Centro Universitario de Los Altos de la Universidad de Guadalajara.

Resultados y Discusión

Más del 20% de los pozos evaluados en el presente estudio presentan concentraciones de fluoruros que superan los límites máximo permisibles para agua potable, reportando valores de hasta 11.44 mg/l, las mayores concentraciones de fluoruros se localizan principalmente en el centro, al norte y al este del municipio (cuadro 2), así mismo quedo evidenciado un incremento en la cantidad de pozos con concentración de fluoruros mayores a lo establecido en la normatividad vigente, el incremento en la concentración de compuestos como fluoruros en el agua subterránea extraída, puede ser indicador de la disminución sensible del nivel dinámico del agua en el acuífero.

Cuadro 2. Concentración de Fluoruros en pozos profundos de la cabecera municipal de Tepatlán.

Pozo NUM.	Condición operativa	Nombre/Ubicación	Fluoruros promedio (mg/l)
1	Activo	Frente a la Chevrolet	0.06
2	Intermitente	San Gabriel	0.32
3	Activo	Dentro de Viveros	0.89
4	Activo	Pozo del Monte	1.23
5	Activo	Che Campestre	1.67
6	Activo	Aguillillas	0.13
7	Activo	Jardines de Tapa	0.95
8	Activo	Jardines de la Rivera	4.30
10	Activo	Unidad deportiva (Hidalgo)	11.44
11	Activo	Ojedas	9.50

12	Activo	Las Cruces	13.27
13	Activo	El Aguacate	1.21
15	Activo	Los Sauces de Abajo	0.41
17	Activo	Popotes	0.49
20	Activo	Hacienda Popotes	3.86
21	Activo	Rastro Nuevo	3.12
23	Intermitente	Lomas del Real	7.80
25	Activo	Jihuite	0.35
26	Intermitente	Bosques del Lago	0.32
27	Activo	Centro de Rehabilitación (Sauces)	0.49
28	Activo	La Loma	0.44
30	Activo	San Pablo	1.68
31	Activo	El Vivorero	1.23
32	Activo	Paso de Carretas	0.50
33	Activo	Fracc. Guadalupe	0.80
35	Activo	Aguillillas	0.15
36	Activo	Sauces de arriba	0.75
37	Activo	Pochote	0.52
38	Activo	Buganblias	0.35
40	Activo	La Guayabera	9.32
41	Intermitente	Bosques de la Gloria	0.39
42	Activo	Preparatoria nueva	9.41
43	Activo	San Alfonso	0.13
44	Activo	Valle Real	0.31
45	Activo	San Ángel	9.12
46	Activo	Juan Pablo II	0.27
47	Activo	Santa Bárbara	0.23
49	Activo	Cotos del rey	0.86
50	Activo	El Colonial	0.73
51	Activo	Ojo de Agua de Becerra	1.12
53	Activo	Rinconada San Pablo	0.49
54	Activo	Fracc. San Jorge	0.86
57	Activo	Tablón II	0.96
58	Activo	Los Arroyos	1.12
60	Activo	La Esperanza	0.02
62	Activo	La Cuesta	0.06
64	Activo	Royal Park	0.69
65	Activo	CUAltos-UdG	9.13

Así mismo, las concentraciones de compuestos con fluoruros en los principales pozos profundos en el resto del MTM aparecen en el cuadro 3.

Cuadro 3. Concentración de Fluoruros en delegaciones del MTM, Jalisco.

Pozo NUM.	Condición Operativa	Delegación	Fluoruros promedio (mg/l)
1	Activo	Capilla de Guadalupe	1.08
2	Activo	Capilla de Guadalupe	1.63
3	Activo	Capilla de Guadalupe	0.78
1	Activo	Pegueros	0.25
2	Activo	Pegueros	0.21
3	Intermitente	Pegueros	0.32
1	Activo	San José de Gracia	0.17
2	Intermitente	San José de Gracia	0.21
3	Activo	San José de Gracia	0.13
1	Intermitente	Mezcla de los Romero	1.14
2	Activo	Mezcla de los Romero	1.57
3	Activo	Mezcla de los Romero	0.87
1	Activo	Capilla de Milpillas	0.55
2	Activo	Capilla de Milpillas	0.43
3	Activo	Capilla de Milpillas	0.78
1	Activo	Tecomatlán de Guerrero	0.33
2	Intermitente	Tecomatlán de Guerrero	0.56
1	Activo	Ojo de Agua de Latillas	0.43
1	Activo	San José de Bazarte	0.16

Observando las principales características operativas de los pozos en servicio continuo de la ciudad de Tepatitlán, se denota que los pozos que trabajan más horas al día, son los de mayores gastos en promedio (litros por segundo-lps-) y en muchos casos son los que presentan niveles dinámicos (profundidades de extracción) mayores (cuadro 4).

Cuadro 4. Principales características operativas de pozos profundos de la cabecera municipal de Tepatitlán, Jalisco. ASTEPA (2019).

Pozo NUM.	Gasto (lps)	Horas operación al día	Nivel dinámico (m)
1	8	24	140
2	9	12	182
3	11	24	193
4	5	24	140
5	12	18	151
6	5	24	180
7	5	24	138
8	8	24	190
10	17	24	180
11	17	24	163
12	12	24	220
13	7	24	208
15	18	24	163
17	6	24	205
19	7	6	145

20	12	24	188
21	5	18	200
23	5	4	242
24	7	14	220
25	5	4	218
26	5	4	163
27	16	24	191
28	7	24	193
30	11	14	182
31	12	24	183
32	12	24	181
34	12	8	180
35	8	18	184
36	18	16	236
37	8	12	153
38	12	12	204
40	15	24	172
41	5	8	175
42	30	24	171
43	8	12	35
44	5	12	205
45	11	18	238
46	11	16	166
47	7	20	152
49	4	24	209
50	6	24	235
51	16	24	125
53	5	16	231
54	11	12	203
57	22	20	173
58	11	24	203
60	5	12	176
62	6	4	236
64	6	6	184
65	12	16	240

Comparando la cantidad de fluoruros con las características operativas de los pozos profundos de la ciudad de Tepatitlán, se genera la siguiente información (cuadro 5).

Cuadro 5. Condensado del comparativo entre contenido de Fluoruros y características operativas de los pozos profundos de la cabecera municipal

Rango de Fluoruros (mg/l)	Cantidad de pozos	Gasto promedio (lps)	Horas de operación promedio al día	Nivel dinámico promedio (m)
0.01-0.50	21	8.38	15.37	178.33
0.51-1.00	10	9.40	16.37	193.61
1.01-1.50	5	11.39	24.00	171.80
Más de 1.50	13	11.75	20.77	195.15

Conclusiones

Comprender la hidrodinámica particular de las fuentes de suministro de agua potable subterránea, resulta fundamental para asegurar las mejores condiciones de la misma, contribuyendo con la preservación de la salud pública.

El incremento en la concentración de compuestos como los fluoruros en el agua subterránea extraída, puede ser indicador de abatimiento dinámico (disminución sensible del nivel de agua) de pozos profundos utilizados como fuentes de suministro de agua potable. En el MTM más del 20 % de los pozos presentan concentraciones de fluoruros mayores al límite máximo permisible en la normatividad oficial vigente, reportando valores de hasta 11.44 mg/l. Las mayores concentraciones de fluoruros se localizan en el centro, al norte y al este del municipio, su mayoría en la cabecera municipal, es necesario tener especial precaución con estos pozos, implementando sistemas para disminuir estas concentraciones (precipitación, filtración, entre otras), inclusive el mezclando con aguas de menores concentraciones provenientes de otras fuentes de abastecimiento (diluciones controladas).

Es posible realizar pruebas extrayendo agua a diferente caudal (ejercer diferentes gradientes hidráulicos en el pozo), para obtener el agua necesaria con la cantidad adecuada fluoruros, a efecto de lograr un control este compuesto

Comprendiendo la hidrodinámica subterránea del acuífero es posible regular adecuadamente este importante parámetro.

Algunas probables causas de la elevada concentración de fluoruros en los pozos profundos del MTM, radican en: 1) La cantidad de pozos operando, 2) Los caudales que se extraen y 3) Las horas que operan diariamente (varios hasta 24 horas al día). Lo que impacta en la sobre explotación del acuífero, evidenciado por los niveles dinámicos de extracción promedio actuales de 184.72 m, existiendo pozos que trabajan a profundidades mayores de 240 m.

Asumiendo que los volúmenes de extracción son mayores que los volúmenes de la recarga natural del acuífero, las aguas que se están extrayendo son cada vez a mayor profundidad lo que pone en riesgo la sustentabilidad del acuífero y la salud pública.

Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry ATSDR de Estados Unidos de Norteamérica (2020). [En línea]. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov>. Fecha de consulta: 8 de mayo del 2020.
- Agua y Saneamiento de Tepatitlán ASTEPA. (2019). Datos técnicos de pozos del municipio de Tepatitlán. Patrimonio ASTEPA. Tepatitlán Jalisco. México.
- Comisión Estatal del Agua Jalisco-CEA-Jal- (2018). Acuíferos en Jalisco. [En línea]. Disponible en: <https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/acuiferos>. Fecha de consulta: 21 de mayo del 2021.
- Comisión Nacional del Agua-CONAGUA- (2018). Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Subdirección General de Planeación CONAGUA. Ciudad de México. [En línea]. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf. Fecha de consulta: 12 de junio del 2021.
- Cronin, S., Manoharan, V., Hedley, M. & Loganathan, P. (2000). Fluoride: a review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand. En *New Zealand Journal Agriculture Research*. New Zealand. 43: 295-321.
- Gobierno de Jalisco. (2019). Municipio de Tepatitlán. [En línea]. Disponible en: <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/tepatitlan-de-morelos>. Fecha de consulta: 15 de mayo del 2021.
- Hach (2019). Manual del usuario: Espectrofotómetro modelo DR 2800. Edición 1©Hach Company. Reservados todos los derechos. Impreso en Alemania. [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/DR%202800%20Manual%20Del%20Usuario-Espanol.pdf>. Fecha de consulta: 12 de abril del 2021.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco IIEG (2021). Censo de Población y Vivienda 2020. En base en INEGI: [En línea]. Disponible en: <https://iieg.gob.mx/contenido/Municipios/TepatitlandeMorelos.pdf>. Fecha de consulta: 9 de junio del 2021.
- Norma Mexicana NMX-AA-077-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166793/NMX-AA-077-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta: 25 de mayo del 2021.

- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>. Fecha de consulta: 21 de mayo del 2021.
- Organización Mundial de la Salud OMS (2012). Informe sobre el abastecimiento de agua y monitoreo del saneamiento. [En línea]. Disponible en: www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/es/index.html. Fecha de consulta: 12 de abril del 2021.
- Rao, N. (2003). High-fluoride groundwater. En *Environmental Monitoring Assessment*. Springer. 175; 637-645.
- Stockholm International Water Institute SIWI (2005). Proyecto del Milenio, Organización de las Naciones Unidas, Health Dignity, and Development: What Will it Take?. Nueva York.
- U.S. Department of Health and Human Services Federal HHSF (2015). Panel on Community Water Fluoridation. Public Health Service Recommendation for Fluoride Concentration in Drinking Water for the Prevention of Dental Caries. Public Health Reports.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE HUMEDALES ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

CUAUHTÉMOC GARCÍA LEÓN¹, CINTHYA ALEJANDRA SOSA VILLALOBOS², ITZEL GALAVIZ VILLA³

Resumen

Las aguas residuales (AR) descargadas en cuerpos receptores sin tratamiento previo, generan problemas de salud y medioambiente. La evolución de tratamientos para AR es importante, especialmente a medida que aumenta el tamaño de las poblaciones (Metcalf y Eddy 2014). Actualmente, diversas tecnologías son empleadas para tratar este tipo de aguas con excelentes resultados (Granados, 2019). Los humedales artificiales (HA) en conjunto con otros procesos, han demostrado reducir eficientemente la carga contaminante. El presente trabajo, tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema alternativo de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales municipales. Se realizó una clasificación de AR con base en su tipo y procedencia, identificando los contaminantes más sobresalientes. Con los valores reportados por diversos autores de cada contaminante, se evaluaron modelos que se ajustaran a los requerimientos de los efluentes residuales y se determinó la propuesta de diseño. Los resultados indican que las aguas residuales municipales (ARM) presentan valores promedio en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 550 y 1000 mg/L., respectivamente. En Nitrógeno Total (NT), Fósforo Total (PT) y Grasas y Aceites (GyA) reportan valores de 15, 100 y 85 mg/L., respectivamente, siendo estos últimos los parámetros más elevados en este tipo de AR. Se determinó diseñar un sistema híbrido de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (HFSSH) que en conjunto con un pretratamiento físico-biológico pueda elevar la remoción de contaminantes en ARM.

Estos sistemas híbridos, requieren suministros de energía bajos, pueden adaptarse fácilmente y requieren de mínima operación

Palabras clave: Aguas residuales Municipales, Macronutrientes, Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial. Tratamiento de aguas.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Ver. Carretera Veracruz-Córdoba Km.12 C.P.94290. Boca del Río, Ver. México

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz. Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Formando Hogar, 91897 Veracruz, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Ver. Carretera Veracruz-Córdoba Km.12 C.P.94290. Boca del Río, Ver. México

Abstract

Wastewater (RA) discharged into receiving bodies without prior treatment, generate health and environmental problems. The evolution of treatments for RA is important, especially as the size of populations increases (Metcalf and Eddy 2014). Currently, various technologies are used to treat this type of water with excellent results (Granados, 2019). Constructed wetlands (HA) in conjunction with other processes have been shown to efficiently reduce the pollution load. The objective of this work is to propose the design of an alternative artificial wetland system for the treatment of municipal wastewater. A classification of RA was carried out based on its type and origin, identifying the most outstanding contaminants. With the values reported by various authors for each pollutant, models that fit the requirements of residual effluents were evaluated and the design proposal was determined. The results indicate that municipal wastewater (MRW) have average values in Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) of 550 and 1000 mg/L, respectively. In Total Nitrogen (NT), Total Phosphorus (PT) and Fats and Oils (GyA) they report values of 15, 100 and 85 mg/L, respectively, the latter being the highest parameters in this type of RA. It was determined to design a hybrid system of Artificial Subsurface Flow Wetland (HFSSH) that together with a physical-biological pretreatment can increase the removal of contaminants in ARM.

These hybrid systems require low power supplies, can be easily adapted and require minimal operation.

Keywords: Municipal Wastewater, Macronutrients, Subsurface Flow Constructed Wetland. Water treatment.

Introducción

La contaminación de cuerpos de agua generada por AR sin tratamiento previo, es un problema que aqueja en mayor grado a países en vía de desarrollo y que influye en que los recursos hídricos se conviertan en no renovables (CONAGUA, 2016). Existen pocas investigaciones dirigidas al tratamiento de AR en países en vías de desarrollo con métodos ecológicos que abaraten costos de construcción y operación de los sistemas convencionales (Hernández-Salazar *et al.*, 2018). En México, el tratamiento de AR mantiene numerosas limitaciones (De Dios *et al.*, 2017). Después de la construcción de muchas plantas de tratamiento de AR en áreas urbanas, hoy en día se encuentran dentro de áreas residenciales llegando a ser un problema, por tal motivo, los ingenieros empezaron a buscar opciones más compactas para el tratamiento (Hernández García, 2017). Actualmente, existen diversas tecnologías que se están empleando para el tratamiento con excelentes resultados (Granados, 2019). Los HA son una excelente alternativa para el tratamiento de AR, ya que son soluciones integrales con adecuadas eficiencias y bajos costos para la remoción de contaminantes (Asprilla, 2020). Los componentes de los HA son las plantas, el sustrato y la población microbiana (Árias-

Brix *et al.*, 2001). Son utilizados ya sea de manera individual o de manera combinada con otros procesos. De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento, existen en México 2 337 plantas en operación, de las cuales 211 (11.08 por ciento del total) corresponden a HA, lo que indica la importancia del desarrollo de esta alternativa de tratamiento de AR, tanto en áreas rurales, así como en ciudades con caudales hasta de 120 litros por segundo (Conagua, 2012). Otra ventaja de estos sistemas es la posibilidad de combinarse con otros procesos depuradores ya existentes, a fin de optimizar su rendimiento (Luna-Pabello, 2014). Además, dentro de los beneficios se encuentran los bajos costos, facilidad de operación y buena eficiencia comparadas con los sistemas de tratamiento convencionales. Es por lo anterior, que el objetivo de este trabajo es realizar una propuesta de diseño de un sistema alternativo de humedales artificial para el tratamiento de aguas residuales.

Materiales y Métodos

Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales municipales

Para esta actividad se utilizaron buscadores como Elsevier, SciELO, Dialnet, World Wide Science, Academia.edu, Springer Link, Ciencia.Science.gov, Eric, entre otros. Se realizó una clasificación bibliográfica para las aguas residuales. Posteriormente, estas se organizaron en grupos con base en su tipo y procedencia (Metcalf y Eddy, 1995). Para determinar los contaminantes más sobresalientes de cada grupo establecido, se analizaron los valores que reporta cada autor en estos contaminantes y se integra una tabla especificando el parámetro fisicoquímico y su valor. Tomando como referencia la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales se realiza una comparativa de los valores obtenidos. Con estos valores se calculan los rangos mínimos, máximos y promedio de cada contaminante.(Metcalf y Eddy, 1995). Los valores promedios resultantes se tomaron como punto de partida la selección y elaborar la propuesta de diseño del HA.

Propuesta de diseño de depuración

Zona de implementación

Para implementar el modelo de tratamiento, se deben determinar las características del sitio: tipo de suelo, altitud, temperaturas predominantes así como el número de población existente en el área. (Delgadillo *et al.*, 2010).

Factores ambientales

Se debe considerar temperatura ambiental máxima y mínima y promedio del agua, estacionalidad y velocidad, el período de estiaje y el lluvioso de la zona (EPA, 2000b). Para identificar estos factores en el área de implementación, se realizan consultas en las páginas oficiales que emiten información fidedigna en tiempo real, tales como INEGI, CONABIO, CONAGUA, entre otras.

Cálculo y dimensionamiento de pretratamiento

El cribado es la operación que se utilizará para separar el material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. Para el dimensionamiento se utilizarán los cálculos recomendados por CONAGUA (2018) y Ponce Bonilla (2002).

Sedimentador primario

Se determina el área superficial a partir del caudal de afluente de entrada como caudal máximo de operación y la carga superficial (CONAGUA, 2018).

(Ecuación 1)

$$\text{Área superficial} = \frac{Q_0}{CS}$$

Donde:

Q_0 = Caudal del afluente residual a tratar

CS = Carga superficial

Trampa de grasas y aceites

El afluente proviene del cribado hacia la trampa de grasas y aceites. El módulo de recuperación estará dividido en 3 secciones. Área total y la capacidad estará delimitada por el caudal proveniente del cribado (Ponce Bonilla, 2002).

Módulos de contacto y estabilización

Este proceso incorpora un módulo anaerobio (ausencia de oxígeno) seguido por un módulo aerobio (presencia de oxígeno) (Perez Sandoval, 2019). Los SS son recirculados al reactor aerobio para mantener estable la concentración de microorganismos (Metcalf y Eddy, 1995). En la figura 1 se representa el proceso de lodos activados.

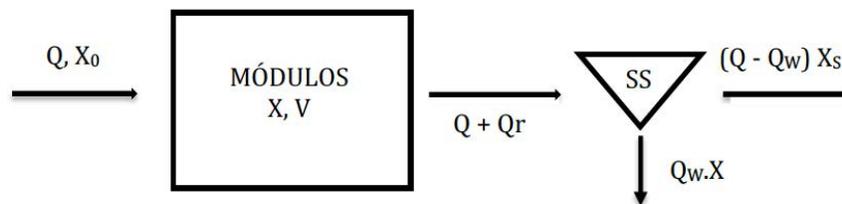


Figura 1. Esquema general del proceso de lodos (Perez Sandoval, 2019)

Donde:

Q : Caudal del sistema. (l/d)

Q_r : Caudal de reciclaje en el sistema. (l/d)

Q_w : Caudal de purga del sistema. (l/d)

X_0 : Concentración de DBO en el afluente. (mg/l)

X_s : Concentración de DBO en el efluente. (mg/l)

X : Concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla. (mg/l)

V : Volumen del tanque de aireación. (m³)

SS : Sedimentador secundario del sistema.

En el cuadro 1 se presentan los parámetros y fórmulas utilizados para estimar las condiciones de operación de los MC y ME.

Cuadro 1. Cálculos de operación de los módulos (Metcalf y Eddy, 1995).

Parámetro	Fórmula
Volumen (m ³)	$V = A \cdot L \cdot H$
Tiempo de Retención Hidráulica (hr)	$TRH = \frac{V}{Q}$
Caudal (m ³ /h)	$Q = \frac{V \cdot CVa}{DQO}$
Carga Volumétrica Aplicada (g DBO/m ³ ·d)	$CVa = \frac{SQ}{Vr}$

Sedimentador secundario

Para calcular el área superficial del sedimentador secundario se debe considerar el caudal de entrada que proviene de los MC y ME. Ponce Bonilla, (2002) utiliza la siguiente ecuación:

(Ecuación 2)

$$\text{Área superficial} = \frac{Q_0}{\text{Carga superficial}}$$

Donde:

Q₀ = Caudal del afluente residual

CS = Carga superficial

El área superficial se toma como referencia para fijar el diámetro mínimo del sedimentador CONAGUA (2018).

Cálculos y dimensionamiento del humedal artificial

Para determinar las dimensiones del HFSSH se utilizó la Ley de Darcy (cuadro 2).

Cuadro 2. Cálculos para dimensionamiento del HFSSH.

Cálculo	Fórmula	Método
Área superficial (A _s)	$A_s = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{(K_T \cdot h \cdot n)}$	EPA, (1993 a)
Área de sección Transversal (A _t)	$A_t = \frac{Q}{K_s \cdot S}$	Ley Darcy (1856)
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	$TRH = \frac{V}{Q}$	Ferrer (2013)

Selección de materiales de construcción del humedal artificial

Para la evaluación y selección de los materiales en la construcción de HA, se realiza un análisis cualitativo de las características que deben cumplir los materiales propuestos para ser aceptados como parte de un HA (EPA, 1993a). El medio de soporte se selecciona con base en lo indicado por Silván (2016).

Selección de macrófitas

Se seleccionan especies de macrófitas que presenten gran capacidad de adaptación, absorción y depuración, el número de individuos por nivel y la ubicación dependerá de sus requerimientos y tamaño (Jenssen *et al.*, 2005).

Resultados y Discusión

Caracterización fisicoquímica

La revisión bibliográfica realizada nos arroja como resultado que existen 3 tipos de clasificación para aguas residuales (cuadro 3).

Cuadro 3. Tipos de clasificación para aguas residuales.

AGUAS RESIDUALES		
Domésticas	Industriales	Urbanas
Viviendas y actividades humanas.	Comercio o industria.	Mezcla de domésticas e industriales.

Autores como Moyano (2018), indican que las aguas residuales domésticas tienen origen en viviendas y están producidas en esencia por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico.

Cuadro 4. Caracterización de las aguas residuales urbanas descritas por diversos autores

Número	Año	Autor	T (°C)	pH (UpM)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	G y A (mg/L)	OD (mg/L)
1	2003	Rivas-Lucero <i>et al.</i>		7	168	463	1375		33		34	
2	2009	Ramírez Carrillo <i>et al.</i>	20	9.3		122			6.11	2		2
3	2010	Li <i>et al.</i>		6.4-8.1	50-300	100-633		7-505	3.6-19.4	0.11 >48	-	
4	2010	Crespi, R.; O. Plevich.		7.8	112.5	265	842	252	108	8		
5	2012	Rodríguez-González.		7		141		29	42			
6	2012	Sánchez Ortiz		7.2-0.2	424-168	235-90	409	169				
7	2012	Cortés Lorenzo		6.9-7.8	57	135		139				
8	2013	Martínez <i>et al.</i>		6.9	400	1000		350	85	15		
9	2014	Bedoya-Pérez <i>et al.</i>	24	8.7	255	326	538	67	202	13		37
10	2014	Suárez <i>et al.</i>	23	7.3	267	268		856		5		6
11	2015	Rodríguez Miranda <i>et al.</i>			110-550	140-550		15-150	1.7-100	6-10		
12	2015	Figueroa <i>et al.</i>	20			80		112				75
13	2015	Ramos Chalen			200		800	240	35	10		
14	2016	Charris <i>et al.</i>	28	8		246						1
15	2016	Crombet, <i>et al.</i>	28	7	112	306	1197			18	67	
16	2016	Silván <i>et al.</i>	25	7.2					202	15		
17	2016	Marín	27	7.8	408	859		309	80	15		
18	2016	SEMARNAT		6-7	400	1000	1200	350	85	15	150	
19	2017	Ramon Vilanova			25	125		35	15	1		
20	2018	Javier R. Moyano			208	320	447	300			87	
21	2019	Ocaña <i>et al.</i>	26	8.3	289			250	146	5		

Por su parte Crespi (2010), señala que las aguas residuales de tipo industrial son todas aquellas que han sido vertidas desde un lugar con finalidad comercial o industrial. Crombet (2016), afirma que las aguas residuales urbanas contienen aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, también se consideran en este tipo aquellas que derivan de las aguas de corriente pluvial. El agua residual seleccionada para esta investigación fue de tipo urbana, ya que estas aguas residuales son las más predominantes en el área geográfica propuesta para el diseño del HA que corresponde a la zona conurbada Veracruz, Boca del Río. El resultado de la identificación de los contaminantes más sobresalientes se presenta en el mismo que se integra con base en las características descritas por diversos autores para este tipo de aguas residuales. En el cuadro 4 se concentran los valores para cada contaminante en las aguas residuales domésticas. Autores como Martínez *et al.*, (2013) y Marín-Muñiz (2017), indican que la DQO en aguas residuales urbanas pueden registrar valores de entre 800 y 1000 mg/L. Estos valores son muy altos en comparación de los reportados por Figueroa *et al.*, (2015) quien indica que para este tipo de aguas residuales encontró valores de hasta 80 mg/L. Esta diferencia entre autores, puede atribuirse al tipo de fuente donde se captó la muestra. De igual forma en los resultados de DBO, se puede apreciar una variabilidad considerable comparando los resultados reportados por Ramon Vilanova (2017), quien obtiene valores de 25 mg/L, mientras Miranda *et al.*, (2015) sugiere rangos de hasta 550 mg/L. En PT los valores reportados por autores como Silván *et al.*, (2016), Martínez *et al.*, (2013) y Bedoya-Pérez *et al.*, (2014) coinciden en un rango más específico dentro de los 13 a 15 mg/L. Para NT se reportan valores de alrededor de 100 mg/L, a excepción de Silván *et al.*, (2016) y Bedoya-Pérez *et al.*, (2014) quienes nuevamente en su estudio afirman que este parámetro puede llegar a presentar valores de hasta 202 mg/L. Los ST por su parte, presentan valores de entre 400 y 1200 mg/L. La temperatura y pH para este tipo de aguas residuales oscila entre 6-8 y 20-28 respectivamente. Cabe señalar que los valores antes mencionados pueden ser resultado de diversos factores como: el uso del agua, ya que los contaminantes dependen directamente de la finalidad a la que fue destinada.

En el cuadro 5 se concentran los valores promedios de cada parámetro analizado.

Cuadro 5. Valores promedio de parámetros obtenidos para aguas residuales urbanas.

Parámetro	Unidad	Resultado
Temperatura	°C	24
pH	UpM	7
DQO	mg/L	393
DBO ₅	mg/L	260
Sólidos Totales	mg/L	851
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	257
Nitrógeno Total	mg/L	82
Fósforo Total	mg/L	12
Grasas y Aceites	mg/L	84

Los resultados promedio obtenidos se compararon con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-1996. Derivado de esto, podemos afirmar que todos los parámetros analizados se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Específicamente los valores NT, SST y GyA, están más elevados en comparación a los demás parámetros analizados (Metcalf y Eddy, 2003). Con base en estos resultados se determina proponer un modelo de tratamiento que consiste en un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (HFSSH) y un pretratamiento físico y biológico, que en conjunto coadyuven a disminuir la concentración de contaminantes eficientemente en este tipo de aguas residuales.

Propuesta de diseño de depuración

Zona de implementación

La zona de implementación es el estado de Veracruz. Cuenta con una altitud de 1 M.S.N.M. El clima es tropical cálido, con una temperatura media anual de 25.3 °C y precipitación media anual de 1500 mm. Durante los meses de septiembre a febrero se presenta el fenómeno conocido como "norte", manteniendo rachas de viento que alcanzan velocidades de hasta 50 y 130 kilómetros por hora. En ocasiones la temperatura desciende varios grados, aunque su duración es breve. Cuenta con tipo de suelo denominado Feozem y Luvisol y población estimada de 607,209 (INEGI, 2020).

Pretratamiento

Cribado

El pretratamiento para esta propuesta consiste en un proceso físico denominado cribado. El sistema diseñado tendrá dimensiones totales de 0.60 m de alto, 1 m de ancho y 1.80 m de largo, con un volumen útil de 0.32 m³. Cuenta con una rejilla de acero con medidas de 0.60 m de ancho, 0.080 m de alto, tamaño de poro de 2x2 y una inclinación es de 60°. Hernández García (2017), indica que en medidas más pequeñas de poro podría existir saturación de sólidos provocando taponamiento total o parcial de la rejilla, por lo tanto, sugiere una medida mínima de 2 x 2. Por su parte Henze M. (1997), recomienda limpiezas periódicas en rejillas para evitar saturación de sólidos en el sistema.

Sedimentador primario

El sedimentador primario tiene la finalidad de eliminar sólidos suspendidos mediante la sedimentación. Cuenta con dimensiones de 1 m de ancho, 2 m de largo y 1.50 m de alto, cuenta con un volumen útil de 3 m³. Este componente se diseñó de manera convencional considerando lo indicado por Rojas (2002), quien afirma que, colocar un sedimentador primario, reduce la turbulencia y la velocidad de corriente que ingresa al siguiente módulo.

Trampa de grasas y aceites

La estructura diseñada para trampa de grasas y aceites cuenta con 1 m de ancho, 1.50 m de largo, 0.60 m de alto y un volumen útil de 0.9 m³. El agua entra en la

primera cámara, todo el material flotante como las grasas, ascienden en el segundo compartimento de la cámara ya que son más livianas (menos densas) que el agua, mientras que el material más pesado se asienta como lodo en el fondo de la trampa de grasa (Tacias Pascacio, 2016). Por último en el tercer compartimento de la cámara, el agua clarificada sin grasa sale como efluente (Hernández García, 2017).

Módulos de contacto y estabilización, reducción de nitrógeno

Claros Bedoya (2012) y Palma-Acosta (2005) indican que los módulos deben dividirse en dos secciones, contacto (MC) y estabilización (ME). Se calcularon los parámetros de operación para la proyección de los módulos (cuadro 6).

Cuadro 6. Cálculos para el dimensionamiento de los módulos

Parámetro	MC	ME
Vol. (m ³)	1.80	9.60
TRH (hr)	0.75	4.00
Q (m ³ /h)	2.40	2.40
CVa (g DBO/m ³ ·d)	346.67	65.00
pH (UpM)	6-9	6-9
T (°C)	22-40	22-40

Arias-Hoyos (2017), indica que la cuantificación del volumen útil, es fundamental para el funcionamiento del sistema. Para el cálculo de los volúmenes útiles se tomó como base las dimensiones de cada módulo, obteniendo 1.80 y 9.60 m³ para el MC y ME respectivamente. El valor del caudal es de 2.4 m³/h. Con los cálculos antes mencionados nos arroja un TRH de 8 hrs y la CVa que entrará al sistema es de aproximadamente 346.67 g DBO/m³.d. En el MC, también denominado aerobio, se encuentra una población bacteriana destinada a procesar este nutriente (Perez- Sandoval, 2019). En este módulo predominan procesos de nitrificación y asimilación de nitrógeno natural (N-NAT) (Claros Bedoya, 2012). En el ME se espera un incremento de N-NAT y una reducción en la carga nitritos (N-NO₂) y nitratos (N-NO₃) (Van Haandel y Marais, 1999). Dado que es una zona donde la disponibilidad de OD es nula es posible que se presentarán procesos de amonificación que generará el incremento de la carga de N-NAT (Ferrer Polo, 2018). Se han evaluado dos sistemas de lodos activados para la reducción de materia orgánica carbonácea y Nitrógeno Amoniacal Total (NAT) en aguas residuales. Donde implementó un sistema de lodos activados similar a este trabajo con TRH de 7 hrs, CVa de 260 gDBO/m³.d., alcanzando eficiencias de 38% de remoción de NAT. Amorocho González (2014). De igual forma Kutty (2011), diseñó una propuesta de un sistema de lodos activados similar con TRH de 8 hrs, obtuvo 60% de eficiencia de remoción en este parámetro.

Sedimentador secundario

Este sedimentador estará conectado directamente al HFSSH y dosifica el volumen de agua que recibirá el sistema. El sedimentador secundario tiene dimensiones de 1 m de ancho, 2 m de largo y 1.50 m de alto, con un volumen útil de 3 m³. El

sedimentador secundario cuenta con purga de lodos que permite la cosecha de lodos Rojas (2002).

Humedal Artificial de Flujo subsuperficial Horizontal

Cálculos y dimensionamiento

El diseño fue calculado para tratar aguas residuales municipales con un caudal de hasta 2.4 m³/h. Esto corresponde a un número aproximado de 600 personas. Se plantea en el diseño que el humedal trabaje con un TRH de 168 hrs., con una concentración en la CVa de 37.14 g DBO/m³.d (Calheiros *et al.*, 2007). El HFSSH tiene dimensiones de 21 m de ancho, 32 m de largo y 0.60 m de altura, con un volumen útil de 403.20 m³. López-Angarita (2018), indica que el éxito de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal o vertical se debe a la rápida circulación de agua por medio granular. Como materiales de construcción, se propone la colocación de tubería de PVC-U (Policloruro de vinilo) en la alimentación, distribución y salida del sistema, las especificaciones consideradas se enlistan a continuación:

Cuadro 7. Especificación de materiales para obra civil HFSSH (Neira Peña, 2016),

Bordos	Canales	Módulos	Sedimentadores
Concreto hidráulico	Tabique rojo	Tabique rojo	Tabique rojo
Arcillas	Varilla corrugada	Varilla corrugada	Varilla corrugada
Pasto	Concreto	Concreto	Concreto

Cuadro 8. Especificación de tuberías PVC para alimentación HFSSH (EPA, 2000).

Elemento	Material	Características
Tubería	Policloruro de vinilo (PVC)	Resistente y durable para su utilización como tuberías subterráneas y superficiales. Alta durabilidad y bajo peso que lo hacen adecuado para tuberías
	Polietileno	
Cementantes	Cemento portland tipo II	Resistente a los sulfatos

Macrófitas implementadas en el diseño

En el cuadro 9 se muestran porcentajes de remoción de la para la especie *Typha*.

Cuadro 9. Desempeño en la remoción especie *Thypa*. (Vera et al., 2016)

Tipo de influente	Carga (g N/m ² .d)	Tipo de humedal	Especie macrófita	% de eliminación
Aguas municipales	0.14 – 0.29	HFSS	<i>Typha latifolia</i>	19-41
Lechería	2.3 – 18.5	HFSS	<i>Typha latifolia</i>	60-84
Efluente pesquero	0.5	HFSS	<i>Typha latifolia</i> <i>Dominguensis</i>	47-62

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA

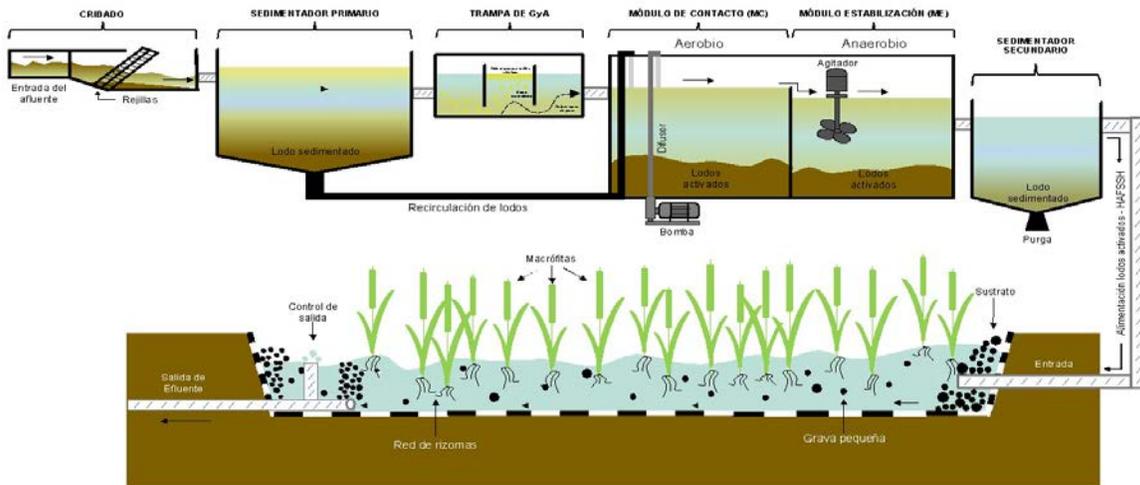


Figura 2. Esquema general del HFSSH.

Conclusión

Los HA al requerir poco o nulo suministro de energía externa, se pueden adaptar con relativa facilidad, puesto que representan una inversión mínima y requieren poca operación, sin embargo, dentro de sus desventajas es que requieren de extensiones considerables de terreno, además de bajas eficiencias en la remoción de nitrógeno. Por otra parte, los tratamientos biológicos mediante lodos activados configurados en sistemas aerobio-anaerobio son muy efectivos para la remoción de macronutrientes como nitrógeno y fósforo. Cuando se combinan estas dos tecnologías, se pueden diseñar de tal manera que los lodos activados remuevan los macronutrientes, y el o los humedales artificiales se encarguen de la remoción de la materia orgánica y el excedente de nitrógeno y fósforo proveniente del sistema de lodos activados, de tal manera de cumplir con la normatividad actual.

Referencias

- Arias, C. A., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, (13), 17-24.
- Asprilla, W. J., Ramírez, J. S., & Rodríguez, D. C. (2020). Humedales artificiales de flujo subsuperficial: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de materia orgánica. *Ingenierías USBMed*, 11(3), 65-73.
- Amorocho González, E., & Sánchez Muñoz, D. A. (2014). Sistema de lodos activados para la reducción de nitrógeno amoniacal efluente de un sistema de estabilización por contacto (Doctoral dissertation).
- Arias-Hoyos, A., Hernández-Medina, J. L., Castro-Valencia, A. F., & Sánchez-Peña, N. E. (2017). Tratamiento de aguas residuales de una central de sacrificio: uso del polvo de la semilla de la m. Oleífera como coagulante natural. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15.
- Bedoya Pérez, J. C., Ardila Arias, A. N., Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 275-283.
- Calheiros, C., Rangel, A., & Castro, P. (2007). Constructed Wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research*, 41(8), 1790–1798.
- Chafloque, W. L., & Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 9(17), 85-96.
- Claros Bedoya, J. A. (2012). Estudio del proceso de nitrificación y desnitrificación vía nitrito para el tratamiento biológico de corrientes de agua residual con alta carga de nitrógeno amoniacal (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València)
- CONAGUA, 2012. Comisión Nacional del Agua/ Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Organismo de Cuencas del Pacífico Norte. Informes del estado de las presas.
- CONAGUA. (2016). Estadísticas del agua en México, edición 2015. Ciudad de México, México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2018). Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Edición 2018, 45-306.
- Crespi R. Plevich O. et al. (2005). Manejo de aguas residuales urbanas.

- Crombet, S., Pérez, N., Ábalos, A., Rodríguez, S. (2013). Caracterización de las aguas residuales de la comunidad Antonio Maceo de la Universidad de Oriente. *Cubana de Química*, 25(2), 134-142.
- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application...* Victor Dalmont
- De Dios, M. A. T., Sanginés, M. L. G. (2017). Estrategias empresariales es un micronegocio del giro mecánicos-automotriz en Guanajuato. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 1354-1359.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- EPA. (1993a). *Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment. A Technology Assessment*. United States.
- EPA. (2000b). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo libre superficial*. Washington, D.C.: Office of Water. EPA 832-F-00-024.
- Ferrer, Gabriela, Morán, Claudia, Aldana, Gerardo, & Pérez, Jhonny. (2013). Determinación del tiempo de retención hidráulica en humedales construidos de flujo horizontal usando un trazador químico. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(3), 262-271.
- Ferrer Polo, J., Seco Torrecillas, A., & Robles Martínez, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Figuroa, H. (2015). Extracción de fenol de las aguas residuales de la industria en las columnas pulsantes utilizando como relleno anillas de malla.
- Granados, M. G. F., Rodríguez, G. C., Sanchez, G. G. (2019). Comparación De Un Biorreactor Con Membranas Sumergidas Con Un Sistema Convencional De Lodos Activados Para El Tratamiento De Aguas Residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35, 57-64.
- Henze M. (1997) Waste design for households with respect to water, organics and nutrients. *Wat. Sci. Tech.* 35(9), 113–120.
- Hernández García, H., Buitrón Méndez, G., M Lopez-Vazquez, C., & J Cervantes Carrillo, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*.
- Hernández-Salazar, A. B., Moreno-Seceña, J. C., & Sandoval-Herazo, L. C. (2018). *Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender*. *RINDERESU*, 2(1-2), 75-87.
- INEGI. (2020). Veracruz, Ignacio de la Llave. 16-05-2021, de INEGI

- Jenssen, P., Maehlum, T., Krogstad, T., & Vråle, L. (2005). High performance constructed wet- lands for cold climates. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 40 (6-7), 1343-1353.
- Kutty, S., ISA, M. y León G.L.C. 2011. Removal of Ammonia-Nitrogen (NH₃-N) and Nitrate by Modified Conventional Activated-Sludge System to Meet New D.O.E Regulations. *International Conference on Environment and Industrial Innovation*. 12,103-107.
- López-Angarita, J., Tilley, A., Hawkins, J. P., Pedraza, C., & Roberts, C. M. (2018). Land use patterns and influences of protected areas on mangroves of the eastern tropical Pacific. *Biological Conservation*, 227, 82-91
- Luna-Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32-55.
- Marín-Muñiz, J. L. (2017). Humedales Construidos En México Para El Tratamiento De Aguas Residuales, Produccion De Plantas Ornamentales Y Reuso Del Agua. *Agroproductividad*, 10(5).
- Martínez, I. D. M., Silva, G. G., & Hurtado, S. H. V. (2013). Remoción de níquel y DQO presentes en las aguas residuales de la industria automotriz mediante electrocoagulación. *Revista EIA*, 10, 13-21.
- METCALF y EDDY INC (1995) Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/interamericana de España S.A. 1485 pp.
- Metcalf & Eddy I AECOM. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*, fifth edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater engineering:treatment and reuse*. New York: McGraw Hill. 1819p.
- Miranda, J. P. R., Ubaque, C. A. G., & Pinzón, J. P. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 19(46), 149-164.
- Moyano Arévalo, J. R., Naranjo Vargas, E. M., Santillán Mariño, C. J. (2018). Diseño de filtro con fibras naturales para purificación de aguas residuales de lavadora de vehículos. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (noviembre).
- Neira Peña, N. C., & Ríos Díaz, W. (2016). Diseñar un plan de aseguramiento de la calidad para el montaje de tuberías de la planta de tratamiento de agua de la central térmica Recka.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEMARNAT-1996. Establece Los Límites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Bienes Nacionales.

- Palma-Acosta, M. J., & Certain, J. M. (2005). Simulación de un sistema de fangos activados en discontinuo (SBR) para el tratamiento de aguas residuales con altos contenidos de nitrógeno. *Ingeniería y desarrollo*, (18), 61-71.
- Perez Sandoval, A. C., & Sernaque Vela, K. Y. Y. (2019). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales urbanas en ciudad de Chiclayo por medio de lodos activados con aireación extendida.
- Ponce Bonilla, S. A., Romero Romero, W. M., Yeomans, J., & Brevé, M. A. (2002). Evaluación del sistema de descontaminación de las aguas residuales del relleno sanitario de la Universidad EARTH (No. PG 32 2002).
- Ramon Vilanova, I. S. (2014). Control y Operacion de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales: Modelado y Simulacion. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*, 1(1), 8-15
- Silván, R. S., Ocaña, G. L., Margulis, R. G. B., Barajas, J. R. H., & Cerino, M. J. R. (2016). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. *Interciencia*, 41(1), 40-47.
- Tacias Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016). Evaluación y caracterización de grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: un caso de estudio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 303-313.
- Van Haandel, A. y Marais, G. (1999). O comportamento de sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação. *Campina Grande, Brasil: Epgraf*. 488p.
- Vera, A., Ramos, K., Camargo, E., Andrade, C., Núñez, M., Delgado, J., ... & Morales, E. (2016). Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando *Typha dominguensis* y *Canna generalis*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 088-095.

CAPÍTULO 4

GESTIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS, ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS E INDUSTRIALES

AUTORES

ADALBERTO GALINDO ALCÁNTARA, ANA MARÍA MENDOZA MARTÍNEZ, ANA ROSELYN PÉREZ MÉNDEZ, ÁNGEL RAFAEL LARA HERNÁNDEZ, ELIZABETH DÍAZ ÁLVAREZ, ERICK MARIO LÓPEZ MÉNDEZ, ERIK GIOVANY CRUZ VERGARA, GUSTAVO DELGADO REYES, ILSE DEYANIRA LECHUGA AMADOR, IVÁN CASTILLO HUETO, JORGE ARTURO MENDOZA SOSA, KARINA GARCÍA SÁNCHEZ, LUIS FELIPE SERNA HERNÁNDEZ, MARÍA ESTELA MONTES CARMONA, MARIO PÉREZ ACOSTA, MARTÍN NIEVA CASTILLO, MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ, NOHRA VIOLETA GALLARDO RIVAS, PAOLA MONSERRAT GARCIA GARCIA, PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ, RODOLFO ALBERTO ROMÁN MONTANO, ROMEO GARCÍA CRUZ, SILVIA DEL CARMEN RUIZ ACOSTA, ULISES PÁRAMO GARCÍA

PROCESO DE SECADO CONVECTIVO DE GUAJE VERDE (LEUCAENA LEUCOCEPHALA) Y FORMULACIÓN DE SALSA DESHIDRATADA

ERICK MARIO LÓPEZ MÉNDEZ¹, MARTÍN NIEVA CASTILLO², ELIZABETH DÍAZ ÁLVAREZ³

Resumen

El guaje o leucaena es un árbol perteneciente a la familia de las leguminosas que crece en diversas regiones de la República mexicana. En el estado de Puebla, el guaje, es considerado como un cultivo de traspatio que tiene potencial agroindustrial y/o nutracéutico puede ser de gran beneficio para productores y sociedad en general. El objetivo del presente trabajo fue, desarrollar un producto a base de guaje deshidratado de gran estabilidad y nutricional. Se llevó a cabo una evaluación fisicoquímica y bromatológica de semillas de guaje fresco y seco. El proceso de secado convectivo de las materias primas, guaje (*Leucaena* spp.), chile serrano (*Capsicum annuum* 'Serrano') y cilantro (*Coriandrum sativum*), se realizó en un secador de charolas a 70°C por 4-6 h. Al término del secado, las muestras secas fueron empacadas y almacenadas a temperatura ambiente hasta su posterior uso. La humedad del guaje, en base húmeda, fue de 70.15% y la humedad en guaje seco fue de 7.61%. No hubo variación significativa en el pH (5.45-5.65) mientras que los valores de sólidos solubles totales disminuyeron (12.5 a 3). El guaje fresco posee un adecuado contenido de fibra (18%) y un menor contenido de grasas (<1%). Para la formulación de la salsa deshidratada se consideró una proporción 80, 15 y 5 % de guaje, chile y cilantro seco y molido, respectivamente. Se obtuvo un producto seco, formulado y rehidratado con adecuado balance sensorial. Se pretende complementar la evaluación fisicoquímica, nutrimental y funcional del producto obtenido.

Palabras clave: deshidratado, guaje, salsa, chile serrano, cilantro.

Introducción

En México se cuenta con una gran riqueza productiva y diversidad vegetal, propicia para ampliar las investigaciones de la calidad nutricia y nutracéutica de alimentos autóctonos, como el guaje (*Leucaena* spp.) que redundar en la conservación de la identidad cultural del país, desarrollo rural (Duché-García et al., 2017) y al aprovechamiento agroindustrial de especies subutilizadas como el guaje (Sethi & Kulkarni, 1995; Román-Cortés et al., 2009). Son diversos los países

¹ Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros (UTIM). Prolongación Reforma 168, Barrio Santiago Mihuacán, C.P. 74420, Izúcar de Matamoros, Puebla. erickm.lopez@utim.edu.mx

² Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros (UTIM). Prolongación Reforma 168, Barrio Santiago Mihuacán, C.P. 74420, Izúcar de Matamoros, Puebla.

³ Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros (UTIM). Prolongación Reforma 168, Barrio Santiago Mihuacán, C.P. 74420, Izúcar de Matamoros, Puebla.

subdesarrollados (países de Centroamérica , África y Asia) que basan su alimentación en los productos regionales, como el guaje, debido a su disponibilidad, accesibilidad y composición bioquímica que contribuya a la mejora en la nutrición de los consumidores (proteínas, fibra y vitamina A) y con propiedades medicinales (enfermedades estomacales, contracepción, anticancerígeno, antimicrobiano, antiinflamatorio y diabetes) (Sethi & Kulkarni, 1995; Román-Cortés et al., 2009; Chowtivannakul, Srichaikul, & Talubmook, 2016; Peralta-Juárez et al., 2017).

Las principales especies de guaje, *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit (guaje verde) y *Leucaena esculenta* bent. (guaje rojo), se encuentran distribuidas en el centro y sur de México, desde la península de Yucatán hasta el Istmo de Tehuantepec (Román-Cortés et al., 2009). Los estados de la República Mexicana de mayor producción son Morelos y Puebla (SIAP, 2018). El follaje de los árboles de guaje son empleados en la alimentación animal mientras que las hojas y semillas en la alimentación humana (Sethi & Kulkarni, 1995; Vite et al., 2019). Las semillas frescas se consumen crudas o cocidas en platillos tradicionales (salsas o guaxmole) dependiendo de su frescura o madurez (Román-Cortés et al., 2009; Peralta-Juárez et al., 2017). Debido a la temporalidad y bajo costo (tanto de cosecha como de comercialización) de esta leguminosa, no se aprovecha de manera integral. En la búsqueda de alternativas de procesamiento del guaje, el secado convectivo es una de las principales técnicas de deshidratación para conservación de alimentos.

El presente trabajo tiene como objetivo obtener un producto a partir de guaje deshidratado por método convectivo y su posterior evaluación y formulación en un producto característico (salsa).

Materiales y Métodos

Materia Prima: Para el presente estudio se utilizó guaje verde (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit). chile serrano (*Capsicum annum* 'Serrano'), cilantro (*Coriandrum sativum*), cloruro de sodio y cloruro de calcio (Golden Bell, México).

Caracterización de la vaina y semilla de guaje. Para esta metodología se empleó guaje verde (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) debido a la estacionalidad de este tipo de guaje. Se realizó un muestreo aleatorio simple, considerando 20 vainas de guaje como una muestra representativa (de 65 vainas) de las cuales, se realizaron mediciones de peso, largo y ancho tanto de la vaina como de las semillas, así como la determinación del número de semillas por vainas y el número de vainas por racimo. Para el ancho de la vaina se determinaron tres mediciones correspondientes a cada tercio de esta. Considerar a la vaina como la cáscara más las semillas. El largo de la semilla como diámetro polar en el cual se determinó del extremo apical hasta la base y el ancho de la semilla se consideró el diámetro ecuatorial, medio en la porción media del fruto (Maldonado-Peralta, 2020). Para las mediciones, se utilizó un vernier de botón fabricado de acero marca Star Media con una escala de 18 cm. El peso se determinó usando una báscula

compacta marca Ohaus, (modelo CS200; México) con una tolerancia máxima de 200 g y una precisión de 0.1 g.



Figura 1. Guaje verde (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit)(a) y caracterización de vainas de guaje (b).

Análisis fisicoquímicos. Se realizaron los siguientes análisis: pH (NMX-F-317-NORMEX-2013), sólidos solubles (NMX-F-112-1970) y actividad de agua (A_w ; NMX-F-621-NORMEX-2018). La medición de los sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) se determinaron en un refractómetro marca ATAGO (modelo Master T). Para la medición del pH se utilizó un potenciómetro marca HANNA (modelo HI991300). Para la determinación de actividad de agua (A_w), se utilizó un higrómetro AQUA-LAB modelo 4TE (Decagon Devices Inc. Pullman, WA, USA) con control de temperatura interna ($15-50 \pm 0.2^{\circ}$ C).

Análisis bromatológicos. Los análisis realizados a guaje fresco fueron: determinación de humedad por el método de la estufa (NMX-F-083-1986), determinación de cenizas (NMX-F-607-NORMEX-2013), determinación de fibra (NMX-F-613-NORMEX-2017) y determinación de grasas (NMX-F-615-NORMEX-2004).

Pretratamientos al secado convectivo: De acuerdo a experiencias de pretratamiento con y sin escaldar y deshidratación osmótica de estas materias primas (en inmersión en sal o claro de calcio a 5 o 10% p/V, para este trabajo; el guaje y el chile serrano, sin escaldar, se sometieron a una deshidratación osmótica con una solución salina al 10% p/V en una relación 1:2 (materia prima: solución salina) a 50° C por 20 min.

Procesos de secado. Para el proceso de secado de las materias primas se utilizó un secador de bandejas marca Mapisa (México) en condiciones de tiempo y temperatura considerando cinéticas de secado previas a este trabajo. Las experiencias de secado se realizaron a una temperatura de 60° C en un tiempo estimado de 6, 5 y 4 h para guaje, chile serrano y cilantro, respectivamente. La humedad final considerada debe ser de $<10\%$. Posterior al secado, las muestras se guardaron a vacío para su posterior empleo en la formulación de la salsa. La Figura 2, presenta evidencia de la disposición de la materia prima previa a deshidratarla.

Formulación de salsa de guaje. antes de formular la salsa se realizaron pruebas de hidratación de guaje deshidratado donde se evaluó el tiempo de molienda (3, 7, 11 min), relación de disolución en agua (1:3, 1:5) y tiempo de rehidratación (5, 15, 25), la variable independiente fue la temperatura de hidratación (60° C). En el proceso,

se utilizó un molino para granos de café Hamilton Beach 80393 (México). A partir de tres ingredientes secos, guaje verde, chile serrano y cilantro, se formuló la salsa considerando una base de 100 g en total; siendo el guaje ,seco y molido, el de mayor proporción.



Figura 2. Experiencias en el secado convectivo de guaje, chile y cilantro. En orden de Izquierda a derecha y de arriba a abajo, se presenta el proceso de deshidratación osmótica de guaje, guaje molido, secador de charolas y disposición para el secado de guaje, chile y cilantro.

Resultados

En la Figura 3, se muestra el proceso de secado de guaje y la formulación de la salsa deshidratada. Por otro lado, en el Cuadro 1, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de guaje verde. Los datos con más variación en guaje son peso, número de vainas y rendimiento de semillas. Las vainas de guaje verde son oblongas, verdes, cuando están tiernas y cafés cuando están maduras. Presentaron un ápice entre apiculado y obtuso, con 20 a 25 semillas. Estos datos corresponden a la literatura pero diferente en dimensiones de largo y número de vainas, según lo reportado por algunos autores (Zárate-Pedroche, 1994); donde se reporta vainas más largas pero correspondiente en dimensión de ancho (1.2 a 1.5 cm). La semilla de guaje verde presenta una forma ovoide, con una cubierta de color verde oscura ligeras tonalidades en amarillo, en el contorno, estos resultados concuerdan con lo propuesto por Seth & Kulkarni (1995) y por Zárate-Pedroche (1994). Hoy en día, existen pocos trabajos relacionados con la caracterización de la semilla de guaje para consumo humano por lo que, los valores obtenidos son un referente a futuras investigaciones.



Figura 3. Proceso de secado convectivo del guaje y formulación de la salsa deshidratada.

Cuadro 1. Valores mínimos (Min), medio (M), máximo (Max) y coeficiente de variación de variables cuantitativas evaluadas en la caracterización de guaje verde.

Variables determinadas	Vaina(s)				Semilla(s)			
	Min	M	Máx	C.V.	Min	M	Máx	C.V.
Peso (g)	4.51	5.72	7.00	11.29	0.06	0.10	0.14	19.27
Largo (cm)	28.30	31.91	36.60	5.61	1.00	1.24	1.80	9.49
Ancho (a1; cm)	1.44	1.84	2.33	12.96	0.58	0.72	0.86	8.71
Ancho (a2; cm)	2.33	2.52	2.73	5.06				
Ancho (a3; cm)	1.50	2.06	2.25	9.44				
Número de vainas/racimo y semillas/vaina	6.00	8.00	12.00	25.00	20.00	22.55	25.00	7.26
Rendimiento (%)	-	-	-	-	20.31	38.02	48.98	21.25

a1, a2 y a3: ancho del primero, segundo y tercer tercio de la vaina, para el caso de la semilla solo fue una determinación. C.V.:porcentaje del Coeficiente de Variación

Resultados de los análisis fisicoquímicos y bromatológicos en muestras de guaje fresco y seco.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bromatológicos del guaje verde se presentan en el Cuadro 2. En cuanto a los valores fisicoquímicos, los valores de pH no tuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$). En el caso de los sólidos totales ($^{\circ}$ Brix), los valores disminuyeron al secarse la semilla de guaje verde, lo que en otros matrices alimentarias es lo contrario; los sólidos solubles totales aumentan conforme se evapora el agua contenida en el fruto.

Los valores de humedad obtenidos ($70.15 \pm 0.73\%$) fueron verificados con respecto al cálculo de cinéticas de secado obteniendo valores similares a los analizados por normatividad. En el caso del guaje seco, el valor de la humedad promedio fue $7.61 \pm 0.24\%$; cantidad mayor que la analizada por Román-Cortés y colaboradores (2014) que obtuvieron un valor de 2.07 % de humedad para harina de semillas de guaje secas.

Cuadro 2. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bromatológicos a guaje verde.

Variables	Fruto fresco				Producto seco			
	Análisis fisicoquímicos							
	Min	M	Máx	C.V.	Min	M	Máx	C.V.
pH	5.19	5.45	5.70	0.02	5.60	5.65	5.70	1.25
Aw	0.99	0.99	0.99	0.00	0.52	0.52	0.52	0.00
°Brix	12	12.5	13	4.00	2	3	4	33.33
Acidez (%)	0.072	0.075	0.078	6.14	ND			
Variables	Análisis bromatológicos							
	Min	M	Máx	C.V.	Min	M	Máx	C.V.
Humedad (%)	69.38	70.15	70.82	1.17	7.44	7.61	7.78	3.14
Grasas (%)	0.85	0.92	0.96	6.24	0.30	0.35	0.41	21.95
Fibra (%)	12.54	13.23	13.67	4.55	0.77	0.92	1.11	18.60
Cenizas (%)	1.61	1.67	1.72	3.24	16.61	17.10	16.85	1.47

ND: no determinado. Min: valor mínimo; Max: Valor máximo; M: valor medio; C.V.: coeficiente de variación.

Los valores de grasa, fibra y cenizas de guaje verde fresco son diferentes a los obtenidos por otros autores (Sethi & Kulkarni, 1995; Ahmed & Abdelati 2009; Román-Cortés et al., 2014), sobre todo en valores correspondientes a grasa y cenizas. La mayor comparación se da con el guaje seco pues hay pocos trabajos relacionados con análisis fisicoquímicos y bromatológicos para guaje.

Con respecto a los valores de grasa, fibra y cenizas de guaje verde seco; los valores obtenidos en este trabajo son mas bajos que los presentados por Román- Cortés y colaboradores (2014). Los valores obtenidos por estos autores son 2.11%, 10.07% y 4.88 %, respectivamente; para harina de semillas de guaje.

Las diferencias entre los valores de los parámetros bromatológicos para guaje seco pueden estar relacionados con el método de secado empleado.

Román-Cortés y colaboradores (2014) realizaron el análisis proximal de las semillas de guaje secas después de deshidratarlas en un horno a 55 °C sin pretratamientos (no se especifica). Por su parte, Ahmed & Abdelati (2009) obtuvieron valores de grasa, fibra y cenizas de semillas de *Leucaena leucocephala* de 5.6%,

13.2% y 4.5 %, respectivamente. Los valores son mayores a los mencionados en este trabajo, siendo el análisis de fibra la excepción, si se compara con el valor obtenido en este trabajo para guaje verde.

Las especies de leguminosas, y este caso guaje (*Leucaena* spp.) se distinguen por poseer un contenido de proteínas que va del rango de 24.5 a 46 % (Sethi & Kulkarni, 1995; Ahmed & Abdelati, 2009; Meena Devi, Ariharan & Nagendra, 2013; Román-Cortés et al., 2014), valores incluso mayores que otras legumbres como frijol, chícharo o haba (Román-Cortés et al., 2014). En este trabajo se tuvo problemas para obtener el contenido de proteínas cruda a partir del valor total de nitrógeno, determinado por el método micro-Kjeldahl. Los valores preeliminares obtenidos con esta técnica fueron menores al 10%; por lo que se propone realizar nuevamente la determinación de proteína cruda resolviendo los inconvenientes suscitados.

Resultados del proceso de secado de guaje, chile y cilantro.

El rendimiento promedio final del proceso de secado con guaje molido fue de $26 \pm 2.14\%$, respectivamente; mientras que, los valores promedio de ganancia en peso fue de $12.22 \pm 0.06\%$. De acuerdo a trabajos previos de secado de guaje, donde se deshidrataba en forma entera o molida, después de la deshidratación osmótica con sal o cloruro de sodio; no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$), si se secaba guaje entero o molido. Mientras que en la evaluación sensorial (aspecto general, sabor y color; el guaje molido y pretratado en una salmuera al 10 % y sin escaldar resultó con mejor sabor y color no así para el rendimiento. Los pretratamientos del secado de guaje con cloruro de calcio, presentaron mayor rendimiento pero sabor desagradable después de la rehidratación de guaje seco, es por ello que se planteó deshidratar guaje verde molido y al 10% de solución



Figura 4 Guaje verde deshidratado sin escaldar y pretratado en inmersión con salmuera al 10% a temperatura de 50 °C por 30 min.

En el caso de los demás ingredientes, chile y cilantro, estos también fueron pretratados con salmuera al 10% en inmersión a 50°C por 30 min. El rendimiento para chile durante el proceso de secado fue de $7 \pm 1.22\%$, mientras que para cilantro fue de $42.5 \pm 0.5\%$.



Figura 5. Chile serrano deshidratado sin escaldar y pretratado en una salmuera al 10%

Formulación de salsa de guaje.

Para la formulación de la salsa se estableció con base en tres ingredientes, guaje, chile y cilantro deshidratado en las proporciones de 80%, 15% y 5 %, respectivamente.

Para la formulación, el mejor tiempo de molienda de los ingredientes fue de 7 min. Posteriormente, se estableció la mejor relación para hidratar el producto en polvo, esta fue 1:5. se empleó 100 g de la mezcla de ingredientes en polvo por 500 ml de agua destilada a 60 °C por 15 min. A continuación se presentan algunas imágenes que muestran el guaje seco después del proceso de molienda de algunos tratamientos, incluyendo el definitivo (pretratado y en inmersión con salmuera al 10%) así como las pruebas de rehidratación de la mezcla de ingredientes en polvo.



Figura 6. Molienda de guaje seco, la ultima imagen corresponde a la molienda de guaje seco pretratado al 10% con sal por 7 min en un molino de café



Figura 7. Pruebas de rehidratación de mezclas de ingredientes para salsa de guaje

La evaluación sensorial realizada, entre miembros del equipo y personal docente y administrativo, determinó que, la salsa de guaje obtenida mediante esta tecnología es agradable al paladar; tanto el olor, sabor y color que, es característico de una salsa de guaje con notas de picor en el aroma y sabor.



Figura 8. Rehidratación de la mezcla final de ingredientes para salsa de guaje

En términos generales, se logró obtener un producto en polvo adecuado en su rehidratación y característico a la salsa de guaje preparada con ingredientes frescos. En sucesivos proyectos con este tipo de producto, se pretende ajustar algunas variables del proceso para poder incrementar la sensación de picante en el producto seco, así mismo; evaluar las propiedades fisicoquímicas, bromatológicas y funcionales de este producto.

La semilla de guaje verde podría ser fuente alternativa o no convencional de proteínas y fibra además de componentes fenólicos con beneficios para el consumidor debido a la capacidad antioxidante de estos (Benjakul et al., 2013; . En investigaciones sucesivas, se tendrá que evaluar el proceso de secado en la concentración de componentes antinutritivos como mimosina, aminoácido no proteico y tóxico presente en las semillas de guaje (*Leucaena spp*). en un valor de 2-10% y en el follaje de 0.5-6.9%. Este aminoácido pueden causar alopecia, retraso del crecimiento, cataratas, disminución de la fertilidad y puede ser mortal en animales no rumiantes (Benjakul et al., 2013, Vite et al., 2019).

Conclusiones

De acuerdo a la caracterización de las semilla de guaje verde frescas, los parámetros mas significativos fue el peso. Adicional a la caracterización de la semilla guaje verde, se registraron valores de peso, altura, ancho de la vaina así como el número de semillas; datos que no se evalúan, de manera común, en trabajos relacionados con la caracterización del guaje pero que son importantes para conocer y evaluar el desarrollo del mismo.

En relación a los análisis fisicoquímicos y bromatológicos, la mayoría de los valores obtenidos, en fresco o secos, son correspondientes con la bibliografía y trabajos de investigación afines, a excepción de grasa, cenizas y proteína. De la concentración de proteína, no se presentan valores concluyentes por lo que es necesario realizar nuevamente este análisis

Se logró establecer un procedimiento y formulación adecuada para la generación de una salsa de guaje deshidratado, con características sensoriales características. De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo y los mostrados por investigaciones afines, la salsa deshidratada de guaje verde representa una alternativa agroindustrial, para el productor, y nutracéutica, para el consumidor; en busca una fuente alternativa de proteínas, fibra y antioxidantes.

Referencias

- Ahmed, M. E., & Abdelati, K. A. (2009). Chemical composition and amino acids profile of *Leucaena leucocephala* seeds. *International Journal of Poultry Science*, 8(10), 966-970.
- Benjakul, S., Kittiphattanabawon, P., Shahidi, F., & Maqsood, S. (2013). Antioxidant activity and inhibitory effects of lead (*Leucaena leucocephala*) seed extracts against lipid oxidation in model systems. *Food science and technology international*, 19(4): 365-376. Doi: 10.1177/1082013212455186.
- Chowtivannakul, P., Srichaikul, B., & Talubmook, C. (2016). Antidiabetic and antioxidant activities of seed extract from *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Agriculture and Natural Resources*, 50(5): 357-361. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.06.007>
- Duché-García, T. T., Bernal-Mendoza, H., Ocampo-Fletes, I., Juárez-Ramón, D., & Villarreal-Espino Barros, O. A. (2017). Agricultura de traspatio y agroecología en el proyecto estratégico de seguridad alimentaria (PESA-FAO) del estado de Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(2): 263-281.
- Meena Devi, V. N., Ariharan, V. N., & Nagendra Prasad, P. (2013). Nutritive value and potential uses of *Leucaena leucocephala* as biofuel—a mini review. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 4(1): 515-521.
- Peralta-Juárez, I., Gómez-Campos, A., Romero-Castillo, P. A., & Reyes-Dorantes, A. (2017). Anthropocentric use of the guaje *leucaena esculenta* (Moc. & Sessé Ex. Dc.) Benth, in two communities in the mixteca baja region of Oaxaca, Mexico. *Polibotánica*, (43): 349-364.
- Román-Cortés, N., García-Mateos, M. D. R., Castillo-González, A.M., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de Guaje (*Leucaena* spp.): Un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo, Serie horticultura*, 20(2): 157-170. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.07.023.
- Sethi, P., & Kulkarni, P. R. (1995). *Leucaena leucocephala* a nutrition profile. *Food and Nutrition bulletin*, 16(3): 1-16.
- SIAP. (2018). cierre agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Vite, C., Martínez, P. A., Cortés, E., Purroy, R., Palma, J. M., & del Pozo, P. P. (2019). *Leucaena leucocephala* (LAM.) de wit especie clave para una producción bovina sostenible en el trópico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2): 331-357.
- Wardatun, S., Harahap, Y., Mun'im, A., Saputri, F. C., & Sutandyo, N. (2020). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit seeds: a new potential source of sulfhydryl compounds. *Pharmacognosy Journal*, 12(2): 298-302. doi: 10.5530/pj.2020.12.47.
- Zárate-Pedroche, S. (1994). Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología serie Botánica*, 65(2): 83-162.

PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE CONTROL REMOTO NO INVASIVO DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO MEDIANTE INFRARROJO

ILSE DEYANIRA LECHUGA AMADOR

Resumen

La exposición a climas cálidos es la variable fundamental que impulsa a adquirir un equipo de aire acondicionado (Lepure, 2018), y sin duda la mayor preocupación del adquirente es la cantidad de energía que este consumirá. Si bien el objetivo de este trabajo no es medir el ahorro de energía. Es indudable que el manejo programado y a distancia de los equipos de aire acondicionado llevará a cabo ahorros importantes de energía.

En el presente artículo se detalla el desarrollo del prototipo de un sistema de control remoto no invasivo de equipos de aire acondicionado mediante infrarrojo. Se elige la tecnología infrarroja debido a su bajo costo, versatilidad y porque la mayoría de los equipos en los que será implementado ya cuentan con ella.

La construcción de este prototipo tiene un doble propósito. El primero fue que proporcionara al menos la misma funcionalidad de los controles remotos con los que cuentan los equipos de aires acondicionados.

El segundo propósito fue integrarlo (junto con otros módulos) en un proyecto para el manejo automático de equipos de enfriamiento en grandes espacios cerrados con la finalidad de dar un mayor alcance al inicialmente planteado. Con este doble propósito se busca que el prototipo ayude a hacer un uso más eficiente de los equipos de aire acondicionado, gracias a la homogenización de la temperatura, lo que redundaría indirectamente en ahorro energético.

Palabras clave: Control remoto, ESP32, infrarrojo, minisplit.

Introducción

El mercado de refrigeración y aire acondicionado es un gran consumidor de energía eléctrica. El enfriamiento de espacios en los últimos años ha ido en aumento y la eficiencia de los equipos de aire acondicionado tiene un gran impacto ambiental. En (Lepure, 2018) se hace un análisis donde sugiere que una mejora del 30% en el rendimiento global de los equipos de aire acondicionado para 2030, reduciría la demanda máxima de electricidad en una equivalencia a 710 centrales eléctricas de tamaño mediano. La mayoría de los equipos de aire acondicionado actualmente instalados y en el mercado no cuenta con avances tecnológicos necesarios para cumplir esta meta. Lo que vuelve de importancia proponer sistemas aplicados a la integración de diferentes tecnologías que generen confort, seguridad, ahorro energético y además que sean de bajo costo. La finalidad es que el prototipo descrito en el presente artículo sea integrado con otros módulos en un proyecto de manejo automático de equipos de enfriamiento en grandes espacios cerrados. El proyecto que integra este prototipo reduce el tiempo de uso de equipos de aire acondicionado, gracias a la homogenización de la temperatura, lo que implica ahorro energético.

En (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018) se menciona que, para satisfacer la necesidad de enfriamiento en espacios cerrados como entornos residenciales, pequeños comercios y edificios, se comercializan sistemas de aire acondicionado de dos unidades denominados minisplit, el 45% de los equipos de aire acondicionado en el país son de este tipo.

La mayoría de los minisplit que se contabilizan en (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018) fueron adquiridos años atrás, por lo cual la tecnología con la que cuentan no contiene elementos que propicien el ahorro de energía. Por lo que, si se busca que estos equipos contribuyan a un ahorro energético sin invadir su interior, es necesario previamente establecer una comunicación externa que permita controlar todas las funciones de estos.

El prototipo descrito en el presente documento se utiliza actualmente de manera individual para el control remoto manual de los equipos de aire acondicionado. Adicionalmente puede ser implementado posteriormente en sistemas domóticos e inmóticos para el control automático de este tipo de sistemas.

Materiales y Métodos

En el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología mostrada en la Figura 1. Cada actividad se indica en un recuadro azul y se explican posteriormente. Los recuadros en color blanco indican las herramientas necesarias (equipos o programas), utilizados para la realización de cada una de las actividades:

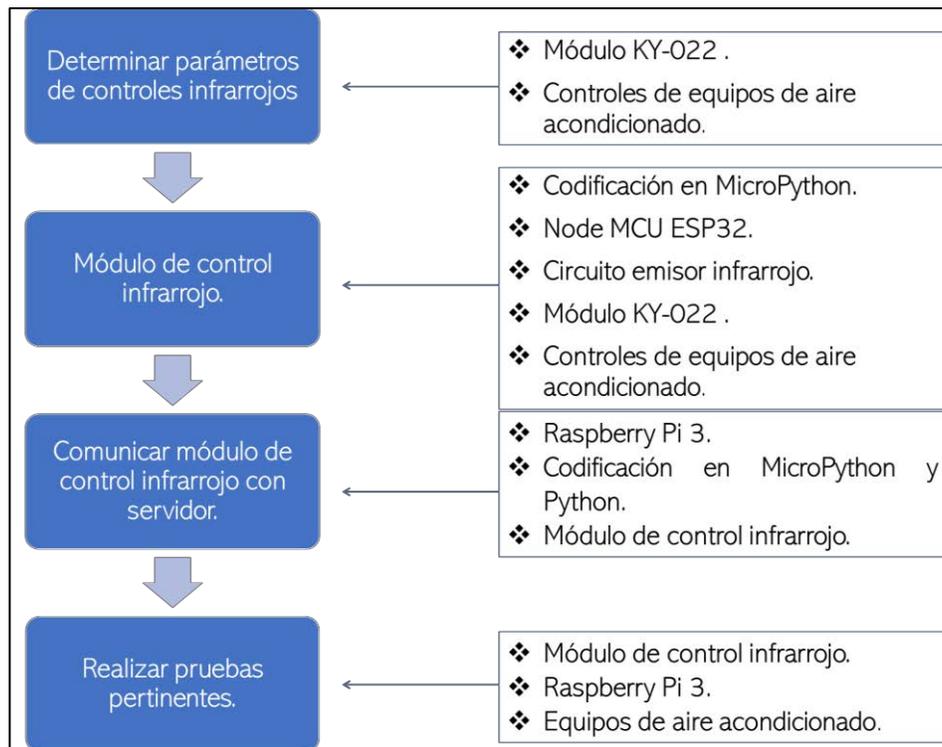


Figura 1 Metodología implementada en el proyecto

Determinar parámetros de controles IR

Debido a la falta de información en fuentes confiables de protocolos de comunicación infrarroja se utilizó un módulo receptor de infrarrojo para sistemas de control remoto KY-022, para determinar los parámetros con los que trabajan los controles de equipos de aire acondicionado.

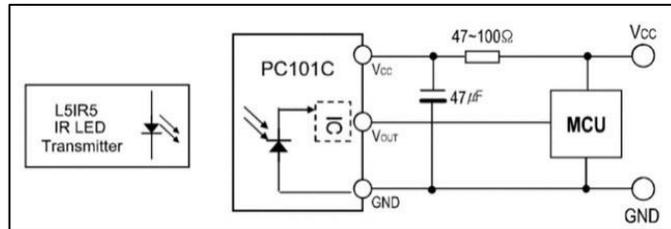


Figura 2 Diagrama eléctrico módulo KY-022. (Evercolors)

El módulo KY-022 consta de un sensor TL1838 (PC101C). Dicho sensor se conectó como lo muestra la Figura 2, la señal demodulada de salida (VOUT) puede decodificarse directamente mediante un sistema embebido, para lo cual se emplea la Node MCU ESP32.

De acuerdo con la hoja de datos [8] del sensor, este debe recibir una ráfaga de pulsos a 37.9 kHz, determinando así la frecuencia a la que trabajan los controles remotos, dato que se toma para poder diseñar el módulo de control infrarrojo. En la Figura 3 se puede ver un ejemplo de la ráfaga de señales que debe ser enviada por el emisor infrarrojo, para que el módulo utilizado en este prototipo pueda determinar los parámetros de esta.

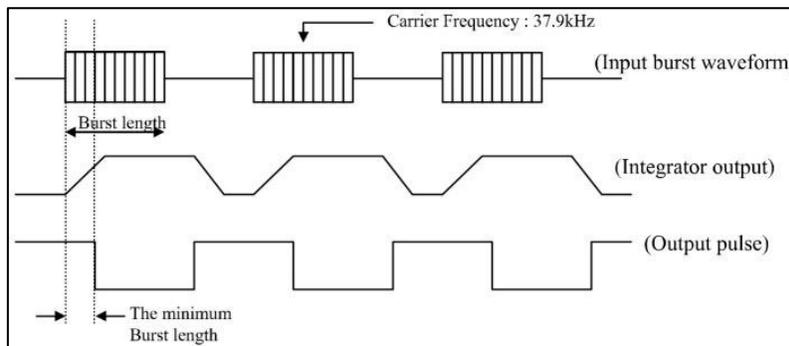


Figura 3 Señal que debe ser enviada por el emisor IR al módulo KY-022

Diseñar módulo de control remoto IR

El módulo de control infrarrojo está conformado de dos partes, el emisor infrarrojo y el decodificador de señales infrarrojas. El diseño del módulo de control se basa en el sistema embebido Node MCU Esp32, con el firmware MicroPython más reciente, previamente cargado.

Diseñar emisor IR

Se realiza un programa en micropython utilizando el editor MU, para obtener una señal PWM de 38kHz en un pin de salida del ESP32. Se emplea la librería machine para habilitar el pin de salida y la señal PWM, también se ocupa la librería time, para poder hacer los retardos correspondientes a cada ráfaga necesaria.

La ráfaga de señales que sale del pin (UC_OUT) de la ESP32, es amplificada por medio de un transistor 2N2222 y enviada a un LED infrarrojo, estos dispositivos están conectados como lo muestra el diagrama de la Figura 4.

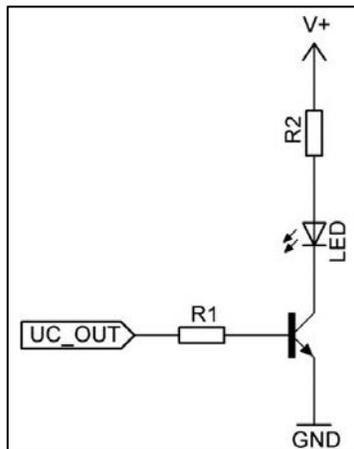


Figura 4 Circuito emisor IR

Diseñar decodificador de señales IR

Se realiza la decodificación de señales infrarrojas provenientes de controles de diferentes marcas de sistemas de aire acondicionado con el empleo del sensor KY-022 conectado al ESP32 como se muestra la Figura 5

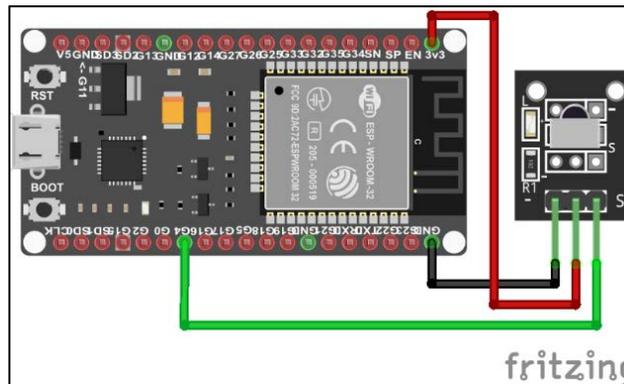


Figura 5 Circuito receptor IR

Se realiza codificación en micropython, para determinar la duración en microsegundos de cada ráfaga de señal positiva y nula como se mostró en la Figura 3. Con esta información se podrán reproducir estas señales por medio del emisor IR. La integración del control IR y el decodificador recién descrito se le nombra a partir de ahora “módulo de control remoto IR”.

Para la codificación en micropython de este decodificador se utilizan las librerías array, time y machine, de esta última se mandan a llamar los módulos Pin y time_pulse_us. La instrucción time_pulse_us cuenta el tiempo en microsegundos que dura cada pulso de señal que lee el módulo KY-022, se leen por separado pulsos positivos (señal a 38kHz) y nulos (tiempo en el que no se recibe señal), el tiempo de duración de cada pulso es almacenado en una lista como se ve en la Figura 6.

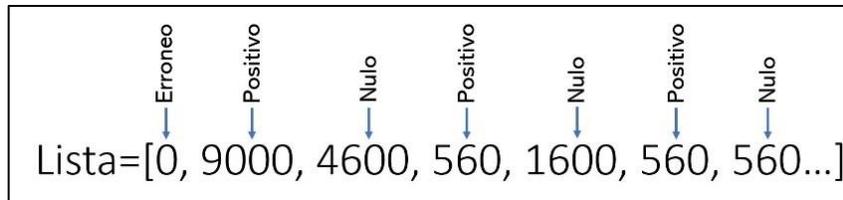


Figura 6 Vector de duración de las señales emitidas por el botón de control remoto

En esta lista se tienen tres tipos de valores, los cuales se explican a continuación:

- **Erróneos:** Todos los valores de tiempo que no cumplan con las características de duración de las señales infrarrojas se representan con el valor “0” en la lista.
- **Positivos:** Se determina como positivo el primer valor que sea diferente de cero en la lista, a partir de esa posición en la lista se toman como positivos los valores que se encuentren cada dos posiciones de este valor.
- **Nulos:** Los valores que estén en la posición de la lista siguiente a un valor positivo, serán tomados como nulo.

Comunicar módulo de control remoto IR con servidor

Se realiza la comunicación vía wifi entre el módulo de control IR y un servidor que alberga la interfaz en la cual el usuario decidirá la instrucción que debe realizar el sistema de aire acondicionado a controlar. Este servidor consta de un ordenador Raspberry Pi 3, que estará conectado vía wifi a el ESP32 por medio de sockets

Se realiza la codificación correspondiente para permitir la comunicación entre el cliente (ESP32) y el servidor, por parte del controlador es en MicroPython utilizando la librería usocket. En cambio, en el servidor se emplea Python y se ocupa la librería socket. La representación de la conexión entre estos dispositivos se muestra en la figura 7.

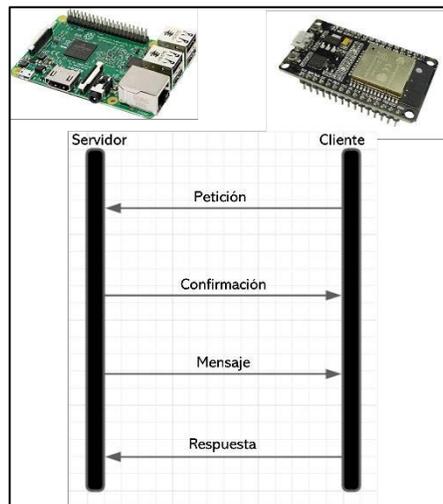


Figura 7 Comunicación entre Raspberry Pi

El servidor está programado para mantener su socket abierto y en espera de una solicitud de conexión, por lo cual cuando el cliente abre su socket para hacer la petición de conexión, el servidor puede recibirla y establecerla por medio de un mensaje de confirmación que envía al cliente. Segundos después de enviar el mensaje de confirmación se envía un segundo mensaje, este contendrá la acción

que debe ser realizada por el cliente, de acuerdo con lo establecido por el usuario por medio de la aplicación de escritorio contenida en el servidor. Por último, si el cliente logra realizar la acción que fue recibida, envía una respuesta de confirmación y cierra su socket.

Resultados y Discusión

Estado del arte

Este prototipo se implementó como una red de módulos individuales de control infrarrojos para equipos de aire acondicionado tipo minisplit. Dichos controles son no invasivos y están conectados a un servidor web local, buscando hacer posible un mejor manejo a distancia de los parámetros del equipo. Debido al alto impacto que tienen los minisplit desde el punto de vista energético, existen gran variedad de investigaciones que abordan temáticas sobre el control de estos equipos. A continuación, se discuten algunos de estos trabajos:

Sistemas de control Infrarrojo (IR)

Los sistemas de control IR actualmente se han vuelto populares por los investigadores, ya que la mayoría de los dispositivos electrónicos traen esta tecnología integrada, necesaria para ser controlados a distancia. Los aires acondicionados no son la excepción, ya que pueden ser manejados por este tipo de sistemas.

Ventajas y desventajas de los sistemas IR

En los artículos de (Chan May, Sandoval Gio, & Peña Koo, 2016), (Morales G., Moreno, Bernal, & Serracín, 2019) y (Ruiz Ariza, 2019) especifican que ocupan el módulo receptor IR Ky-022 en conjunto con diferentes placas Arduino. Estas placas fueron empleadas para obtener los protocolos de IR con los que trabaja el aire acondicionado en cada caso. Por lo cual se puede decir que una ventaja de los sistemas IR es que existe una forma de conocer el protocolo que implementa cada uno de los equipos existentes en el mercado.

En (Chan May, Sandoval Gio, & Peña Koo, 2016) se indica que utilizan la tecnología infrarroja en conjunto con wifi para proporcionar una mayor accesibilidad al usuario. Por lo cual se puede concluir que al emplear este sistema IR en conjunto con otras tecnologías se pueden obtener los objetivos deseados para el ahorro de energía y a su vez confort del usuario.

Tipos de sistemas IR

En las investigaciones consultadas se pueden encontrar dos tipos de sistemas IR: genéricos, que son los que pueden ser utilizados en más de una marca de climas, y los adhoc que solo pueden ser empleados en una marca o dispositivo en específico.

Un ejemplo de sistema genérico es el que presenta (Villa Pérez, 2017) ya que muestra una tabla de los minisplit en los que fue implementado su controlador IR listando las marcas York, ConfortStar, Samsung y Olimpo.

En cambio (Delgado Rocha, 2019) menciona que el equipo con el que fueron llevadas a cabo sus pruebas fue “un aire acondicionado de la marca confort-Start” que utiliza un sistema adhoc. A su vez (Ruiz Ariza, 2019) utiliza el mismo tipo de sistema, refiere que para “poder evaluar el sistema en toda plenitud, se tomó un equipo de climatización marca Milexus”. De igual forma, en (Chan May, Sandoval Gio, & Peña Koo, 2016) utilizan el sistema adhoc, seleccionaron minisplits de la

marca Rheem para hacer sus experimentos. Por ultimo los autores de (Morales G., Moreno, Bernal, & Serracín, 2019) explican que el equipo en el que fue implementado su sistema de control fue de la marca Gree, empleando de igual manera un sistema adhoc.

El trabajo descrito en este artículo se basa en un sistema infrarrojo que le permite ser genérico y de bajo costo, haciéndolo más versátil en comparación con los adhoc. Pruebas realizadas para determinar parámetros de controles remotos IR

Como se mencionó en el apartado de metodología, se empleó el módulo KY-022 para determinar la frecuencia a la que trabajan los controles remotos IR. Para lo cual se realizaron pruebas con un control remoto de un equipo de aire acondicionado de la marca AUX, este se colocó en dirección al receptor, el cual tenía conectado en su pin de salida "S" una punta de osciloscopio, y se fueron pulsando cada uno de los botones del control remoto, en la Figura 8 se observa la señal captada por el osciloscopio. Es importante observar cuatro aspectos en esta figura:

- La señal viaja a una frecuencia de 38kHz.
- Existen intervalos de tiempo en donde se puede ver la señal y existen intervalos de tiempo en donde no existe señal emitida.
- Los intervalos son similares en duración de tiempo, es decir, en donde existe señal duran aproximadamente 560 μ s y en donde no pueden durar 560 o 1600 μ s aproximadamente.
- El inicio de una nueva ráfaga de señales, es decir el haber presionado un botón del control remoto, tiene una mayor duración de tiempo (aproximadamente 9000 μ s).



Figura 8 Captura de pantalla osciloscopio conectado a modulo receptor

Empleo del prototipo terminado

En este proyecto se desarrolló un dispositivo de transmisión infrarroja capaz de controlar remotamente las funciones de más de una marca de equipo de aire acondicionado. Como ya se describió este sistema consta de dos partes importantes, el módulo infrarrojo y el servidor. En la Figura 9 se puede ver el prototipo del módulo infrarrojo finalizado. Este debe ser colocado a máximo dos metros del equipo de aire acondicionado que se desea controlar, recordando que al ser infrarrojo debe tener un campo visible entre el Led que emitirá la señal y el equipo a controlar. Este prototipo debe ser conectado a la corriente eléctrica por medio de un cargador con entrada de 100-240V~50/60Hz 0.4A y con salida CC5V 0.5-2.0A, se decide utilizar este tipo de cargadores ya que son económicos y fáciles

de conseguir, en lugar de baterías que suelen ser costosas y contribuyen a una mayor contaminación al ser desechadas con mayor frecuencia que los cargadores.



Figura 9 Prototipo de módulo infrarrojo construido

La implementación de este prototipo cuenta con una interfaz de escritorio tkinter en donde el usuario tiene dos opciones, elegir una marca de aire acondicionado a controlar o introducir un nuevo equipo. Si el usuario elige la primera opción debe seleccionar el nombre de la marca de aire acondicionado de su equipo de entre la lista y a continuación la acción que desea que el equipo realice, como se ve en la Figura 10. Estas selecciones serán enviadas a la unidad de control la cual buscará en el directorio el vector de tiempo necesario para realizar dicha acción y la misma unidad de control enviará dicho vector vía wifi al módulo de control infrarrojo, el cual emitirá la señal por medio del emisor infrarrojo.

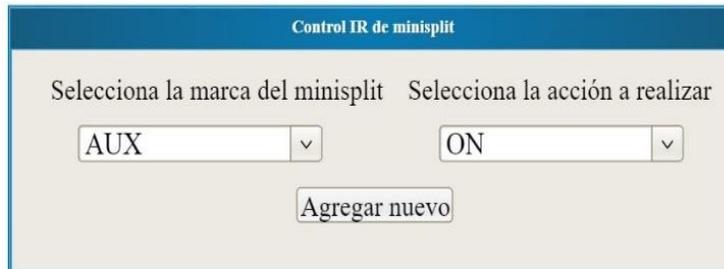


Figura 10 Ventana principal de aplicación de escritorio del servidor

Si el usuario elige la segunda opción (nuevo equipo), deberá elegir también el botón a guardar y deberá poner un nombre con el que será guardado ese control, como se observa en la Figura 11. Así la unidad de control enviará una señal vía wifi al módulo de control infrarrojo para que este se prepare para recibir una señal por medio del receptor infrarrojo. A continuación, el usuario deberá apuntar el control al receptor y pulsar el botón que desea guardar. El usuario deberá repetir los mismos pasos para los demás botones del mismo control.



Figura 11 Ventana secundaria de aplicación de escritorio del servidor

Si el usuario decide enviar una instrucción, a continuación, debe elegir cuál opción va a realizar entre las que se encuentran en el directorio, que son:

- Encender/apagar
- Cambiar la temperatura (De 30°C a 16°C)
- Cambiar el modo en que trabaja el equipo (frio, humedad, etc.)
- Cambiar velocidad del ventilador (bajo, medio, fuerte)
- Cambiar la dirección de la ventila.

El módulo de control previamente diseñado se comunica vía wifi por medio de sockets con el servidor.

El servidor contiene el directorio Json de los equipos de aire acondicionado que han sido registrados por el usuario, es importante recordar que se pueden registrar la cantidad de marcas que sean necesarias, pero en este caso se tiene registradas tres marcas listadas a continuación:

AUX
MIRAGE
LG

La implementación de este prototipo de sistema de control remoto forma parte de un sistema de mayor alcance. Su ubicación en este sistema se muestra en el recuadro de color rojo en la Figura 12. El sistema de control de aires acondicionados objeto de este artículo contribuye a cerrar el ciclo de manejo integral de un macroproyecto que se encuentra en desarrollo. Este macroproyecto está orientado al control automático de la climatización de interiores. Esto permitirá establecer los parámetros de los equipos de aire acondicionado de acuerdo con los valores obtenidos por el módulo de sensado (desarrollado en otro proyecto), lo que llevará a homogeneizar las temperaturas dentro del espacio donde se encuentra instalado.

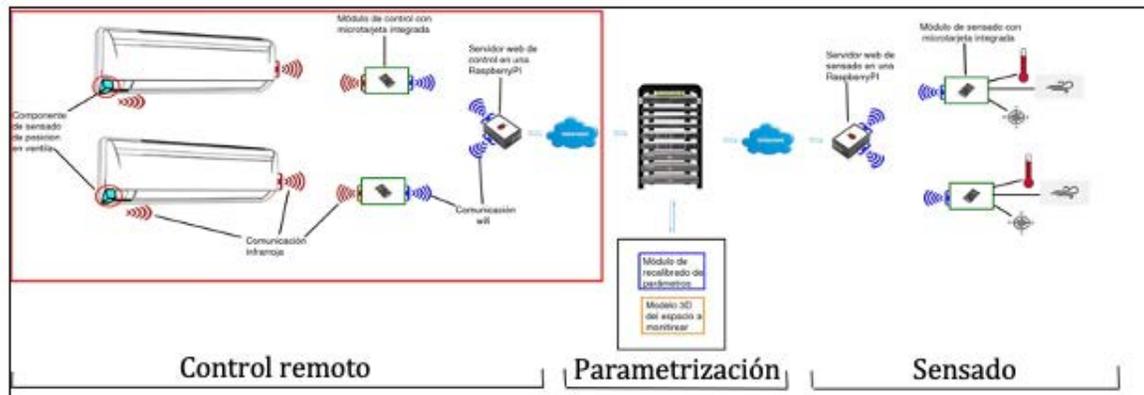


Figura 12 Macroproyecto control automático de equipos de aire acondicionado

Conclusión

Después de realizar las pruebas correspondientes a este prototipo, con varias marcas de controles y sus correspondientes equipos de aire acondicionado (como se explicó en la sección de resultados), se determina que este prototipo puede estar posicionado ya sea pegado al equipo o a máximo dos metros de este. Se debe procurar que se tenga línea de visión directa entre el prototipo y el equipo que se va a controlar. Se determina que la ejecución de la acción que se requiere que

realice el minisplit es rápida, ya que esta no rebasa los 10 segundos contando desde que el usuario da click en la interfaz, hasta que el minisplit hace el cambio requerido. Al revisar los resultados se llegó a la conclusión de que se logró el control total del minisplit de manera correcta utilizando este prototipo. Todo esto no hubiera sido posible de no ser por el avance actual en la microelectrónica, la cual permite tener dispositivos compactos como la ESP32 (que mide alrededor de 7 centímetros), de bajo costo, de bajo consumo de energía y multiplataforma. Esta última característica es importante pues permite ser programada en diferentes entornos de desarrollo integrado (IDE), ayudando a resolver este tipo de problemas reales.

Trabajo a futuro

Se desarrollará la automatización del control de la temperatura en grandes espacios, tomando este prototipo para manipular las condiciones necesarias y así cerrar el lazo de control.

Referencias

- Chan May, O. A., Sandoval Gio, J., & Peña Koo, J. J. (2016). Internet de las cosas para controlar el encendido y apagado de aires acondicionados y luminarias. *Pistas Educativas*, 38(122), 100-119. Obtenido de <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>
- Delgado Rocha, J. E. (2019). Desarrollo de un Controlador Inteligente para Aires Acondicionados Utilizando Lógica Difusa y Comunicación Infrarroja IR. Informe de trabajo monográfico, Universidad nacional de ingeniería , Facultad de electrotecnia y computación, Managua.
- Evercolors. (s.f.). IR receiver mosules for remote control systems TL1838.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (7 de Noviembre de 2018). Primera Encuesta Nacional Sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI). Comunicado de Prensa(541/18), 3.
- Lepure, A. (Julio de 2018). El futuro del enfriamiento: Oportunidades para un aire acondicionado eficiente. *Boletín Eficiencia Energética*(03), 10. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346457/Bolet_n_03_EE_Aire_Acondicionado.pdf
- Morales G., J. M., Moreno, I., Bernal, A., & Serracín, J. R. (2019). Sistema de Automatización de Acondicionadores de Aire y Luminarias para Edificios utilizando sensores de Bajo Costo. III Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil AmITIC 2019, (págs. 121-128). Pereira.
- Ruiz Ariza, J. D. (2019). Sistema de Control y Monitoreo de Consumo Energético para Equipos de Climatización Orientado a Internet de las Cosas (IoT). Trabajo de grado para obtener el título de: Magíster en Ingeniería, Universidad de la costa, CUC, Departamento de ciencias de la computación y electrónica, Barranquilla.
- Villa Pérez, E. D. (2017). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para el control de aires acondicionados en edificaciones. Tesis para obtener el grado de magíster en Ingeniería con énfasis en Sistemas, Universidad tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias.

REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DE UN GENERADOR SÍNCRONO

KARINA GARCÍA SÁNCHEZ¹, LUIS FELIPE SERNA HERNÁNDEZ²

Resumen

Se diseñó un sistema Regulador Automático de Voltaje (AVR) por sus siglas en inglés (Automatic Voltage Regulator), el cual se aplica a un generador síncrono, para verificar el comportamiento del sistema AVR, se realizó una simulación en la plataforma de MATLAB, en la sección de simulink se diseñó un diagrama de bloques donde se integra cada uno de los elementos, el cual consiste en amplificador, rectificador, generador y sensor, para obtener el valor deseado en el sistema AVR se debe aplicar un controlador, para ello se utilizaron técnicas, la primera es a través de Ziegler-Nichols con el método 1, donde se obtienen los controladores PI y PID, la segunda técnica es mediante el método de respuesta en frecuencia para un control PID.

Empleando estas técnicas se obtuvieron tres controladores, los cuales se aplicaron cada uno al diagrama del sistema AVR, logrando tres diferentes resultados, para la protección del AVR se utiliza un Limitador V/Hz.

Posteriormente se propone un diagrama eléctrico del sistema en una plataforma MULTISIM, donde se observa la conexión de los elementos, para finalizar se programa el sistema AVR en la plataforma de TIA PORTAL, basándose en los diagramas de bloques que se diseñaron en el software de MATLAB, para la manipulación del AVR se aplica en un ambiente virtual en una Interfaz HMI.

Palabras clave: AVR, Generador síncrono, Ziegler Nichols, PID, Respuesta en frecuencia, Limitador V/Hz, MATLAB, TIA PORTAL.

Introducción

El regular voltaje es un papel fundamental a la hora de generar y transportar energía eléctrica en la estabilidad de sistemas eléctricos de potencia, pero en ocasiones no siempre se cumplen debido a las perturbaciones en el sistema. En ocasiones el valor deseado no se mantiene continuo, es por ello que en los últimos años se han aplicado diferentes métodos, pero estos dificultan determinar los parámetros a la hora de ajustar las ganancias y esto conlleva a problemas como retrasos en el tiempo y no linealidades (Zwe, 2004).

¹ Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital (UTVM), Carretera Ixmiquilpan-Capula Km. 4, Nith, C.P. 42300. Ixmiquilpan, Hidalgo. kgarcia@utvm.edu.mx

² Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU), Domicilio Conocido S/N Col. El Saucillo, C.P. 42411 Huichapan, Hidalgo. ifserna@iteshu.edu.mx

Es por ello que esta simulación del AVR con generador síncrono utilizando 2 diferentes técnicas para obtener las ganancias de un PID, tiene la finalidad de disminuir retraso en el tiempo y no linealidades.

El AVR tiene la finalidad de que el generador salga de operación o de sincronía, protegiendo al equipo. Este proyecto esta dando pautas a nuevas investigaciones del AVR con generador síncrono.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de control para un regulador automático de voltaje mediante las plataformas de TIA PORTAL y MATLAB. Para realizar este proyecto de un AVR para un generador síncrono se obtienen los parámetros de componentes físicos, los cuales son un generador síncrono con voltaje generado 220 a 380 V, para impulsar mecánicamente al generador se utiliza un motor VECTOR, el cual se manipula con un variador de frecuencia BALDOR, estos se enlazan mediante un enconder, en la parte de control se utiliza un PLC modelo 315 2DP de SIEMENS, el excitador a base de tiristores y el sensor para la realimentación, para realizar la parte del modelo matemático se toma de referencias de investigaciones ya publicadas (García y Serna, 2021).

Para obtener el valor deseado y el sistema a del AVR se mantenga estable, se realiza el control PI, después de analizar el sistema con el control PI, se decide aplicar un PID para ello se aplica dos técnicas, estas con el objetivo de obtener las ganancias del controlador PID mediante la técnica de Ziegler-Nichols con el método 1, la siguiente es la respuesta de frecuencias. Para verificar que las técnicas aplicadas ayuden al sistema a mantenerse en un valor deseado, se utiliza la plataforma MATLAB, posteriormente se realiza un análisis a los resultados.

Para finalizar se realiza la programación del sistema AVR en la plataforma de TIA PORTAL basándose en diagrama de MATLAB, para finalizar se aplica los valores de las ganancias de cada técnica en un ambiente virtual de un AVR en una HMI para el control y supervisión del sistema.

Materiales y Métodos

- **Generador Síncrono:** Se construyen con un campo magnético de CD estacionario o con uno rotatorio. Un generador síncrono de campo estacionario tiene la misma apariencia externa que un generador de cd. Los polos salientes crean el campo de cd, el cual es cortado por una armadura rotatoria. La armadura posee un devanado trifásico cuyas terminales están conectadas a tres anillos colectores montados en el eje. Un juego de escobillas que se deslizan sobre añillos colectores permite conectar la armadura a una carga trifásica externa. La armadura es impulsada por un motor de gasolina, o alguna otra fuente de potencia motriz. Conforme gira, se induce un voltaje trifásico, cuyo valor de pende de la velocidad de rotación y de la corriente directa de excitación en los polos estacionarios (Bernal y Sánchez, 2010).

- **Fiel Flashing:** Dado que la fuente de energía para un sistema de autoexcitación estática es el generador principal y el generador no produce ningún voltaje hasta que el campo sea alimentado, es necesario tener una fuente auxiliar durante unos instantes para proporcionar inicialmente la corriente de campo y energizar el generador. Este proceso de acumulación del flujo de la corriente de campo del generador se denomina el Field Flashing cuya fuente habitual suele ser una batería (Flores y Gutiérrez, 2019).
- **Limitador de flujo máximo V/Hz:** El voltaje inducido en el estator del generador guarda una fuerte relación con el flujo magnético y la frecuencia. Así mismo, se puede determinar que dicho uno estará en función de la frecuencia y el voltaje terminal del generador (Ver figura 1).

La sobre frecuencia generalmente se relaciona con una reducción significativa de carga que está alimentando el generador, haciéndolo operar como si estuviera en condición de operación sin carga resultando una reducción del flujo en el núcleo, lo cual no implica perjuicio al generador mientras se trabaje dentro de su capacidad nominal o hasta el cinco por ciento sobre el voltaje nominal y con los límites permisibles de sobre frecuencia mencionados (Kundur, 1994).

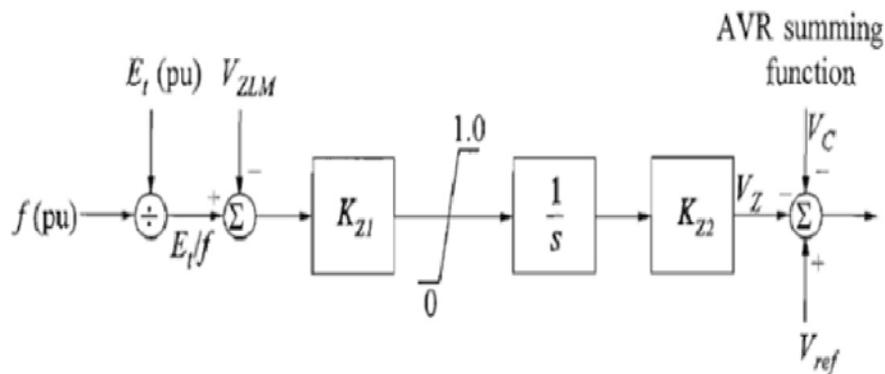


Figura 1. Limitador de flujo máximo V/Hz. (Kundur, 1994).

- **Tiristores:** El tiristor básico es un dispositivo de cuatro capas con dos terminales: ánodo y cátodo. Está construido con cuatro capas semiconductoras que forman una estructura pnpn. El dispositivo actúa como un interruptor y permanece apagado hasta que el voltaje en directa alcanza cierto valor; luego se enciende y conduce. La conducción continúa hasta que la corriente se reduce por debajo de un valor específico (Ver Figura 2).

En pocas palabras el SCR posee tres conexiones: ánodo, cátodo y gate (puerta). La puerta es la encargada de controlar el paso de corriente entre el ánodo y el cátodo. Funciona básicamente como un diodo rectificador controlado, permitiendo circular la corriente en un solo sentido. Mientras no se aplique ninguna tensión en la puerta del SCR no se inicia la conducción y en el instante en que se aplique dicha

tensión, el tiristor comienza a conducir. Trabajando en corriente alterna el SCR se des excita en cada alternancia o semiciclo. Trabajando en corriente continua, se necesita un circuito de bloqueo forzado, o bien interrumpir el circuito (Kosow, 1993).

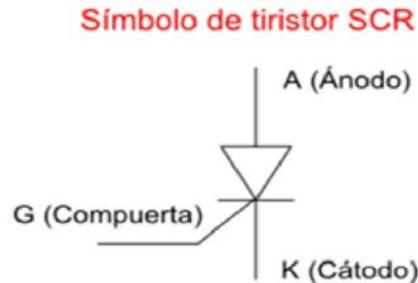


Figura 2. Tiristores. (Kosow, 1993).

- **Control Lógico Programable:** Un controlador lógico programable (Ver Figura 3), más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas (Maldonado, 2010).
- **Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar PID:** Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p del tiempo integral T_i y de tiempo derivativo T_d , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de control PID (Ogata, 2010).

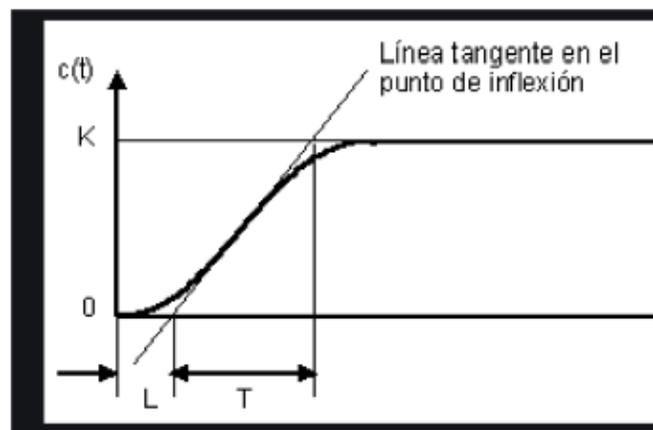


Figura 4. Curva de respuesta en forma S. (Ogata, 2010).

- **Primer Método de Ziegler and Nichols:** En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes

complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S.

Tales curvas de respuesta escalón se puede generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T (Ver Figura 4).

El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de anexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) = K$.

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d en cual se aplica en diferentes operaciones (Ver tabla 1), las cuales sirve para sintonizar el controlador del PID (Ogata, 2010).

Tabla 1. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta para primer método. (Ogata, 2010).

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Respuesta de Frecuencia: Los métodos de respuesta son lo más potente en la teoría de control convencional. Una ventaja de respuesta de frecuencia es que las pruebas son sencillas y pueden ser muy precisas con el uso de generadores de señales sinusoidales. Además, este método tiene la ventaja de que permite diseñar un sistema en el que se elimine los efectos no deseados del ruido, así como extender este análisis y diseño a ciertos sistemas de control no lineales (Ogata, 2010).

- **Plataforma MATLAB:** MATLAB combina un entorno de escritorio optimizado para procesos de diseño y análisis iterativos con un lenguaje de programación que expresa la matriz y las matemáticas de matriz directamente. Incluye el Live Editor para crear scripts que combinan código, salida y texto formateado en un cuaderno ejecutable. Las aplicaciones de MATLAB permiten ver cómo funcionan los diferentes algoritmos con sus

datos. Se repite hasta que se obtenga los resultados que se desea, se genera automáticamente un programa MATLAB para reproducir o automatizar (MATLAB, 2021).

Plataforma TIA PORTAL: La principal utilidad que TIA PORTAL ofrece es la posibilidad de integrar distintas aplicaciones de software industrial para procesos de producción en un mismo interfaz lo que facilita enormemente el aprendizaje, la interconexión y la operación. No importa si se trata de la programación de un controlador, de la configuración de una pantalla HMI o de la parametrización de los accionamientos, con esta nueva arquitectura de software tanto los usuarios nuevos como los expertos trabajan de una forma intuitiva y efectiva ya que no necesitan operar una amplia variedad de sistemas de diferentes orígenes (TIA PORTAL, 2021).

Elementos de la vista de portal:

1. Área de portales: Aquí se muestran los diferentes bloques de funciones con los que se organizan las tareas del software.
 2. Tareas de portal: En esta parte se muestran las tareas específicas con las que cuenta el portal seleccionado.
 3. Panel de selección: Las diferentes opciones para la tarea seleccionada se muestran aquí.
 4. Cambio de vista: Permite cambiar el entorno a la vista de proyecto.
- **HMI:** MI significa Human Machine Interface, es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas (TIA PORTAL, 2021).
 - **Software HMI:** Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interfaz gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto, sólo con la primera función enunciada es la propiamente HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la

aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (TIA PORTAL, 2021).

Etapa de Control

Sensor para medir Voltaje

Para que se mida el voltaje de la terminal del generador síncrono y posteriormente envíe la señal al PLC es necesario un sensor, para esto se diseña un circuito el cual pueda tener una lectura en un rango de 0 a 10 V (Ver Figura 5). El sensor es basado en el principio de divisor de voltaje (García y Serna, 2021).

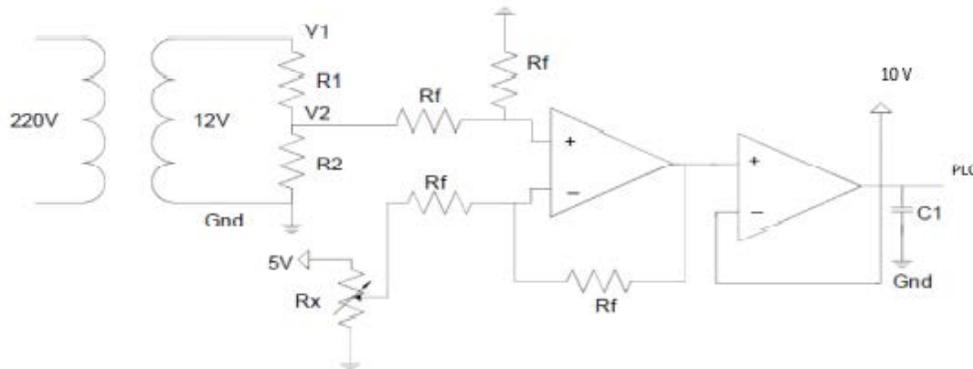


Figura 5. Sensor para medir voltaje. (García y Serna, 2021).

Se emplea un transformador reductor de 220/12V para tener una magnitud baja de voltaje y así trabajarlo a una mejor conveniencia como se muestra el valor de las resistencias R_1 y R_2 se obtienen a partir del principio de divisor de voltaje como se observa en la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1$$

Se considera que V_1 es el voltaje pico de las terminales del transformador $12\sqrt{2}$ y V_2 tiene la magnitud de 5V.

Si R_2 es de $6.8K\Omega$ por lo tanto R_1 es de $15K\Omega$, para obtener los rangos positivos de 0 a 10V, se implementa un amplificador operacional donde sus resistencias deben ser de un valor igual para obtener una ganancia de 1, cuidando la corriente del PLC, el valor debe ser de $10K\Omega$. Para acoplar las impedancias se debe colocar un amplificador operacional en configuración de seguidor, para cerrar el circuito se considera una impedancia baja para conectar al PLC, por lo que se utiliza un capacitor de $10\mu f$ a tierra. Se considera tener un camino hacia tierra que tenga un valor de impedancia baja antes de que la señal llegue al PLC, donde se utiliza un capacitor de $10\mu f$ (García y Serna, 2021).

Transformador de excitación

El transformador es probablemente uno de los dispositivos eléctricos más utilizados en la etapa de potencia. Pueden aumentar o disminuir el voltaje de un circuito de CA, el trabajo que tiene en este proyecto es suministrar energía a la excitatriz, cuya capacidad depende de la corriente y voltaje del campo del generador (Ver Figura 6).

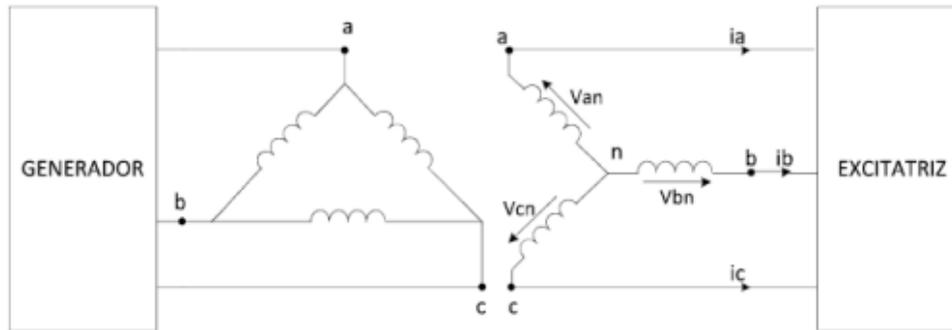


Figura 6. Transformador para Excitador. (García y Serna, 2021).

Rectificación AC/DC

El principio de operación de los convertidores AC/DC se basa en el encendido y apagado de elementos rectificadores y permite obtener potencia DC a partir de una fuente CA. Estos elementos generalmente son diodos o SCR's. Cuando se aplican SCR's como rectificadores, estos proporcionan un voltaje constante en las terminales del convertidor [23].

Los convertidores trifásicos se emplean para aplicaciones de alta potencia. Entre los argumentos para preferir una trifásica tiene:

- Carga simétrica de la fuente trifásica.
- Bajo contenido armónico en la corriente de línea.
- Mejor comportamiento dinámico de los convertidores trifásicos debido a que los tiristores se activan en intervalo más cortos y permiten tiempos de respuesta.
- Dado que la excitatriz requiere de un voltaje CD constante para la operación del convertidor troceador reductor, se ha optado por elegir un rectificador trifásico no controlado tipo puente.
- El rectificador trifásico, es de uso común en aplicaciones de alta potencia. Este convertidor es un rectificador de onda completa (Ver Figura 15).

Modelo Lineal del AVR

Para el desarrollo de este sistema se utiliza el modelo que se ha aplicado en diferentes artículos para la ejecución de sus investigaciones acoplado los valores al generador síncrono que se maneja en este proyecto (García y Serna, 2021).

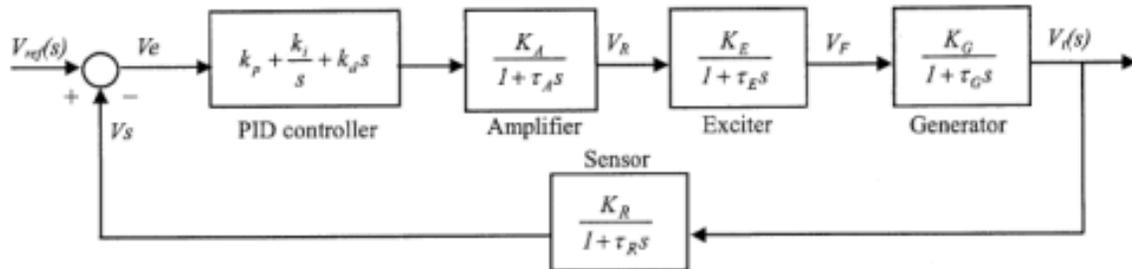


Figura 7. Diagrama de bloques de los elementos del AVR.

La función de transferencia de cada uno de los componentes (Ver Figura 7), se basa en lo siguiente:

Para la función de transferencia del amplificador está representado por una ganancia K_A y una constante de tiempo $T_A S$ como lo siguiente:

$$\frac{V_A(S)}{V_E(S)} = \frac{K_A}{1 + T_A S}$$

Para la función de transferencia del excitador está representado por una ganancia K_E y una constante de tiempo $T_E S$ como lo siguiente:

$$\frac{V_E(S)}{V_G(S)} = \frac{K_E}{1 + T_E S}$$

Los valores típicos que se toman en el siguiente rango de 0.5 a 10, la constante de tiempo es de 0.3 a 1 segundos.

Para la función de transferencia del excitador está representado por una ganancia K_G y una constante de tiempo $T_G S$ como lo siguiente:

$$\frac{V_G(S)}{V_E(S)} = \frac{K_G}{1 + T_G S}$$

Los valores típicos que se toman en el siguiente rango de 0.7 a 1, la constante de tiempo es de 1 a 2 segundos.

Para la función de transferencia del sensor está representado por una ganancia K_R y una constante de tiempo $T_R S$ como lo siguiente:

$$\frac{V_R(S)}{V_G(S)} = \frac{K_R}{1 + T_R S}$$

La constante de tiempo es de 0.001 a 0.06 segundos.

En el diagrama de bloques (Ver Figura 7), se tiene el PID que es utilizado para mejorar la respuesta dinámica. Así como reducir o eliminar el error del estado estacionario.

La función de transferencia del controlador PID es:

$$C = K_p + \frac{K_i}{S} + K_d S$$

Técnica de Ziegler-Nichols para los control PI y PID.

En el diagrama de bloques que proporcionan los artículos ya publicados, se obtienen los valores para las variables de cada función de transferencia que corresponden a él amplificador, excitador, generador y sensor.

Para determinar los valores de la ganancia proporcional, integral y derivativa del bloque PID se emplea el método de Ziegler-Nichols.

Para ello se necesita el sistema en lazo abierto, para obtener el valor de L y T , colocando en una ventana de Simulink, el modelo del sistema AVR y utilizando una señal de entrada unitaria (Ver Figura 8).

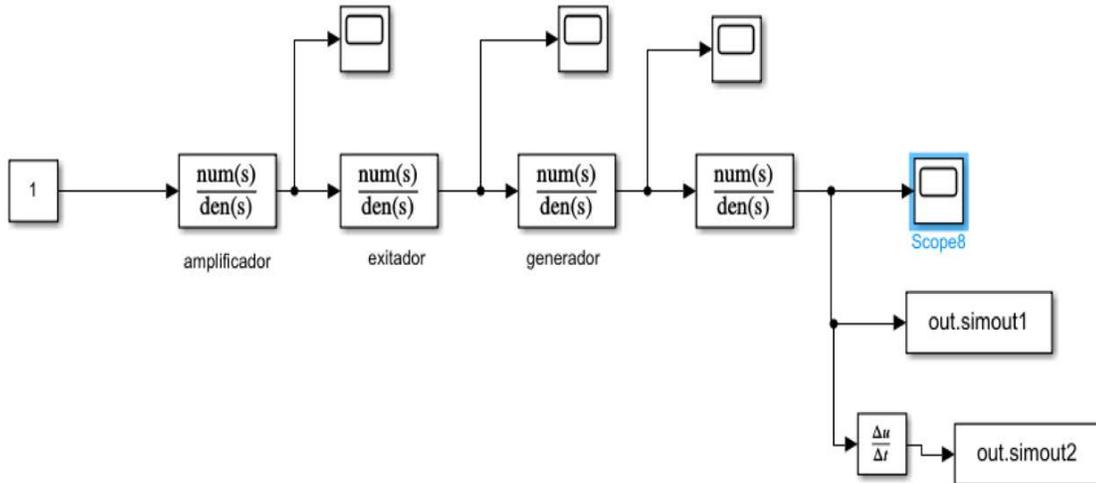


Figura 8. Sistema en lazo Abierto AVR.

La salida es una curva en forma de S, el tiempo de retardo es $L = 0.3125$ y la constante tangente de tiempo $T = 2.1375$ (Ver Figura 9). El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva, como indica el método, obteniendo estos valores se aplican a la tabla de la regla de sintonía de Ziegler-Nichols, y se obtienen las ganancias de PI y PID (Ogata, 2010).

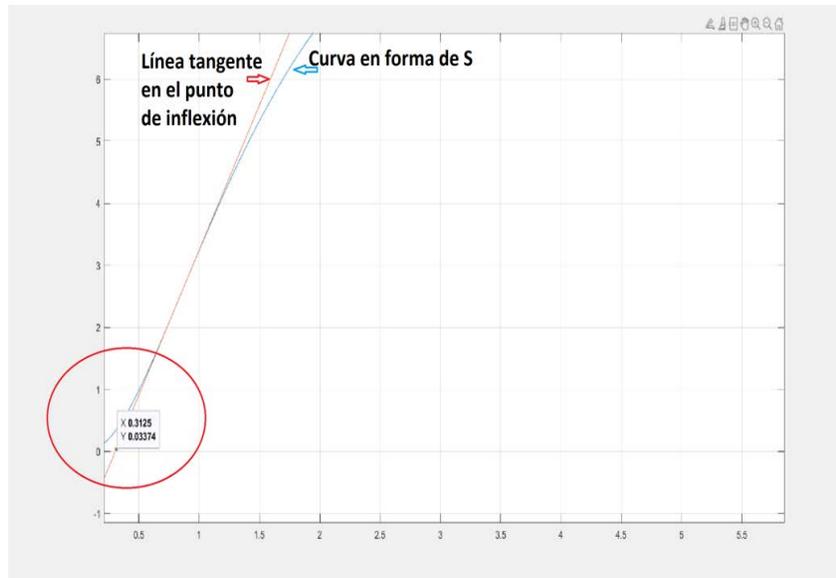


Figura 9. Salida es una curva en forma de S

Método de respuesta en frecuencia para control de PID.

En este método sirve para obtener las ganancias para nuestro control PID, se debe iniciar con función de transferencia sinusoidal de la planta para obtener la sintonización, se proponen algunos parámetros, margen de fase (θ_m), algoritmo como tiempo de respuesta (τ), el cual está relacionado con la frecuencia de cruce (ω_c), con la cual se analiza el sistema.

$$\tau = \frac{1}{\omega_c}$$

Depende del sistema que se está trabajando es el tiempo de respuesta que se puede aplicar, entre más grande es el ω_c , más rápido es tiempo de respuesta del sistema.

Para iniciar es encontrar los parámetros de magnitud y fase, donde se debe sustituir en la función de transferencia s por $j\omega_c$.

Posteriormente se realiza las operaciones matemáticas y sustituciones para obtener las ganancias que se aplican en el PID.

Modelo del Limitador V/Hz.

El limitador V/Hz es utilizado para la protección del AVR de un daño excesivo de flujo magnético que es el resultado de una baja frecuencia o un sobre voltaje. Para observar el comportamiento del limitador V/Hz, se realiza la simulación en la plataforma de MATLAB (Ver Figura 10).

La operación del limitador es bastante sencilla, cuando el valor por unidad excede a $VZLM = 1.07$, una señal negativa hace que se disminuya con diferentes operaciones. Los valores $KZ1 = 1000$, $KZ2 = 0.007$ y $VZLM$.

Se puede observar en la simulación como el valor se mantiene en 0, si se aplica este limitador al sistema AVR, tendrá que protegerlo, evitando así una sobreexcitación al generador (García y Serna, 2021).

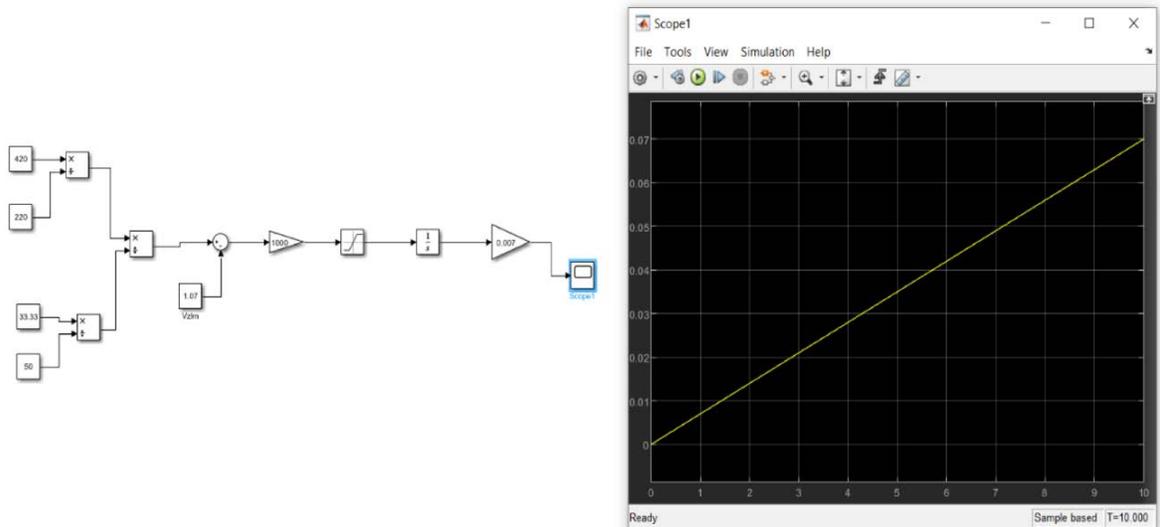


Figura 10. Limitador V/Hz.

Resultados y Discusión

Para ver el comportamiento del sistema del AVR, se coloca valores a las variables de cada una de las funciones de transferencia del sistema en lazo cerrado (Ver Figura 11).

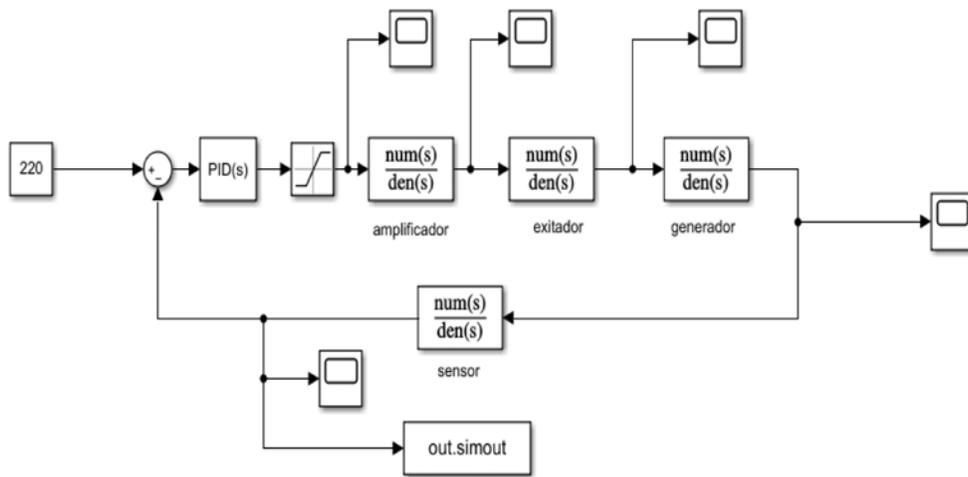


Figura 11. Diagrama en lazo cerrado.

Control PI

Los valores obtenidos de las ganancias K_p y T_I para el PI obtenidos de las técnicas de Ziegler Nichols, son las siguientes

$$K_p = 6.156$$

$$T_I = 1.04$$

Se realiza un despeje para obtener el valor de $K_i = 5.9098$ ya que el bloque que se utiliza en MATLAB solo reconoce ganancias. Comentando así, que se utiliza el bloque del PID, colocando 0 en el K_d (Ver Figura 11).

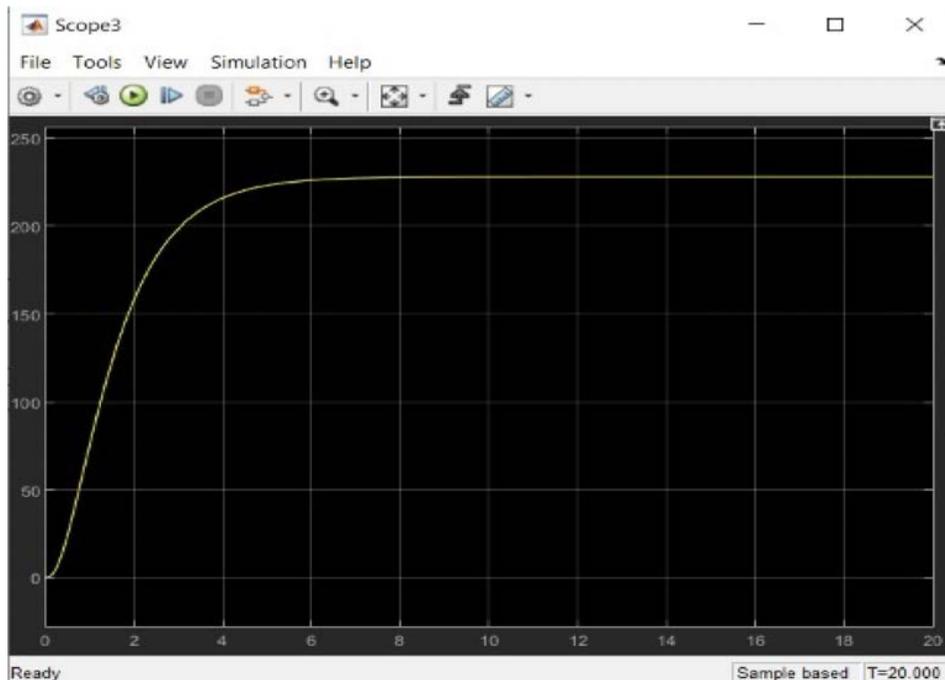


Figura 12. Comportamiento de sistema AVR con el control PI.

Como resultado se tiene el valor deseado y este se mantiene constante, por lo que este control es aceptable (Ver Figura 12).

Control PID

Este control está basado en la publicado los valores obtenidos de las ganancias K_p, T_I y T_d para el PID obtenidos de las técnicas de Ziegler Nichols, son las siguientes

$$K_p = 8.208$$

$$T_I = 4.004$$

$$T_d = 0.3119$$

Se realiza un despeje para obtener el valor de $K_i = 2.05$ y $K_d = 2.56$ ya que el bloque que se utiliza en MATLAB solo reconoce ganancias (Ver Figura 11).

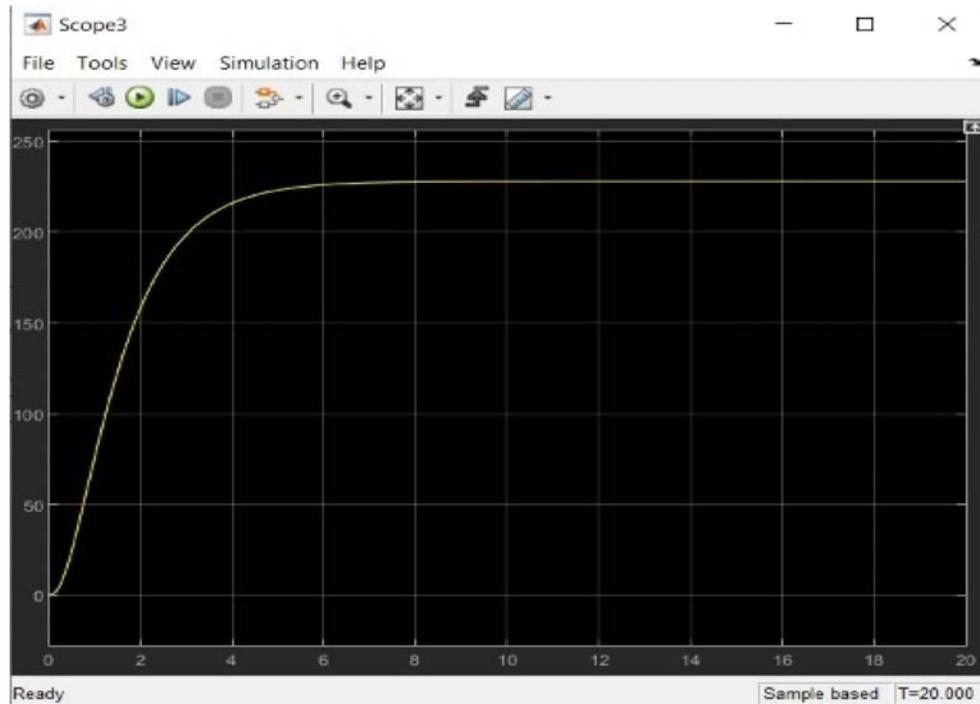


Figura 13. Comportamiento de sistema AVR con el control PI

Como resultado se tiene el valor deseado y este se mantiene constante, por lo que este control es aceptable (Ver Figura 13).

Método de respuesta de Frecuencia

Las ganancias para el control PID son K_p , K_I y K_d obtenidas en este método, donde los valores son los siguientes

$$K_p = 0.4714$$

$$K_I = 8.2414$$

$$K_d = 2.3570e - 3$$

Estas ganancias son aplicadas en el sistema de control en lazo cerrado del AVR para ver su comportamiento (Ver Figura 14).

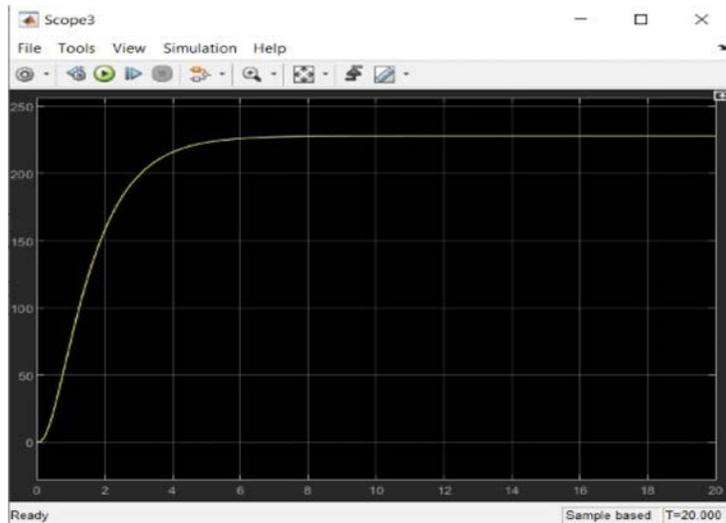


Figura 14. Comportamiento del sistema AVR con método de frecuencia.

Como resultado se tiene el valor deseado y este se mantiene constante, por lo que este control es aceptable.

Diagrama eléctrico del AVR

El diagrama general es realizado con el objetivo que más adelante se desarrolle en físico, el cual fue diseñado en Multisim.

En la parte superior se muestra la etapa de potencia como es el transformador de excitación, se encuentra hasta el generador, en la parte inferior se encuentra el sensor de voltaje que obtiene la señal del voltaje para que llegue a una entrada Analógica del PLC (Ver Figura 15).

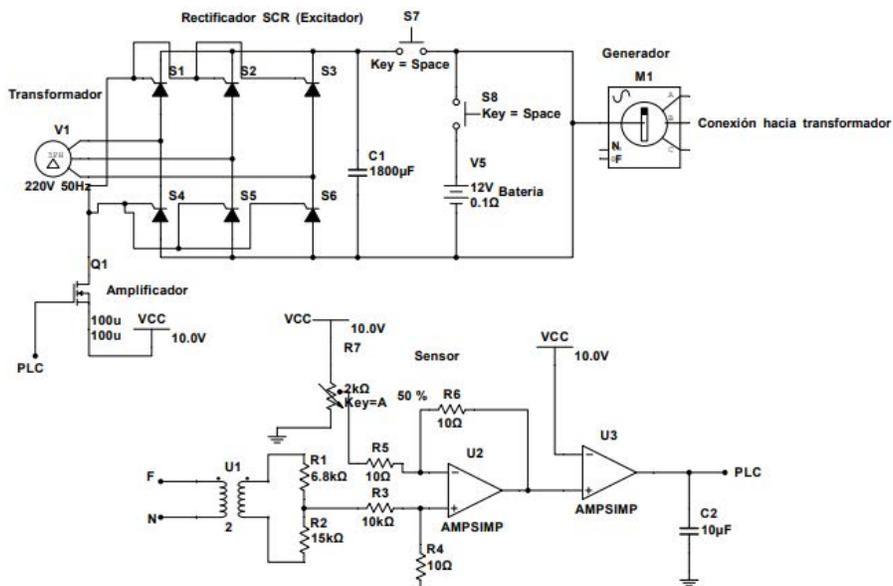


Figura 15. Diagrama Eléctrico de los elementos del AVR.

Plataforma de HMI de TIA PORTAL.

Los resultados obtenidos se aplican en un ambiente virtual que se desarrolló en una HMI que se diseñó en plataforma de TIA PORTAL (Garcia y Serna, 2021).

En la imagen 0, se tiene todos los datos para la control y manejo del sistema, en ella se observa cómo trabaja el AVR, se los datos de excitador, amplificador, generador, variador, los datos que proporciona el PLC, así como botones de ejecución y paro (Ver Figura 17).

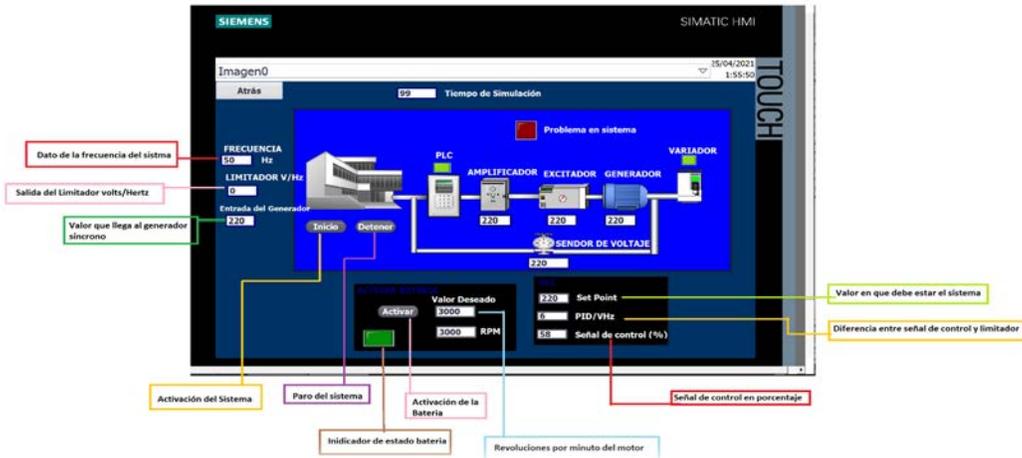


Figura 17. Plataforma virtual de la HMI.

Se aplican las tres técnicas, teniendo como resultado el mismo comportamiento en el sistema.

En la imagen1 del sistema AVR, se puede apreciar el comportamiento del sistema en una gráfica, también se observa el valor de la salida del sistema (Ver Figura 18).



Imagen 18. Comportamiento del sistema AVR.

Conclusión

El sistema de amplificador, excitador y generador mantienen una salida de voltaje igual a la del set point aplicando las tres técnicas, el sensor de voltaje mantiene en un valor estable de 220. La implementación del limitador V/Hz ha permitido que el voltaje varía de acuerdo a la frecuencia teniendo así que cuando alguno de ellos indique un valor excedente evitará una sobreexcitación en el generador.

Referencias

- Bernal, J. y Sánchez, M. (2010). Construcción de un sistema de control de voltaje y frecuencia del generador síncrono siemens dm-sn/dg2240.q4- r3 del laboratorio de máquinas eléctricas de los ups sede cuenca, ecuador, <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1062/14/UPS-CT002067.pdf>.
- Flores Y., Gutiérrez C. (2019). Diseño y construcción de un regulador automático de voltaje para el generador síncrono de 8.58 kva del laboratorio de sistemas eléctricos de potencia. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- García, K., Serna, J. F. (2021). Regulador automático de voltaje para un generador síncrono. Revista en Formato Digital “Innovación Científica y Tecnológica en las Ingenierías”. AÑO 4. No. 4.
- Kosow, I. (1993). Máquinas Eléctricas y Transformadores. Prentice Hall, 2da edition.
- Kundur, K. (1994). Power system stability and control. McGraw-Hill Education, 1ra edition.
- Maldonado E. (2010). Autómatas Programables y Sistemas de Automatización. Alfaomega, Marcombo, 2da edition.
- MATLAB online. Mathworks. (2021). <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Consultada 8 de Mayo.
- Ogata K. (2010). INGENIERIA DE CONTROL MODERNO. Pearson Education. Madrid. España.
- TIA PORTAL. (2021). <https://www.tecnopl.com/tia-portal-utilidades-del-software/>. Consultada 8 de Mayo.
- Zwe-Lee, G. (2004). A particle swarm optimization approach for optimum design of pid controller in avr system. TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, 19(2):384391.

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMAS SUELO-TENSOACTIVO

ERIK GIOVANY CRUZ VERGARA¹, ÁNGEL RAFAEL LARA HERNÁNDEZ², NOHRA VIOLETA GALLARDO RIVAS³, ANA MARÍA MENDOZA MARTÍNEZ⁴, ULISES PÁRAMO GARCÍA⁵

Resumen

Los parámetros eléctricos (conductividad y potencial Z) son medidas de la magnitud de repulsión – atracción entre partículas, por lo que, son fundamentales para la estabilidad ya que aportan información sobre la dispersión, floculación o agregación. Debido a esto, el objetivo de este trabajo fue analizar el efecto a diferentes concentraciones de distintos tensoactivos en el potencial Z y conductividad de sistema suelo – tensoactivo. Los resultados reflejaron que el suelo en presencia de un tensoactivo no iónico (sin carga) muestra un potencial Z entre los -2.46 mV y -6.44 mV disminuyendo conforme más concentración exista del tensoactivo en el suelo. El comportamiento de un tensoactivo aniónico y uno catiónico obtuvieron la misma tendencia, reflejando así un potencial Z entre los -3.65 mV a -4.55 mV para el aniónico y 5.16 mV a 8.79 mV para el catiónico. En cuanto a la conductividad, los tres tensoactivos mostraron ser más conductivos conforme más concentración existe de este en el suelo.

Palabras clave: Potencial Z, conductividad, floculación, dispersión.

Introducción

La remediación electrocinética de suelos contaminados está despertando un gran interés debido a que, a priori, presenta una serie de aspectos potencialmente ventajosos: puede ser desarrollada in situ, evitando costes asociados a etapas de excavación y transporte, puede aplicarse en el tratamiento de suelos estratificados

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM). Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. de las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México. G13070607@cdmadero.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM). Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. de las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM). Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. de las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM). Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. de las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México.

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Madero (ITCM). Centro de Investigación en Petroquímica, Prol. Bahía de Aldhair y Av. de las Bahías, Parque de la Pequeña y Mediana Industria, Altamira, Tamaulipas, México.

de baja porosidad y permeabilidad, contaminados con metales pesados y/o especies orgánicas (Pamukcu y Whittle, 1992, Shapiro y Probststein, 1993, Acar y Saichek, 1993).

En este punto, es importante indicar que la electro-remediación de suelos presenta una limitación cuando la contaminación se produce por compuestos orgánicos hidrófobos (COHs), debido a su carácter apolar y a su baja solubilidad en agua. Estas propiedades hacen que la movilización de estos compuestos mediante el lavado producido por flujo electro-osmótico o el transporte provocado tanto por electromigración iónica como por electroforesis, sea ineficiente (Reddy y Saichek, 2003, She et al., 2003, Saichek y Reddy, 2003, Fava et al., 2003). Estas circunstancias, han derivado en la investigación de modificaciones al proceso de electromigración, enfocadas a incrementar el rendimiento obtenido con la adición de los denominados “fluidos de mejora”, entre los que se encuentran los tensoactivos.

Estos compuestos están formados por moléculas anfifílicas capaces de interactuar con compuestos polares y/o apolares (Markiewicz et al., 2013). Ahora bien, estudiar los tensoactivos a través del análisis de la conductividad y potencial Z de sistemas suelo – agua, permitirá entender la técnica de remediación electrocinética y elucidar el efecto de los componentes eléctricos involucrados en el proceso de migración de especies cargadas (Shapiro y Probststein 2003). Es por eso que el objetivo de este trabajo es evaluar los parámetros eléctricos (conductividad y potencial Z) de sistema suelo – tensoactivo.

Materiales y Métodos

En el Cuadro 1 se presentan los tensoactivos utilizados en el estudio de las propiedades eléctricas de los sistemas aquí planteados, cada uno con propiedades iónicas diferentes, esto permite el análisis de las interacciones presentes con cada tipo de compuesto iónico.

Cuadro 1. Tensoactivos de estudio

Tensoactivo	Nombre químico	Tipo de Tensoactivo	Marca
SDS	Dodecilsulfato de sodio	Aniónico	Sigma-Aldrich
CTAB	Bromuro de cetiltrimetilamonio	Catiónico	Sigma-Aldrich
NNF-10	Nonilfenoletoxilato	No-Iónico	Química de Emulsificantes

El suelo utilizado en este estudio pertenece al estado de Veracruz, específicamente la zona en donde se encuentra el llamado campo Pitepec, en la cuenca Tampico-Misantla y se realizó un muestreo a baja profundidad (0 – 18 cm). Geomorfológicamente la zona de muestreo se encuentra entre serranías poco pronunciadas debido a la erosión eólica que predomina, cubiertas con vegetación de tipo matorral y pastizal, estas serranías son derivadas de las estribaciones de la

sierra de Otontepec, encontrando un suelo seco, con textura fina y con topografía plana.

Preparación de soluciones

Se prepararon soluciones a concentraciones entre 0.001 M y 0.1 M de cada tensoactivo, Dodecil sulfato de sodio (SDS), Bromuro Cetiltrimetil amonio (CTAB) y nonilfenol etoxilado a 10 moles (NNF-10), en fase acuosa (H₂O DI). Posteriormente se prepararon los diferentes sistemas de estudio (Cuadro 2), involucrando 50 mg de suelo en cada sistema.

Cuadro 2. Sistemas de estudio, en función de la concentración de tensoactivo

0.1 M	0.015 M	0.01 M	0.0015 M	0.001 M
SDS / Suelo / H ₂ O DI	SDS / Suelo / H ₂ O DI	SDS / Suelo / H ₂ O DI	SDS / Suelo / H ₂ O DI	SDS / Suelo / H ₂ O DI
CTAB / Suelo / H ₂ O DI	CTAB / Suelo / H ₂ O DI	CTAB / Suelo / H ₂ O DI	CTAB / Suelo / H ₂ O DI	CTAB / Suelo / H ₂ O DI
NNF-10 / Suelo / H ₂ O DI	NNF-10 / Suelo / H ₂ O DI	NNF-10 / Suelo / H ₂ O DI	NNF-10 / Suelo / H ₂ O DI	NNF-10 / Suelo / H ₂ O DI

Caracterización del suelo

Análisis Granulométrico

Para hacer el estudio del suelo de estudio se hizo mediante el análisis granulométrico de acuerdo a la norma ASTM D422-63. Se pesaron aproximadamente 500 gramos del sustrato (suelo) la cual fue secada y degrada en un mortero hasta que las aglomeraciones de suelo quedaran totalmente pulverizadas, se utilizaron 7 tamices de la marca FIIC, de tamaños (75, 50, 19, 4.7, 2, 0.15 y 0.007 mm), una vibradora de tamices de la misma marca, una balanza Just Home MKZ-BAS-ACS209. Se tomaron los 500 gr que fueron secados y pulverizados, posteriormente se vertieron en los tamices y se procedió a montarse sobre la vibradora de tamices por un tiempo de 10 minutos a un periodo de 1400 rpm, después de este tiempo se desmontaron los tamices y se recolectaron los sedimentos retenidos de cada tamiz y finalmente pesando esos sedimentos y clasificándolos de acuerdo al porcentaje retenido en peso. Se realizaron 3 repeticiones, por cada muestra.

Salinidad

Para la determinación de salinidad del suelo se empleó la técnica analítica de Mohr o determinación de cloruros por el método de Mohr la cual consiste en una precipitación fraccionada que involucra la titulación de cloruros y/o bromuros a temperatura ambiente con una solución valorada de nitrato de plata (AgNO₃), formando un precipitado blanco de cloruro de plata (AgCl) y empleando como indicador una disolución de cromato de potasio (K₂CrO₄) al 5% que, en su punto

inicial posee una coloración amarilla y formando en el punto final un precipitado color rojo ladrillo de cromato de plata (Ag_2CrO_4) (Pérez V., Naranjo J., Valdez M., Benites Y y García T 2010.)

Color

El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. El tono y la intensidad de los colores del suelo superficial y de sus horizontes permiten hacer inferencias sobre sus características y procesos pedogenéticos. El color del suelo está determinado por la cantidad y estado de los minerales de hierro y/o manganeso, así como de la materia orgánica, además de la existencia de procesos de oxidación o reducción. El análisis del color del suelo fue realizado por comparación con las tablas o cartas estándar de color como son las de Munsell que consiste en tomar una muestra del suelo de estudio secado y pulverizado sobre una hoja blanca (Flores L. y Alcalá J. 2010).

Determinación de la conductividad

El método conductimétrico consiste en medir la conductividad de disoluciones que contienen distintas concentración de tensoactivo. Para obtener la conductividad se utilizó el equipo marca Malvern modelo Zetasizer, en el que se analizaron los diferentes sistemas de estudio preparados (Cuadro 2) con variaciones de concentración de 0.1 a 0.001 M a 25°C utilizando como disolvente agua desionizada ($\text{H}_2\text{O DI}$).

Determinación del Potencial Z

En suspensiones líquidas, el potencial Z es una medida de la atracción/repulsión entre partículas cargadas electrostáticamente, permitiendo estudiar la estabilidad de dispersiones, emulsiones, suspensiones, etc. En sólidos macroscópicos, es una propiedad importante de interfaces sólido/líquido cargadas eléctricamente, siendo un indicador de la carga superficial de un sólido en contacto con un electrolito. Este análisis se realizó con un equipo marca Malvern, modelo ZetaSizer. Se analizaron los sistemas mostrados en el Cuadro 2, se utilizó agua desionizada ($\text{H}_2\text{O DI}$) como dispersante, con distintas de concentraciones de tensoactivo con la finalidad de observar el efecto de la de este parámetro sobre el potencial y la energía electrocinética de las especies cargadas en los sistemas de estudio.

Resultados y Discusión

Caracterización del suelo.

Para obtener el tamaño de partículas fue realizado mediante un análisis granulométrico de acuerdo a la norma ASTM D422-63 arrojando como resultado que el suelo de estudio corresponde a clastos de arena fina a muy fina según la

tabla de Uddem Wentworth, también de acuerdo al triángulo textural de la USDA es catalogado como un suelo franco arcilloso. En cuanto a la porosidad del suelo de estudio, este presenta el 20% de los huecos ocupados por aire en muestras de 250 gr de suelo, es decir que presenta muy baja porosidad. Con lo que respecta al color, de acuerdo al sistema de evaluación de Munsell, presenta un color oscuro en seco lo cual es debido al contenido de materia orgánica (Flores L. y Alcalá J 2010). Con respecto a la salinidad (técnica de Mohr) el suelo estudiado es fuertemente salino (113.64 mg L^{-1}) según la Norma Oficial Mexicana, NOM-21RECNAT-2000.

Potencial Z y conductividad de los tensoactivos de estudio.

La conductividad y el potencial Z del suelo se presenta en presencia y ausencia de tensoactivo para comparar los resultados.

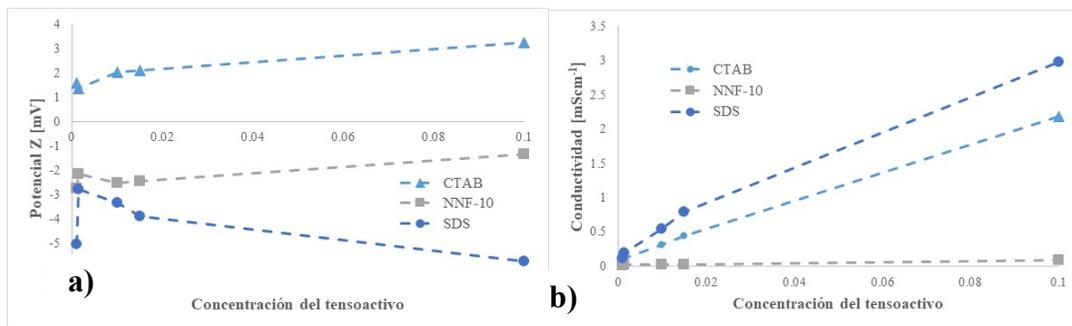


Figura 1. Medición del potencial Z (a) y conductividad (b) de los tensoactivos

En la Figura 1 (a) se puede observar el potencial Z de cada uno de los tensoactivos que se estudiaron. En esta puede verse que el comportamiento de cada uno de ellos es debido a la carga efectiva del mismo, es decir, que un tensoactivo catiónico (CTAB) presenta un potencial Z positivo y que conforme incrementa la concentración del mismo tiende a ser más positivo. En cambio, cuando el tensoactivo es uno no iónico (NNF-10) o uno aniónico (SDS) el potencial Z es negativo para ambos casos, siendo más negativo conforme más concentración presente uno aniónico, caso contrario a uno no iónico que suele ser menos negativo a mas concentración.

Con lo que respecta a la conductividad (Figura 1 (b)), el comportamiento de los tensoactivos en este parámetro suele ser más conductivo un tensoactivo aniónico SDS, seguido de un catiónico (CTAB) y al último un no iónico (NNF-10).

Potencial Z en sistema suelo – tensoactivo.

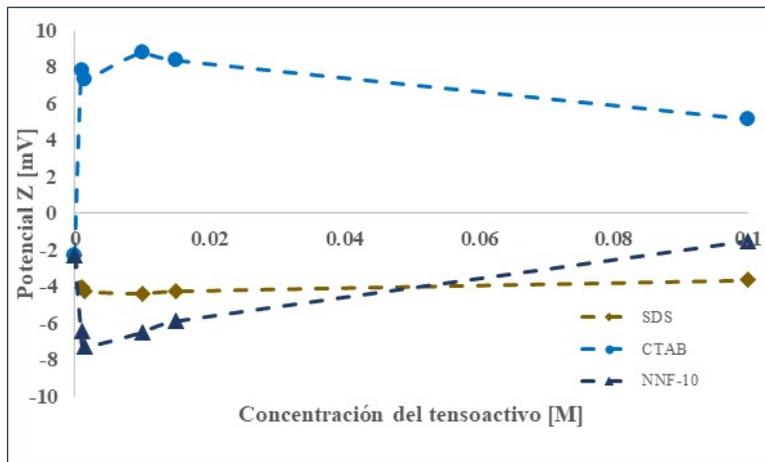


Figura 2. Efecto del potencial Z en sistema suelo / tensoactivos

El potencial Z (Figura 2) fue determinado para cada uno de los sistemas suelo-tensoactivo. Como puede verse para SDS y NNF-10 los valores del parámetros fueron negativos atribuido a la carga efectiva de los tensoactivos, ya que el suelo al ser negativo (-2.298 mV) y se le adhiere un tensoactivo aniónico (SDS) este aumentara su valor, en cambio cuando el tensoactivo es no iónico (sin carga) tiende a tener un potencial Z negativo más cercano al 0. Por otro lado, cuando el tensoactivo adherido es catiónico (CTAB), su comportamiento en todos los sistemas estudiados es positivo debido a la carga efectiva que presenta el mismo, también puede verse que en relación a la concentración de este, a más concentración de este, tiende a tener menos potencial Z.

Conductividad en sistemas suelo – tensoactivo.

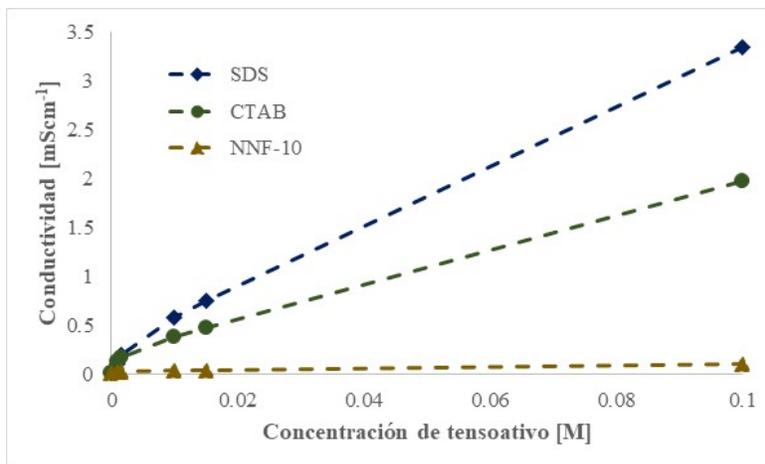


Figura 3. Efecto de la conductividad en sistema suelo/tensoactivos

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento de conductividad en el suelo con o sin tensoactivo, se puede ver que con la adición de este en el suelo, es más conductivo entre más concentración presente este. También, la medición del parámetro de estudio, se observa que los diferentes tensoactivos adheridos al suelo

generan un aumento de este en una relación SDS > CTAB > NNF-10, esto puede ser por el comportamiento que tiene cada uno de los tensoactivos.

Unidades

mScm⁻¹. Mili siemens por centímetro

M. Molaridad

mV. Mili volts

Conclusiones

Los resultados observados demuestra que el uso de tensoactivos modifica las propiedades del sustrato estudiado (suelo), con respecto al potencial Z el uso de distintos tipos de tensoactivos puede incrementar tanto la medición del parámetro que puede incluso hacerlo positivo, sabiendo que el potencial Z del suelo es negativo, así como también puede ser más negativo haciendo uso de un tensoactivo aniónico, la conductividad presenta la misma tendencia para los tensoactivos de estudio siendo el más conductivo el tensoactivo aniónico.

Referencias

- Acar, Y., y A. Alshawabkeh. "Principles of electrokinetic remediation," *Environmental science & technology*, Vol. 27, No. 13, 1993.
- Fava, G., Fratesi, R., Ruello, M. L., y D. Sani. "Surfactant effects on electrokinetic processes in clay-rich soils remediation," *Annali di chimica*, Vol. 92, No. 10, 2002
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos: laboratorio de física de suelos. *Departamento de Edafología, Instituto de Geología UNAM*.
- Markiewicz, M., Mrozik, W., Rezwani, K., Thöming, J., Hupka, J., y C. Jungnickel. "Changes in zeta potential of imidazolium ionic liquids modified minerals—implications for determining mechanism of adsorption," *Chemosphere*, Vol. 90, No. 2, 2013.
- Pamukcu, S., y J. Kenneth-Wittle. "Electrokinetic removal of selected heavy metals from soil," *Environmental Progress*, Vol. 11, No. 3, 1992.
- Pérez V., Naranjo J., Valdez M., Benites Y., García T., "Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos". Instituto Nacional de Ciencia Agrícolas. 2010.
- Reddy, K., y R. Saichek. "Effect of soil type on electrokinetic removal of phenanthrene using surfactants and cosolvents," *Journal of environmental engineering*, Vol 129, No. 4, 2003.
- Saichek, R., y K. Reddy. "Effect of pH control at the anode for the electrokinetic removal of phenanthrene from kaolin soil," *Chemosphere*, Vol. 51, No. 4, 2003.
- Shapiro, A. P., & Probstein, R. F. (1993). Removal of contaminants from saturated clay by electroosmosis. *Environmental Science & Technology*, 27(2), 283-291.
- She, P., Liu, Z., Ding, F., Yang, J., y X. Liu, X. "Surfactant enhanced electroremediation of phenanthrene," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 11, No.1, 2003

ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ, PARA REDUCIR EL COSTO Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

IVÁN CASTILLO HUETO¹, JORGE ARTURO MENDOZA SOSA², RODOLFO ALBERTO ROMÁN MONTANO³

Resumen

El presente artículo examina el impacto que genera el consumo de energía eléctrica en una edificación no residencial, se caracterizan los aspectos técnicos del edificio relacionados al consumo de energía, se proponen acciones de mejora que reduzcan el consumo energético y se evaluarán los beneficios, energéticos, económicos y ambientales, obtenidos de las acciones propuestas.

A lo largo del estudio, se crea una metodología para replicar este proyecto en lugares de emplazamiento con similitudes evidentes, también, se indaga sobre la importancia de implementar fuentes de energía limpia para minimizar el impacto económico que dicho consumo representa, en este caso, debido a la zona de emplazamiento y a su escasa disponibilidad respecto a fuentes de energías limpias, se trabaja únicamente con energía eólica e irradiancia solar.

Debido a ello, se realiza un estudio del recurso renovable disponible en sitio, y se pone en evidencia la importancia de recabar datos meteorológicos cercanos que impactaran directamente al momento de seleccionar tecnología para su aprovechamiento, pues la variación del recurso renovable es de suma importancia en la generación de electricidad y la selección de tecnología adecuado para su obtención, creando la necesidad de comparar características y producción para poder elegir entre diferentes aerogeneradores, y fotoceldas.

Palabras clave: Energía renovable, consumo de energía, HOMER, ahorro energético.

Introducción

Éste estudio se enfoca en el sector comercial y de servicios, un sector, que muchas veces no le da la suficiente importancia al gran gasto de energía eléctrica que demanda, porque, aunque el costo de la energía eléctrica sea alto, puede pagarlo sin problemas ya que su rubro así se lo permite. Según (Borroto Nordelo, 2005) el uso racional y eficiente de la energía se puede definir como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía del

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar 91897, Veracruz, Ver. M19020035@veracruz.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar 91897, Veracruz, Ver.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto tecnológico de Veracruz (ITVER). Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar 91897, Veracruz, Ver.

país, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Todo esto incluye aspectos tales como el ahorro de energía, la sustitución de energéticos, la generación eficiente de energía y el mantenimiento de equipos.

Tal como menciona (Serrano, 2018), alrededor del mundo se han realizado muchos esfuerzos para reducir la demanda energética de los edificios. Uno de los más importantes es el concepto “Edificios Cero Energía”, lo cual significa que un edificio se convierte en autosuficiente usando energías renovables para evitar la emisión de CO₂ al medioambiente. Y con esa premisa se busca dar forma a este proyecto, buscando el uso de energía limpia, creando así un edificio con mayor sustentabilidad, libertad y responsabilidad social.

El análisis se realiza en el Edificio CANACO SERVYTUR Veracruz, dicha edificación, presenta una gran demanda de energía eléctrica, lo cual repercute en un elevado costo económico e impacto ambiental. Además, se detecta una falta de sensibilización de los colaboradores dentro del edificio, agravando el problema. Por lo tanto, se tiene como objetivo realizar un análisis energético en el edificio CANACO SERVYTUR Veracruz, que permitirá reducir su impacto energético, económico y ambiental

Materiales y Métodos

Una adecuada estrategia de gestión energética traerá múltiples beneficios, como lo son:

- Disminución en el consumo de energía eléctrica, que se traduce en un ahorro económico directo del presupuesto bimestral del edificio.
- Crear una cultura de ahorro energético que permeará en todos los colaboradores del edificio, la cual se extenderá a sus lugares de residencia, creando un beneficio en cadena.
- Disminución en el impacto ambiental, en el proceso operativo del edificio al reducirse el consumo eléctrico de energía convencional y hacer uso de energías renovables.
- La sociedad se beneficia de manera integral en la reducción de la emisión de CO₂ del edificio.

Para facilitar su desarrollo, conviene abordar la metodología general mediante un esquema. Tomando esta premisa se incorporó el siguiente diagrama metodológico (Figura 1) que servirá de guía para el desarrollo del proyecto en cuestión

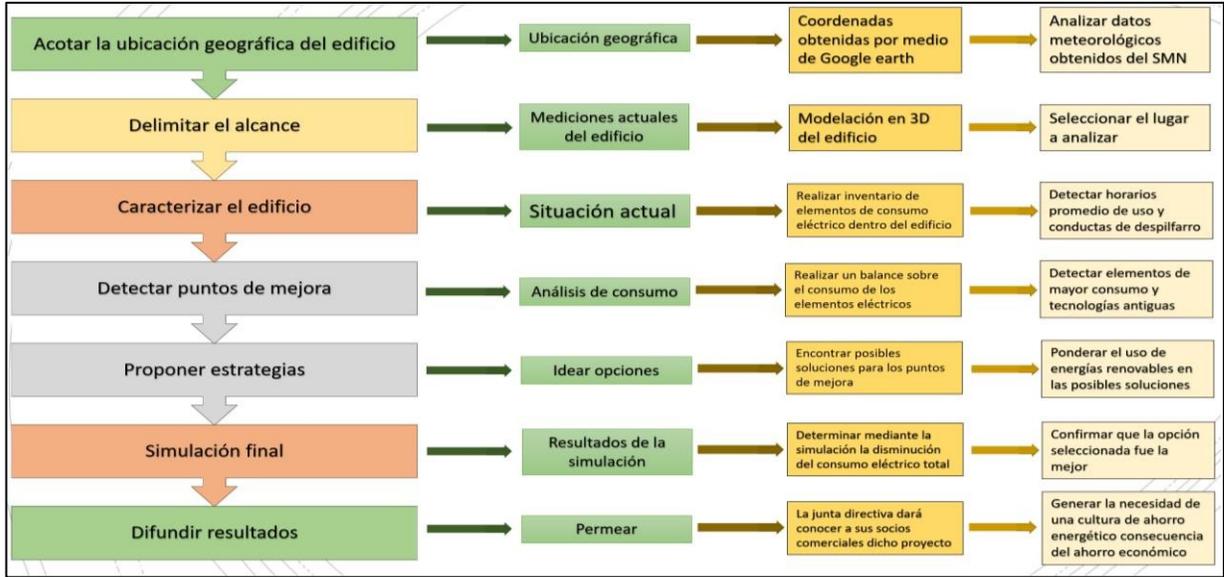


Figura 1 Diagrama metodológico, fuente propia.

El edificio de CANACO Servytur Veracruz, se encuentra ubicado en el municipio de Veracruz, en el estado de Veracruz, México (Figura 2), el municipio tiene un clima cálido subhúmedo como se puede apreciar en el mapa de la (Figura 3).

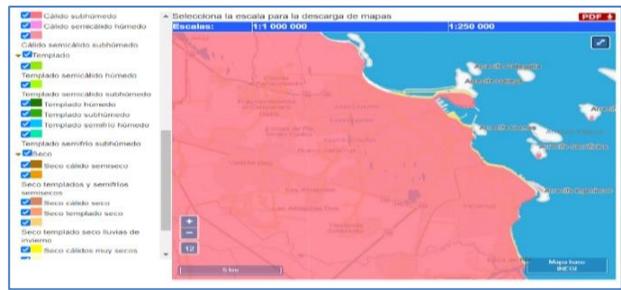


Figura 2 Estado de Veracruz, (Travelbymexico, 2017) Figura 3 Mapa climático del municipio de Veracruz (INEGI, 2020) La sede se encuentra ubicada en el centro del municipio, en un entorno completamente urbano como se muestra en la Figura 4



Figura 4 Ubicación de CANACO Servytur Veracruz, fotografía satelital por coordenadas (Google Earth, 2020)

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica del proyecto, se procede a realizar un reconocimiento del recurso renovable disponible en sitio, es decir, se realiza un análisis recopilatorio de los datos existentes de energías limpias con el que se cuenta en la zona de emplazamiento.

De primera instancia haciendo uso del programa AZEL(herramienta tecnológica en la cual resguarda información sobre los sitios o áreas geográficas que poseen alto potencial de aprovechamiento de los recursos energéticos renovables en México y que tiene correspondencia con el Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias del gobierno), se realiza un reconocimiento de las posibles energías existentes en sistema, pudiendo encontrar energía eólica (Figura 5) , biomasa (Figura 6), energía geotérmica (Figura 7) y energía solar (Figura 8), siendo la eólica y solar las más significativas



Figura 5 Mapa de zonas con alto potencial de energía eólica en México (SENER, CFE, 2018.)



Figura 6 Mapa de zonas con alto potencial de biomasa en México (SENER, CFE, 2018)



Figura 7 Mapa de zonas con alto potencial de energía geotérmica en México (SENER, CFE, 2018.)



Figura 8 Mapa de zonas con alto potencial de energía solar en México (SENER, CFE, 2018)

Dichas energías se plasman en el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), el cual presenta información sobre el aprovechamiento de las fuentes de energía limpia para la generación de electricidad.

El potencial de estas fuentes de energía está clasificado en Potencial Probado, Potencial Probable, Potencial Posible y Potencial del Recurso (potencial bruto), (INEL, 2021). Además, cuentan con datos de carácter informativo sobre las zonas de protección ambiental, riesgo climático, riesgo geológico, riesgo social, entre otras.

A diferencia de AZTEL quien muestra las zonas de alto potencial, en INEL se puede visualizar todo tipo de potencial desde el rango inicial de 0, mostrando con ello la disponibilidad real en todo el territorio nacional. Con lo cual se podrá corroborar la integridad de la información de ambas fuentes, además de tener un acercamiento a una cifra más precisa, pues es posible posicionarse directamente en el punto de emplazamiento y saber en qué rango de potencial se encuentra, como se puede observar en las Figuras 9 y 10 en cuanto a energía solar y en las Figuras 11 y 12 respecto a energía eólica.



Figura 9 Potencial solar en todo el territorio nacional (INEL, 2021.)



Figura 10 Potencial de energía solar en la ciudad de Veracruz (INEL, 2021)

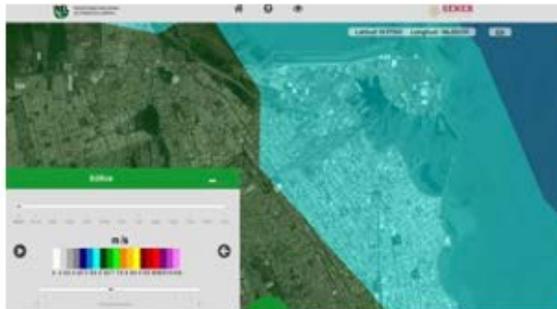


Figura 11 Velocidad del viento en la ciudad de Veracruz (INEL, 2021)

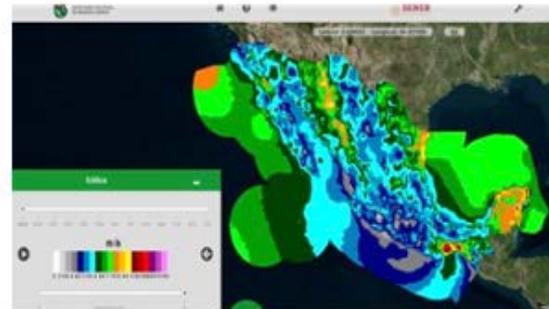


Figura 12 Velocidad del viento en el territorio nacional (INEL, 2021)

Para tener una comparativa equivalente se optó por recurrir a la documentación de los datos históricos provenientes de la NASA, mediante el uso de la herramienta HOMER, obteniendo resultados similares en pro de ambas energías como se detalla en las Figuras 13 y 14, donde se puede visualizar datos promedio recopilatorios de 25 años, del recurso eólico y solar consistente en el sitio de emplazamiento respectivamente.

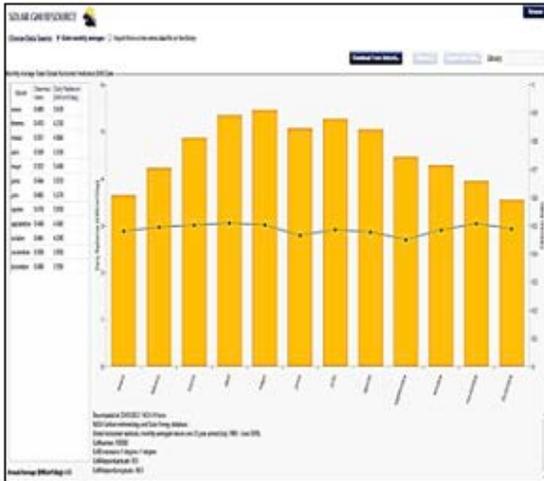


Figura 13 Irradiancia solar promedio in site 4.6kWh/m², (HOMER, 2021)



Figura 14 Velocidades del viento promedio in site 4.45m/s, (HOMER, 2021)

Derivado de los datos comparados en distintas fuentes, estudios y recursos, se obtuvo como resultado una equivalencia muy cercana entre ellos.

Sin embargo, también puso en evidencia los cambios del recurso renovable a través de las estaciones del año, siendo el recurso eólico el que cuenta con mayor estacionalidad. En cuanto a la manera de captar energía solar se sabe que es mediante fotoceldas y la del viento mediante aerogeneradores.

En cuanto a la sensibilidad entre la generación de ambas energías, la energía eólica tiene mayores retos a la hora de generar energía eléctrica en lugares con bajas velocidades de viento, convirtiendo este tipo de situaciones en un problema a analizar de forma detallada, es decir, un aerogenerador puede comenzar a producir energía eléctrica a partir de los 2.5m/s y puede hacerlo hasta los 12 m/s dependiendo del área de barrido y modelo del fabricante, sin embargo una fotocelda, puede generar energía eléctrica en un rango minúsculo, pues es capaz de generar electricidad aunque se encuentre en un día nublado, por consecuencia, es menos susceptible al impacto del cambio ambiental disponible en este sitio de emplazamiento.

En el promedio mensual de la irradiancia solar no existe un cambio significativo, sin embargo, en el recurso eólico es el caso contrario, con base en esta afirmación se debe tener en cuenta la selección de un aerogenerador adecuado para este tipo de velocidades y vulnerabilidades, pues no se deberá seleccionar un aerogenerador que permanezca inutilizado en temporadas donde la velocidad del viento descienda por debajo del límite de dicha generación, en consecuencia se tiene que seleccionar un aerogenerador que comience a producir electricidad en consistencia al menor promedio mensual de dicha velocidad.

Por tanto, el tipo de energía en la cual se debe tener mayor estudio es la energía eólica, para ello, se realizó una caracterización del recurso eólico disponible a fin de identificar su potencial energético, recabando datos provenientes de

CONAGUA, usando como fuente la estación de medición del viento más cercana, siendo ésta, ubicada en la zona conurbada Veracruz-Boca del río, en las oficinas administrativas de CONAGUA, con dirección en: Privada Profesor César Luna Bauza S/N Esq. Av. Urano No. 19 Colonia Ylang Ylang, CP. 94298.

Mediante el software WRplot View se modelaron las rosas de los vientos y turbulencias, mismas que se representan en las figuras 15 y 16, además se estudiaron cada uno de los datos necesarios, requeridos para su clara interpretación y análisis, como se puede apreciar en cuadro 1, correspondiente a la figura 17 y el cuadro 2, correspondiente a la figura 18.

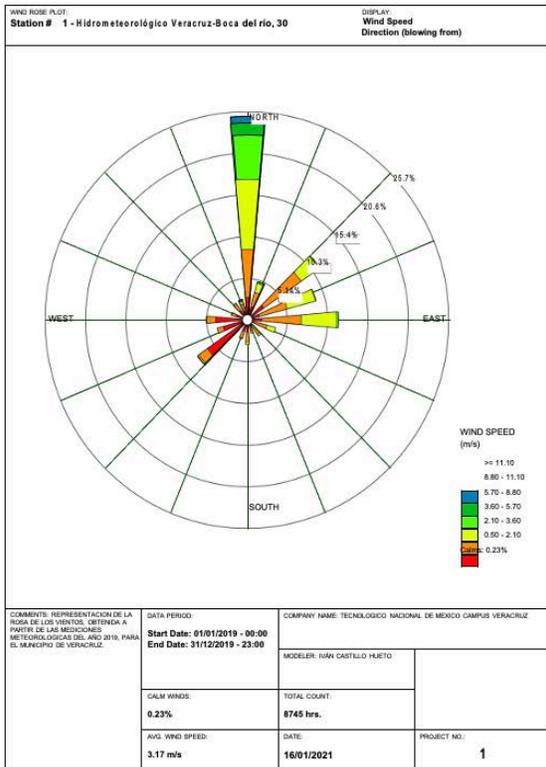


Figura 15 Rosa de los vientos para el año 2019 en Veracruz (View, 2016).

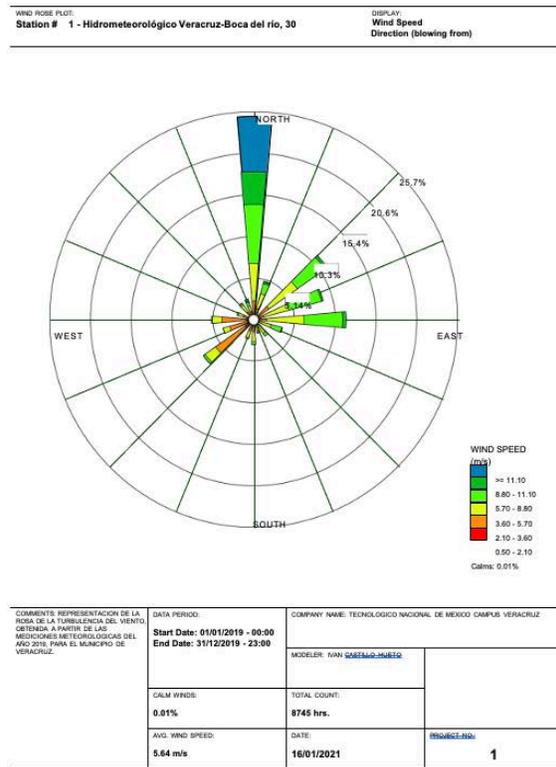
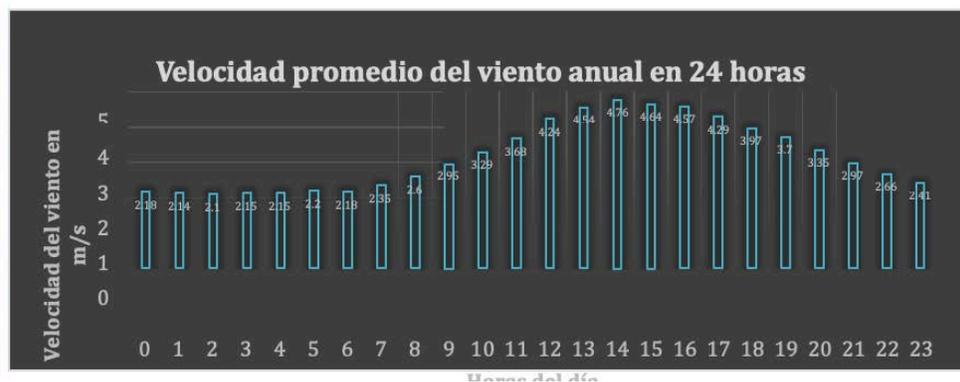


Figura 16 Rosa de turbulencia del viento para el año 2019 2019 en Veracruz (View, 2016).

Horas del día	Promedio anual m/s
0	2.18
1	2.14
2	2.1
3	2.15
4	2.15
5	2.2
6	2.18
7	2.35
8	2.6
9	2.95
10	3.29
11	3.68
12	4.24
13	4.54
14	4.76
15	4.64
16	4.57
17	4.29
18	3.97
19	3.7
20	3.35
21	2.97
22	2.66
23	2.41



Cuadro 1 Figura 17 Velocidad promedio del viento anual en formato de 24 horas para Veracruz 2019



Cuadro 2

Figura 18 Velocidad promedio de la turbulencia del viento anual en formato de 24 horas para Veracruz 2019

Para realizar la comparación entre aerogeneradores, se escogieron turbinas que generen energía a bajas velocidades y sean las más usuales del mercado, además de analizar la generación de los diferentes tipos de curvas que surgen al momento de estudiar un aerogenerador, así como también su utilidad respecto a la modelación y simulación en un emplazamiento real.

Los aerogeneradores seleccionados fueron los siguientes:

- Aerogenerador Horizontal Windspot 1500 W.
- Aerogenerador vertical DS1500 1500 W.
- Aerogenerador Horizontal Enair E70 pro-4000 W.
- Aerogenerador vertical UGE-4K 4000 W.

En la figura 20, se plasma la comparación de la generación anual en kWh que produce cada una de las 4 turbinas eólicas, recalcando la diferencia entre turbinas de la misma capacidad, pero de diferente eje, horizontal y vertical.

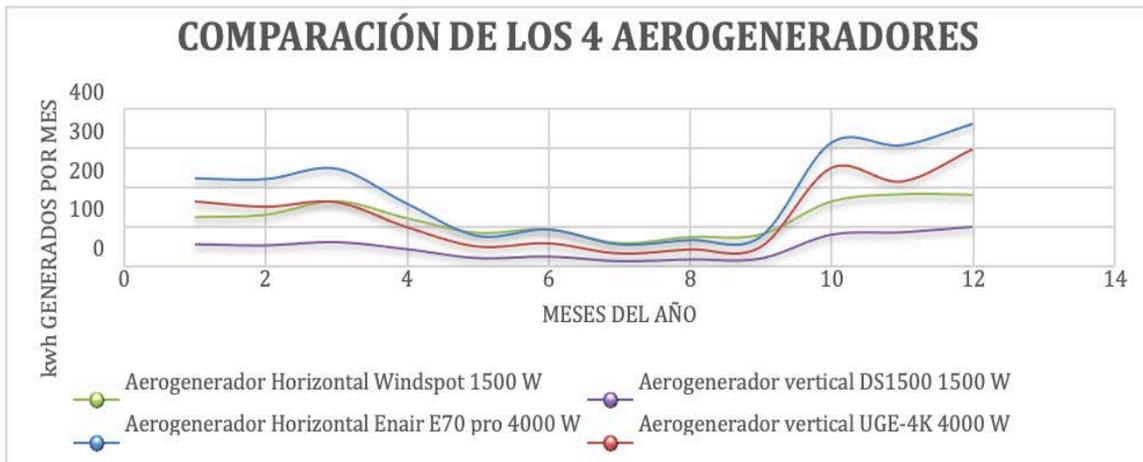


Figura 20 Comparativo de generación eléctrica según distintos aerogeneradores, fuente propia

El edificio fue modelado en 3D Mediante el software Idea Architecture, dividiendo cada piso en secciones, como se muestra en las Figuras 21, 22, 23, 24, 25 y 26.

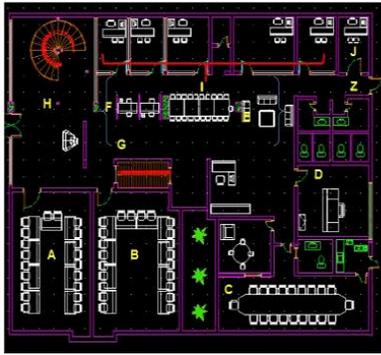


Figura 21 Plano de la planta baja realizado con el software (IDEA, 2020), fuente propia.

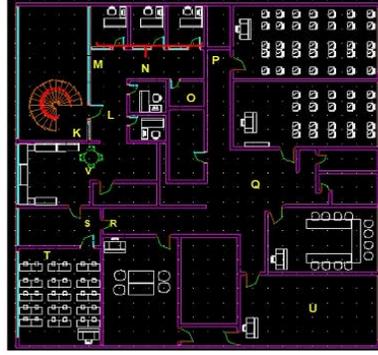


Figura 22 Plano del primer piso realizado con el software (IDEA, 2020), fuente propia.

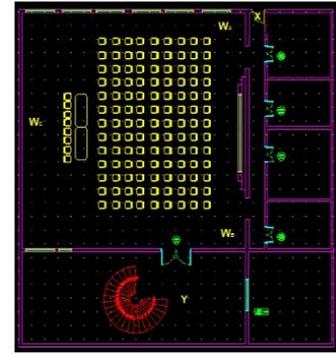


Figura 23 Plano del segundo piso realizado con el software (IDEA, 2020), fuente propia.

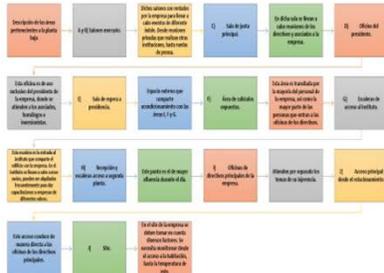


Figura 24 Diagrama de la sección operativa de la primera planta en CANACO Servytur Veracruz, fuente propia.



Figura 25 Diagrama de la sección operativa del primer piso en CANACO Servytur Veracruz, fuente propia.



Figura 26 Diagrama de la sección operativa del segundo piso en CANACO Servytur Veracruz, fuente propia.

Para conocer realmente el comportamiento en el consumo eléctrico de la edificación, se recurre a realizar un cuestionario energético, en el cual se recabaron los siguientes datos:

- ¿En qué horario arrendan los salones de conferencias del primer y tercer piso?
- ¿En cuánto los alquilan por hora?
- ¿Horario laboral, en días y horas?
- ¿Cuántos colaboradores existen en total dentro del edificio, y cuantos hay ubicados por piso?
- Número promedio de personas que visitan las instalaciones al día.
- Número de ocupación de cada salón que en renta.
- Que aparatos quedan encendidos durante la noche incluyendo el número y tipo de luminarias

Dicho cuestionario tuvo el objetivo de conocer con certeza los horarios operativos del edificio, así como de sus horas de mayor demanda energética. En los cuadros 3, 4, 5 y 6, se realizó una descripción detallada, de los aspectos técnicos del edificio relacionados al consumo de energía, cabe destacar para la alimentación de cada contacto dúplex, se consideran un total de 180 W como se señala en (DOF, 2021). Así mismo se aclara que el número de días laborales en promedio mensual es de 21.75 días, numero por el cual se multiplicara el consumo tabulado en los cuadros siguientes.

PRIMERA PARTE PLANTA BAJA DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ								
Descripción del espacio existente	Concepto	Unidad	Cantidad	Watts	Watts acumulados	Uso diario (horas)	Total diario (Wh)	Porcentaje total
13 espacios pequeños destinados a cubículos personales y necesidades varias.	Tomacorriente dúplex polarizado ajenos al consumo tipo	Pza.	24	180	4,320	09:00-15:00 (6)	25,920	4.02
	Tubos Fluorescentes	Pza.	8	18	144	8	1,152	0.18
	Tubos led	Pza.	7	18	126	8	1,008	0.16
	Bombillas	Pza.	10	13	130	8	1,040	0.16
	Lámparas Circulares	Pza.	4	24	96	8	768	0.12
2 espacios medianos destinados a sala de espera o preparación.	Lampara colgantes tubulares	Pza.	35	50	1750	8	14,000	2.17
	Dicroicos luz blanca	Pza.	20	6	120	8	960	0.15
3 espacios grandes dedicados para reuniones.	Impresora / fotocopiadora	Pza.	1	120	120	.5	60	0.01
	Cafetera	Pza.	1	1600	1,600	2	3,200	0.50
	Microondas	Pza.	1	2500	2,500	.5	1,250	0.19
	Frigobar	Pza.	1	341	170	24	4,080	0.63
	Laptops	Pza.	5	19.5	97.5	8	780	0.12
Refrigerador	Pza.	1	17.4	190	24	4,560	0.71	
				TOTAL DIARIO:	58,788 Wh			9.13 %

Consumo mensual aproximado primera parte planta baja: (58,788 Wh) (21.75) = 1,278.65kWh

SEGUNDA PARTE PLANTA BAJA DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ								
Descripción del espacio existente	Concepto	Unidad	Cantidad	Watts	Watts acumulados	Uso diario (horas)	Total diario (Wh)	Porcentaje total
13 espacios pequeños destinados a cubículos personales y necesidades varias.	Licudadora protec	Pza.	1	400	400	.1	400	0.06
	Licudadora silex	Pza.	1	1,310	1310	.1	1,310	0.20
	Proyectors	Pza.	3	249	747	4	2,988	0.46
	Televisores	Pza.	1	350	110	6	660	0.10
	Modems	Pza.	5	20	100	24	2,400	0.37
2 espacios medianos destinados a sala de espera o preparación.	Swich	Pza.	1	100	100	24	2,400	0.37
	UPS	Pza.	1	120	120	24	2,880	0.45
	Monitor CPU server	Pza.	1	350	350	8	2,800	0.43
3 espacios grandes dedicados para reuniones.	Mini Split 18,000 BTU	Pza.	1	1,800	1,920	1.5	2,700	0.42
	Mini Split 24,000 BTU	Pza.	1	2,000	2,000	6	14,400	2.24
	Mini Split 36,000 BTU	Pza.	3	3,600	3,800	6	21,600	3.35
	Acondicionador de aire central separado 70,000 BTU		1	7,000	7,000	6	42,000	6.52
Acondicionador de aire VRF 100,000 BTU		2	10,000	20,000	8	160,000	24.85	
				TOTAL DIARIO:	256,538 Wh			39.84%

Consumo mensual aproximado segunda parte planta baja: (256,538 Wh) (21.75) = 5,579.7kWh

Cuadro 3 Cargas eléctricas primera parte de la planta baja del edificio CANACO Servytur Veracruz, fuente propia

Cuadro 4 Cargas eléctricas segunda parte de la planta baja del edificio CANACO Servytur Veracruz, fuente propia

PRIMER PISO DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ								
Descripción del espacio existente	Concepto	Unidad	Cantidad	Watts	Watts acumulados	Uso diario (horas)	Total diario (Wh)	Porcentaje total
8 espacios pequeños, dedicados a oficinas y necesidades varias.	Tomacorriente dúplex polarizado	Pza.	28 menos 15 de los ordenadores	180	2,340		18,720	2.91
	Ordenadores	Pza.	15	350	5,250	8	42,000	6.52
2 espacios medianos dedicados a sala de descanso y juntas.	Mini Split 24000 BTU I	Pza.	1	2000	2000	8	16,000	2.48
	Mini Split 24000 BTU I	Pza.	1	2355	2355	8	18,840	2.93
6 espacios grandes destinados a aulas.	Mini Split 17000 BTU I	Pza.	1	1740	1740	8	13,920	2.16
	Mini Split 17000 BTU I	Pza.	1	2355	2355	8	18,840	2.93
	Mini Split 18000 BTU I	Pza.	1	1600	1600	8	12,800	1.99
	Mini Split 17000 BTU I	Pza.	1	1740	1740	8	13,920	2.16
	Mini Split 23000 BTU I	Pza.	1	2355	2355	8	18,840	2.93
	Mini Split 23000 BTU I	Pza.	1	2355	2355	8	18,840	2.93
Tubos Fluorescentes	Pza.	8	18	144	8	1,152	0.18	
Tubos led	Pza.	10	18	180	8	1,440	0.22	
Bombillas	Pza.	11	13	143	8	1,144	0.18	
Lámparas Circulares	Pza.	10	24	240	8	1,920	0.30	
Lampara colgantes tubulares	Pza.	30	50	1500	8	12,000	1.86	
Dicroicos luz blanca	Pza.	10	6	60	8	480	0.07	
				TOTAL DIARIO:	192,016 Wh			29.82%

Consumo mensual aproximado del primer piso: (192,016 Wh) (21.75) = 4,176.35kWh

Cuadro 5 Cargas eléctricas del primer piso del edificio CANACO Servytur Veracruz fuente propia

SEGUNDO PISO DEL EDIFICIO CANACO SERVYTUR VERACRUZ								
Descripción del espacio existente	Concepto	Unidad	Cantidad	Watts	Watts acumulados	Uso diario (horas)	Total diario (Wh)	Porcentaje total
2 espacios pequeños destinados a necesidades múltiples.	Tomacorriente dúplex polarizado	Pza.	10	180	5,040	6	30,240	4.70
	TRAFIE 50,000 BTU salón presidentes	Pza.	4	6,000	24,000	6	96,000	14.91
4 espacios medianos.	Tubos Fluorescentes	Pza.	2	18	36	6	216	0.03
	Tubos led	Pza.	20	18	360	6	2,160	0.34
1 gran espacio ocupado como salón de eventos.	Bombillas	Pza.	10	13	130	6	780	0.12
	Lámparas Circulares	Pza.	4	24	96	6	576	0.09
	Lampara colgantes tubulares	Pza.	17	50	850	6	5,100	0.79
Lampara de techo tubulares	Pza.	9	28	252	6	1,512	0.23	
Dicroicos luz blanca	Pza.	2	6	12	6	72	0.01	
				TOTAL DIARIO:	136,656 Wh			21.22 %

Consumo mensual aproximado del segundo piso: (136,656 Wh) (21.75) = 2,972.25kWh

Cuadro 6 Cargas eléctricas del segundo piso del edificio CANACO Servytur Veracruz fuente propia

En la Figura 27, se observa de manera puntual el porcentaje del consumo eléctrico total del edificio, se muestra de forma separada respecto al rubro de cada sección, de manera tal, que se pueda comprender el impacto que tiene cada sector de demanda dentro del inmueble

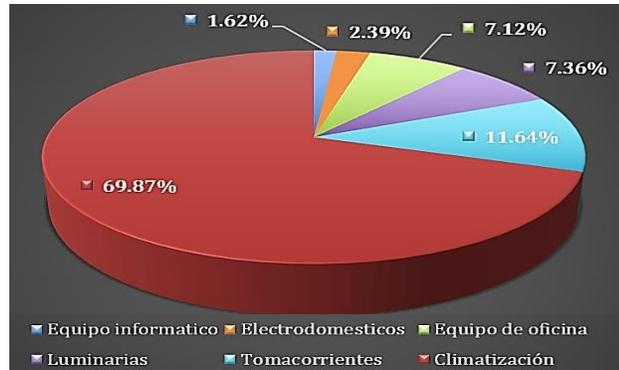


Figura 27 Representación proporcional del consumo eléctrico por rubro, fuente propia

Con base en el análisis anterior, se ponderó el uso de la energía solar fotovoltaica y energía eólica, para disminuir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red, consiguiendo con ello un ahorro monetario significativo, el cual será equivalente únicamente al primer piso, pues el espacio de instalación para dicha tecnología es limitado. Tomando como base el consumo eléctrico diario para el primer piso Cuadro 7, (planta actual a sustituir por energía renovable), se puede visualizar las gráficas de comportamiento, diario (Figura 28), mensual (Figura 29) y anual (Figura 30).

Hora del día	Consumo promedio en kWh
0	2.500
1	2.500
2	2.500
3	2.500
4	2.500
5	2.500
6	2.500
7	2.500
8	10.000
9	22.000
10	22.000
11	22.000
12	22.000
13	22.000
14	16.000
15	16.000
16	2.500
17	2.500
18	2.500
19	2.500
20	2.500
21	2.500
22	2.500
23	2.500

Cuadro 7 comportamiento de consumo eléctrico primer piso

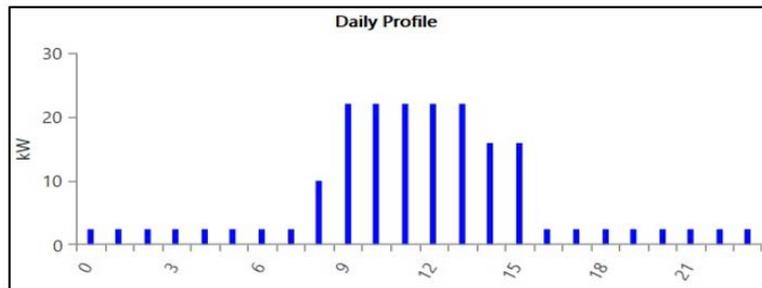


Figura 28 Gráfica del comportamiento diario (HOMER, 2021)

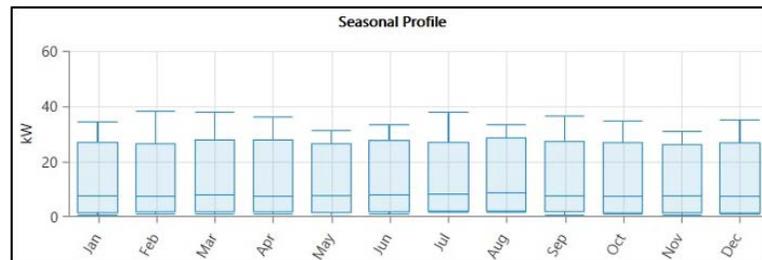


Figura 28 Gráfica del comportamiento mensual (HOMER, 2021)

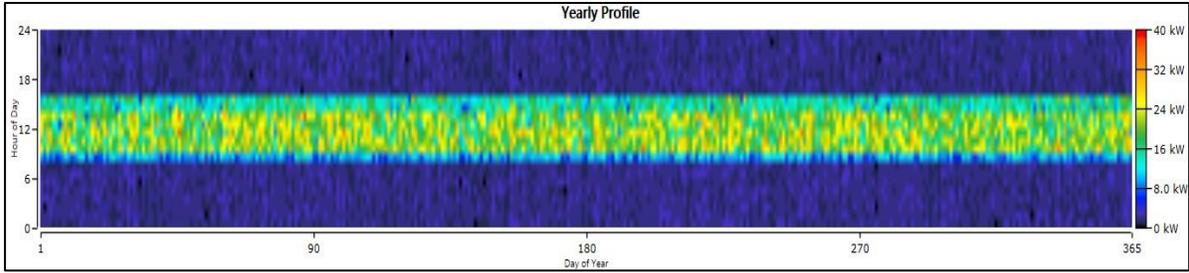


Figura 30 Gráfica del comportamiento anual (HOMER, 2021)

Según los cálculos, se tiene en consideración un consumo de 192kWh al día, sin embargo, se considera el promedio anual demandado solo por los días laborales. Esto es 365 días del año menos los 52 fines de semana, por tanto $365 - 104 = 261$ días.

Es decir 192 kWh multiplicado por 261 días de operación, resulta en un total de 50,112 kWh al año, y al dividirlo entre los 365 días, se obtiene el promedio anual de demanda para esta sección. Por tanto, la escala anual promedio es 137.29 kWh al día, dicha escala la proyectamos en HOMER y se obtiene la aproximación de tecnología a instalar previamente analizada Figura 31 y 32, donde se visualiza una fracción renovable del 70.7%, la cual es proveniente del diseño de un sistema híbrido compuesto por paneles solares, un sistema de conversión y un aerogenerador, su permeabilidad renovable se aprecia en las Figuras 33 y 34.

Architecture										Cost			System	
CS6U-330P (kW)	AWS1.5kW	1kWh LA	Grid (kW)	Converter (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (l/yr)		
29.3	1		999,999	18.7	0	CC	\$69,195	\$0.0913	\$3,502	\$23,927	70.7	0		

Figura 31 Representación de la fracción renovable en el sistema

CS6U-330P	Production (kWh/yr)	Capital Cost (\$)	AWS1.5kW	Production (kWh/yr)	O&M Cost (\$)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	1kWh LA	Nominal Capacity (kWh)	Usable Nominal Capacity (kWh)	Converter	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)
13,604	41,691	4,700	2,935	20.0							0	4.40		17,154	8,230

Figura 32 Representación de la producción de energía eléctrica por separado

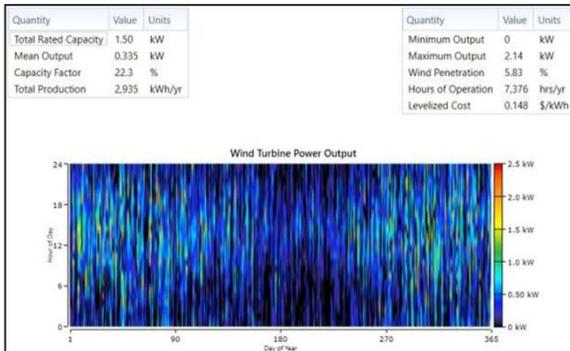


Figura 33 Permeabilidad renovable del viento en aerogenerador.

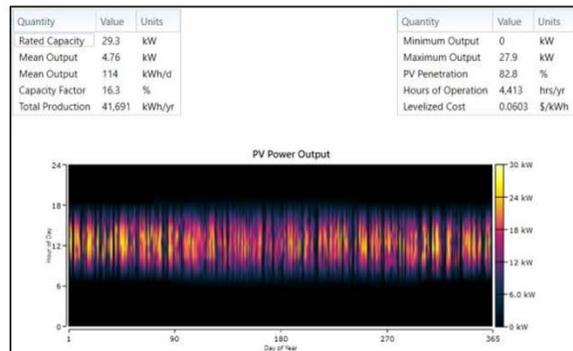


Figura 34 Permeabilidad renovable de la radiación solar en las fotoceldas

En dicha simulación se optó por la selección de paneles solares Canadian Solar Max power CS6U-330P, debido a su facilidad de compra, a su alta eficiencia y bajo costo, por otro lado, se incorporó el aerogenerador horizontal Windspot 1500W al ser el de mayor impacto en el análisis del viento mencionado anteriormente. Por tanto, la inversión inicial se sitúa en el rango de los 23,927 dólares como se observa en la Figura 35, que al convertirlos en pesos mexicanos da un total aproximado de \$478,000.

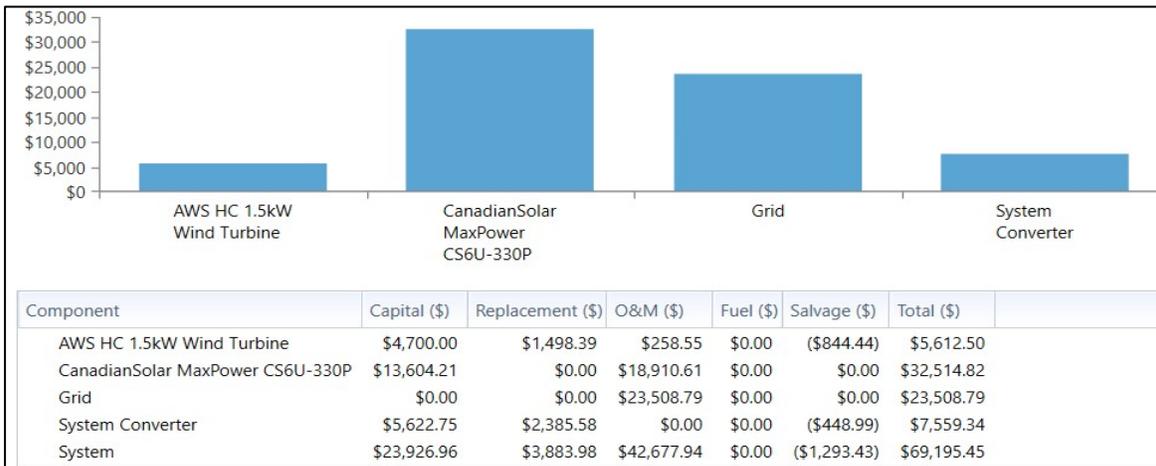


Figura 35 Resultados de la simulación realizada en HOMER

El ciclo de vida se ha estima en 25 años, y su costo a lo largo del proyecto es de 69.195 dólares, es decir \$1,380,000 pesos. Es decir que, al dividirlo entre 300 meses, queda un costo mensual de \$4,600 pesos, de los cuales \$1,567 se comprarán de la red y \$3,033 serán generados de manera limpia por el sistema híbrido implementado.

Conclusiones

El gran alcance comercial de CANACO SERVYTUR Veracruz, es una de las razones por las cuales, la estrategia de disminución energética realizada permeará y tendrá un mayor alcance, pues este resultado, será ejemplo para todos sus asociados, entre los cuales se encuentra el sector hotelero, siendo éste, de suma relevancia, pues buscan constantemente alternativas que les permitan disminuir sus costos, siendo su principal carga económica, el gasto de energía eléctrica. Además, con estas acciones se realiza un exhorto a todos los agremiados, para probar una alternativa sustentable, amigable con el planeta y mucho más redituable.

Referencias

- Borroto Nordelo Anibal, Lapido Rodriguez Margarita, Monteagudo Yanes Jose, Armas Teyra Marcos, Montesino Perez Milagros, Delgado Castillo Joel, Padron Arturo, Viego Felipe Percy, G. P. F. (2005). Mejorar La Competitividad Empresarial. *Energética*, 65–69.
- DOF. (2021). NOM 001. 6.
- Google Earth. (2020). Google earth. <https://earth.google.com/web/@19.19708555,-96.14546894,9.70221047a,1094.58169166d,35y,0h,0t,0r>
- HOMER. (2021). Software HOMER. <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
- IDEA, A. (2020). No Title. https://www.4msa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=155&lang=es&Itemid=246
- INEGI. (2020). No Title. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#Mapa>
- INEL. (2021). Inventario Nacional de Energías Limpias. <https://dgel.energia.gob.mx/INEL/mapa.html?lang=es>
- SENER, CFE, G. (2018). ATLAS NACIONAL DE ZONAS CON ALTO POTENCIAL DE ENERGÍAS LIMPIAS. <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>
- Serrano. (2018). Document downloaded from: This paper must be cited as: Additional Information Statistical Methodology to Assess Changes in the Electrical Consumption Profile of Buildings. 99–108.
- Travelbymexico. (2017). México real. México Real. <https://doi.org/https://mr.travelbymexico.com/751-estado-de-veracruz/>
- View, W. (2016). Rosas de vientos. <https://wrplot-view.software.informer.com/7.0/>

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINA EN FRUTOS

PAOLA MONSERRAT GARCIA GARCIA¹, ADALBERTO GALINDO ALCÁNTARA², SILVIA DEL CARMEN RUIZ ACOSTA³

RESUMEN

Los plásticos sintéticos han contribuido en gran parte al problema de la contaminación al ambiente en los diversos ecosistemas. Para contrarrestar los efectos que causan los desechos sólidos de baja degradabilidad, en los últimos 26 años, países como Colombia, Venezuela y México han impulsado el uso de materiales biodegradables provenientes de fuentes naturales como la pectina para reemplazarlos. La pectina es un biopolímero constituido principalmente por ácido galacturónico que se encuentra en la pared primaria y tejidos de diversos frutos y vegetales y tiene usos diversos como espesante, gelificante, estabilizante. Actualmente existe una buena cantidad de publicaciones científicas independientes que abordan el tema de la extracción de este biopolímero en frutos. No obstante, al utilizar diversos

métodos para el procedimiento e incluso presentar algunas diferencias en el uso del mismo método, los resultados de los estudios individuales pueden no reflejar completamente las bondades de los métodos. De este modo, el presente estudio tuvo como objetivo determinar los métodos de extracción de pectina, las soluciones extractivas y los valores de los parámetros del proceso de extracción que reportaron mayor uso entre los estudios analizados. Para ello se realizó una búsqueda bibliográfica intensiva en plataformas de acceso abierto y paga, utilizando palabras clave. Las publicaciones encontradas se sometieron a un proceso de descarte a partir de donde se obtuvieron 42 estudios para su análisis. Los resultados parciales indican que el método de hidrólisis ácida fue el más utilizado para la extracción de la pectina en frutos y que el ácido clorhídrico, así como el ácido cítrico fueron las soluciones extractivas de mayor uso en el procedimiento.

Palabras clave: Métodos extracción pectina, pectina, pectina en cítricos, extracción de pectina, obtención de pectina.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITZO), Prolongación de Ignacio Zaragoza, S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya. CP. 86150, Villahermosa, Tabasco

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITZO), Prolongación de Ignacio Zaragoza, S/N, Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco. Silvia.ra@zolmeca.tecnm.mx

Introducción

Los residuos agroindustriales se han estudiado en diversos países como México, ya que gracias a sus componentes pueden ser aprovechados para la generación de alternativas que ayuden a reducir la contaminación. Estos desechos han dejado de ser un problema para convertirse en materia prima potencial (Mejías Brizuela et al., 2016).

En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) alcanzó

53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (10.24 millones de t más generadas en ese período). El reemplazo total de los plásticos sintéticos por materiales biodegradables no se ha logrado hasta el presente, no obstante, si se han sustituido algunos polímeros sintéticos por otros naturales, en aplicaciones específicas (López et al., 2019; Villada et al., 2007).

Los polímeros sintéticos están siendo reemplazados gradualmente por materiales biodegradables de fuentes naturales como la pectina. Este es un biopolímero constituido principalmente por ácido galacturónico que se encuentra primordialmente en la pared primaria y tejidos de diversos frutos y vegetales como naranja, guayaba, maracuyá, manzana, etc. Para su producción pueden utilizarse residuos sólidos resultantes de la agroindustria productora de jugos tales como la cáscara y la pulpa de cítricos (Campo Vera et al., 2016; López et al., 2019; Serrat Díaz et al., 2018; Zapata Z. Arley D.; Escobar G. Carlos A.; Cavalitto, Sebastián F.; Hours, 2009).

De la cáscara de cítricos pueden obtenerse otros productos como aceites esenciales y pectinas. Debido a sus propiedades gelificantes y biodegradabilidad el biopolímero puede ser empleado a nivel agrícola, así como en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica para obtener mermeladas, gelatinas, jabones, etc. (Chasquibol Silva et al., 2008; Devia Pineda, 2003; López et al., 2019). Los estudios referentes a los métodos de extracción de pectina son escasos, por eso en la presente revisión sistemática se pretende estudiar los diferentes métodos de obtención de pectina haciendo uso de una materia prima tan importante como los diferentes frutos, especialmente aprovechando su cáscara; así mismo apoyando a disminuir el impacto negativo de estos residuos generados al medio ambiente (Acevedo Verger y Ramírez Diaz, 2011).

Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo general realizar una revisión sistemática sobre los métodos para la extracción de pectina en frutos. Los objetivos específicos son:

- Construir una base de datos de acuerdo con los criterios que se presenten.
- Identificar cuáles son los diferentes métodos de extracción de pectina.

Materiales y Métodos

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica centrada en localizar aquellos artículos científicos en los cuales se estudiará la extracción de pectina en frutos. La búsqueda se realizó en diversas plataformas de paga incluyendo las de acceso abierto EBSCO, Elsevier, Google Académico, Repositorio TECNM, Redalyc, Dialnet y Scielo utilizando las palabras claves “Métodos Extracción Pectina”, “Pectina”, “Biopolímeros” y “Extracción de Pectina”. La búsqueda sistemática dio como resultado 61 artículos publicados en los años comprendidos entre 1995 a 2020. Se procedió a excluir los trabajos que no cumplieran con los criterios de inclusión, dando una sensibilidad de 40 artículos. Cabe señalar que los artículos que presentaron más de una metodología fueron tomados como estudios separados, por lo que finalmente se incluyeron 65 estudios en la revisión sistemática. Posteriormente se procedió a la elaboración de una base de datos en el programa Microsoft Excel a partir de la cual se llevó a cabo el análisis de la información.

Resultados

En la revisión sistemática se incluyeron un total de 65 estudios que se seleccionaron a partir del proceso de búsqueda, descarte y criterios de inclusión.

Distribución de las publicaciones según el país de origen y año de publicación.

Tras la aplicación de los criterios, los resultados muestran que los 42 artículos fueron realizados en 10 países diferentes, destacando Colombia con el mayor número de publicaciones (30%), seguido de Venezuela con un 22.5% y México posicionándose en la tercera posición con el 12.5%.

La mayor parte de las publicaciones fueron realizadas durante el año 2017 (12.5%), seguido de los años 2015, 2018 y 2019 con un 10% cada uno; así como, los años 2008 (7.5%), 2010 (7.5%), 2011 (7.5%) y 2013 (7.5%). Estos artículos se encuentran dentro del área de conocimiento agrícola.

Objetivos y metodologías de investigación

Todas las publicaciones analizadas en esta revisión parten de la misma base investigativa. Los objetivos de cada estudio pueden organizarse a grandes rasgos en 15 grupos (Tabla 1). El primer grupo “Extracción y Caracterización de la pectina” cumplió con los criterios propuesto en esta revisión sistemática, este grupo abarca el 48% de todos los objetivos de los artículos usados en la base de datos, mientras que los grupos restantes abarcan un 2% cada uno y estos estudian o evalúan el efecto de la pectina en diferentes ámbitos o modifican los métodos de extracción aplicados para obtener la pectina.

Tabla 1. Objetivos de la investigación

Objetivos de la Investigación	Publicacione
Extracción y caracterización de pectina.	Ferreira <i>et al.</i> , 1995; Vásquez <i>et al.</i> , 2008; Chasquibol <i>et al.</i> , 2008; Fredes <i>et al.</i> , 2009; Cuesta <i>et al.</i> , 2010; Leite <i>et al.</i> , 2010; Loyola <i>et al.</i> , 2011; Arellanes <i>et al.</i> , 2011; Dos Santos <i>et al.</i> , 2012; Púa <i>et al.</i> , 2015; Chaparro <i>et al.</i> , 2015; Curbelo <i>et al.</i> , 2016; Barreto <i>et al.</i> , 2017;
Evaluación del contenido de pectina en diferentes genotipos	Chacín <i>et al.</i> , 2010;
Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina.	Cerón <i>et al.</i> , 2010; Cerón <i>et al.</i> , 2011; Pérez, 2019.
Aprovechamiento de residuo agroindustrial.	García <i>et al.</i> , 2012.
Optimización del proceso de extracción de pectina	Alatriste <i>et al.</i> , 2013.
Efecto de dos fases de maduración sobre la cantidad de pectina obtenida	Sindoni <i>et al.</i> , 2013.
Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina	Bello <i>et al.</i> , 2014.
Efecto del grado de madurez sobre las propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas	Paredes <i>et al.</i> , 2015.
Efecto del pretratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina	Campo <i>et al.</i> , 2016.
Estudio del efecto fisiológico del consumo de arepas enriquecidas con pectina extraída	Ortiz, 2017.
Influencia del estado de coloración y del agente de extracción sobre la obtención de pectina	Cuenca <i>et al.</i> , 2017.
Implementación de un método de extracción de pectina	Guerrero <i>et al.</i> , 2017.
Modificaciones en los métodos para extraer pectina	Haddad <i>et al.</i> , 2018.
Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y capacidad de rehidratación	Muñoz <i>et al.</i> , 2018.

Los métodos de extracción de pectina que se utilizan en los estudios analizados, al igual que con sus objetivos, pueden agruparse según las técnicas utilizadas para lograr el propósito de cada estudio (Tabla 2). Estos métodos se agruparon en 13 clases, destacando la Hidrólisis Ácida como el método de extracción más utilizado (73.8%). Sin embargo, este grupo se subdividió en 3 al encontrar que 2 de estos

métodos recibieron asistencia, uno por microondas y otro por ultrasonido. De esta manera la hidrólisis ácida sin asistencia fue reportada como la clase más utilizada para la extracción de pectina en el 69.19% de las publicaciones estudiadas. La hidrólisis ácida asistida por ultrasonido y por microondas fueron reportadas con 1.54 y 3.06% respectivamente. Aunque el método de hidrólisis ácida es el más utilizado, se pueden encontrar una variedad de métodos para llevar a cabo la extracción de pectina y en cada uno de estos se pueden encontrar variadas soluciones que se emplean para la extracción.

Tabla 2. Métodos de extracción

Técnica o Método	Publicacione
Hidrólisis Ácida	Ferreira, <i>et al.</i> , 1995; Devia, <i>et al.</i> , 2003; Vásquez, <i>et al.</i> , 2008; Chasquibol, <i>et al.</i> , 2008; Fredes, <i>et al.</i> , 2009; Loyola, <i>et al.</i> , 2011; Muñoz, 2011; Arellanes, <i>et al.</i> , 2011; Cerón, <i>et al.</i> , 2010; Cuesta, <i>et al.</i> , 2010; Leite, <i>et al.</i> , 2010; Cerón, <i>et al.</i> , 2011; Loyola, <i>et al.</i> , 2011; Muñoz, <i>et al.</i> , 2011; García <i>et al.</i> , 2012; Alatríste, <i>et al.</i> , 2013; Sindoni, <i>et al.</i> , 2013; Púa, <i>et al.</i> , 2015; Chaparro, <i>et al.</i> , 2015; Campo. <i>et al.</i> , 2016; Curbelo, <i>et al.</i> , 2016; Montaña, <i>et al.</i> , 2016; Barreto, <i>et al.</i> , 2017; Cuenca, <i>et al.</i> , 2017; Pérez, 2019; Rendón, <i>et al.</i> , 2019; Suárez, <i>et al.</i> , 2019; Ávila, <i>et al.</i> , 2020; Ramírez, <i>et al.</i> , 2020.
Hidrólisis Ácida asistida por Microondas	Zegada, <i>et al.</i> , 2015; Urango, <i>et al.</i> , 2018.
Hidrólisis Ácida asistida por Método de McCready	Meza, <i>et al.</i> , 2017.
Método Enzimático	Barazarte, <i>et al.</i> , 2008, García, <i>et al.</i> , 2012.
Medio Ácido	Zapata, <i>et al.</i> , 2009.
Método por Reflujo	Dos Santos, <i>et al.</i> , 2012; Serrat, <i>et al.</i> , 2018.
Método Químico	Guerrero, <i>et al.</i> , 2017.
Método Kliemann	Maidana, <i>et al.</i> , 2019.
Extracción con Etanol	Muñoz, <i>et al.</i> , 2018.
Agua Acidulada	Haddad, <i>et al.</i> , 2018.
Baño María	Chacín, <i>et al.</i> , 2010; Paredes, <i>et al.</i> , 2015.
Método Clásico de Extracción	Bello, <i>et al.</i> , 2014.
	Ortiz, <i>et al.</i> , 2017.

Parámetros empleados en la extracción de pectina.

Una de las partes más importantes en los métodos empleados para la extracción de la pectina es la solución extractiva que se adiciona a la hidrólisis. Del 100% de los datos de soluciones reportadas en los estudios, se encontró que el Ácido Clorhídrico resulto ser la solución más empleada (68.1%), seguida por el Ácido Cítrico con una presencia en los estudios del 26.1%

De acuerdo con los datos recabados en los estudios analizados, la fuente potencial de pectina más empleada entre los frutos fue el maracuyá con 15.7%, seguido por la naranja y guayaba con un 11.4% respectivamente. Ahora bien, respecto a la parte del fruto de la que se extrae la pectina, los resultados indican que la cáscara

de los frutos fue la más utilizada, contando con un 73% de los reportes, seguido de la pulpa con el 14% de las menciones, y el Albedo que obtuvo el 6% de los registros.

Las condiciones de valores a pH empleados para la obtención de pectina en el análisis realizado tuvieron un rango bastante amplio, abarcando desde 1,0 hasta 7,00 siendo reportado por el 97.14% de los estudios. El 44.8% de los trabajos reportados utilizaron en el proceso de extracción un pH ubicado en el rango de 1.0 a 2.2, seguido por el 40.3% de los estudios que reportaron utilizar un pH en el rango de 2.3 a 3.5. El potencial de hidrógeno menos utilizado en el proceso fue el ubicado en el rango de 6.2 a 7.4.

El 94% de estudios reportaron el dato de la temperatura a la cual se realiza el proceso de extracción de pectina. De estos, el 44% reporta la temperatura de 90°C como la más empleada para llevar a cabo el proceso. Este resultado dista mucho de las temperaturas que le siguen en orden de utilización, ya que las más próximas son 85° con un 12.3%, 80° y 60° con un 9.2% respectivamente. Las temperaturas de 20° e inferiores fueron las menos utilizadas.

El tiempo de extracción fue reportado en el 97.1% de los estudios, destacando como el tiempo más usado en el proceso el de 60min. con un 40.3%, seguido del tiempo de 90min. con un 11.9%

La precipitación de la pectina es un proceso que se realiza posterior al secado. Para realizar este proceso se adiciona Etanol a diferentes volúmenes. El 70% de los estudios analizados reportan este dato; de ellos, destaca que el 47.9% reporta haber utilizado Etanol con un volumen del 96% para la precipitación, seguido por un volumen de 95% con el 39.6% de los reportes.

Respecto a la temperatura a la que se realizó el secado de la pectina, únicamente el 34% de los estudios analizados presentó esta información. De estos, el 56.5% reportó haber llevado a cabo el secado a una temperatura de 40°. Únicamente el 4% mencionó utilizar temperaturas inferiores para el proceso.

El Grado de Esterificación (GE) es uno de los factores considerados como esenciales para obtener una buena calidad de pectina. Generalmente este se clasifica como alto (>50%) y bajo (<50%). En el análisis realizado, el 58% de los estudios reportaron este dato. Los valores del GE reportados mostraron un gradiente amplio que va desde 29% hasta

97%, lo que dio lugar a que se crearan 6 clases para su análisis. Los resultados indican que el 88% de los estudios se ubica en la clasificación alta. De estos, el mayor porcentaje se encuentra en el rango de valor de 85.70 a 97.03 con un 32.5%, seguido por los rangos de 63.02 a 74.35 y de 74.36 a 85.69 (8% respectivamente).

En lo que se refiere a la humedad, solo el 29% de los estudios analizados reportó estos valores, resultando la clase de 2.70 a 12.09 con un 73.7% la que mayor presencia obtuvo en los estudios. El valor de humedad superior a 21.49 fue el menor porcentaje de referencia.

Con referencia al porcentaje de Ácido Galacturónico (AGA) encontrado en la pectina a partir del método de extracción aplicado se encontró que el 57% de los autores reportan los valores de este elemento característico de la pectina. En este sentido, los resultados del trabajo indican que el rango entre 83.57 a 94.46 de AGA presente en la pectina fue el que presentó el mayor porcentaje de referencias con el 28.2% de los valores.

Así como el AGA, el metoxilo fue otro de los parámetros evaluados en la pectina extraída a partir de los métodos reportados. Este dato fue reportado por el 65% de los estudios incluidos en la revisión sistemática. Es importante señalar que los valores de metoxilo reportados fueron muy amplios, razón por la cual se clasificaron en 9 rangos, siendo el rango con valores de 0.83 a 9.59 de % de metoxilo el que se presenta con más frecuencia en la pectina.

Otro parámetro considerado en el estudio que caracteriza la calidad de la pectina obtenida es el porcentaje de cenizas que abarca de 0.59 a 5.40 se dividió en clases, siendo el rango 0.59 a 1.55 de porcentaje de ceniza como el más frecuente en los estudios (40%). Estos valores solo fueron reportados por el 29% de los estudios.

El tiempo y grado de gelificación, así como la viscosidad relativa son parte importante de la caracterización de la pectina. Sin embargo, estos parámetros no fueron contemplados en el análisis debido a que el porcentaje de datos reportados por los autores para cada uno de ellos fue muy bajo. La viscosidad relativa solo fue reportada por el 8.6%, seguido por el tiempo de gelificación con un 7.1% y el grado de gelificación con un 4.3%.

Discusión

Método y Tiempo

Zegada, (2015) indica que el tiempo de extracción por el método convencional varía entre 30 y 360 minutos. Sin embargo, diversos estudios del método microondas han obtenido buenos resultados con tiempos menores a 15 minutos. Aunque, a las ventajas de la extracción asistida por microondas, relacionadas al ahorro de energía y tiempo, existen algunos peligros con respecto al efecto de las ondas electromagnéticas en la estructura de la pectina. Es por ello, que la mayoría de los estudios analizados reportan el método de hidrólisis ácida como el más apto para llevar a cabo el proceso con un 75.4%. Ya que de acuerdo con Zegada (2015), el proceso de extracción convencional por hidrólisis ácida de la pectina da como resultado, una pectina con aproximadamente 70 % de esterificación

Así mismo, Zegada (2015) afirma que comparando el método microondas (HMO) con el convencional, mediante este último método se obtiene un incremento en el rendimiento de aproximadamente 23 %, con un incremento del tiempo de extracción de 200 %. Esto demuestra el ahorro en energía y tiempo permitido al aplicar el método HMO. Sin embargo, las características de calidad de la pectina obtenida por el método microondas, son inferiores a las del método convencional, obteniéndose una mayor pureza aplicando el método convencional.

Solución Extractiva (Ácidos)

Según Cabarcas, et al. (2012), Los ácidos solubilizan la protopectina, por esta razón se emplea medio ácido controlado en los procesos de extracción de la pectina; aceleran la separación de los metoxilos, si su efecto se continúa se afectan los enlaces glicosídicos 1 – 4 y se pueden romper, y a un pH fuertemente ácido, temperaturas altas y tiempos largos, se presenta la descarboxilación con formación de CO₂ y furfural. A bajas temperaturas predomina la saponificación y altas temperaturas la despolimerización. Por ello, en esta revisión sistemática el 68% usa como solución extractiva el Ácido Clorhídrico.

Según Cabarcas, et al. (2012), Al material sólido se le agrega la misma cantidad de agua usada inicialmente y a esta solución se le agrega ácido sulfúrico, ácido nítrico o, preferiblemente, ácido clorhídrico hasta obtener un pH entre 1.5 y 3.

Temperatura

Según lo reportando en Fredes, (2009) en (Barazarte, Sangronis and Unai, 2008) comprobaron que 90°C es una temperatura adecuada para extraer pectinas. Así mismo, (Zegada Franco, 2015) reporta que las temperaturas generalmente aplicadas para la extracción de pectina varían entre 40 y 100 °C. Gilabert ha demostrado que, aplicando una temperatura elevada (80 °C), durante un periodo mayor a 40 minutos, se reduce el tamaño de las cadenas y el poder gelificante de la pectina. Esto concuerda con el 45% de todos los estudios antes analizados, ya que llevan a cabo el proceso con una temperatura de 90° que es la adecuada como se menciona anteriormente.

pH

Zegada, (2015) reporta que El rango de pH generalmente utilizado para la extracción de pectina varía entre 1,5 y 3. Dentro de este rango, Joye, D. y Luzio, G., A. han probado que, sin adición de sales polivalentes, en extracciones con un pH entre 3 y 3,3 es posible extraer sólo la pectina no sensible al calcio, mientras que, con un pH cercano a 2 se logra, también, la extracción del resto de la pectina. Fishman, M. L., et al., utilizando valores de pH entre 1 y 3, han confirmado el incremento del rendimiento con el descenso del pH y, por otro lado, la obtención

de una mayor masa molar y viscosidad intrínseca con el incremento de este. Por lo tanto, es recomendable acercarse a un valor medio dentro de este rango.

En los resultados de esta revisión, destaca el pH 2 como el más presente en el 26.9% de los estudios ya que es el pH más recomendado. Esto concuerda con Gutiérrez (2000) quien destaca que el intervalo de pH que debe obtener la pectina es de 2,5 a 5,0, así como Campo Vera, (2016) nos dice que el pH es un parámetro fundamental para lograr una eficiente extracción de pectina, con un pH 2 o menor se logra extraer una mayor cantidad de pectina, mientras que con pH superiores el rendimiento disminuye, pero se logra obtener mejor calidad fisicoquímica. Esto concuerda con Camejo et al. (1996) y Vásquez et al. (2008) quienes observaron mejor extracción con pH más ácido, teniendo mejores resultados con pH 2.

De acuerdo con lo reportando en Fredes, (2009) en Barazarte et al. (2008) comprobaron que 90°C es una temperatura adecuada para extraer pectinas de la cáscara de cacao. Esto concuerda con el 44.6% de nuestros estudios, ya que estos reportaron una temperatura de 90°C como apta para el proceso de obtención de pectina.

Precipitación (Etanol)

Cabarcas, et al. (2012), reporta que en la etapa de precipitación de las pectinas se pueden emplear sales o alcoholes. Se prefieren estos últimos porque al usar las pectinas en la industria de alimentos se evitan residuos, mientras que con las sales es necesario un lavado muy cuidadoso para retirar todo residuo. En la precipitación de las pectinas se recomienda un volumen de alcohol equivalente al 80% de la solución que se va a precipitar.

Contenido de Humedad

Una pectina muy húmeda es difícil de pulverizar, se adhiere a las superficies y tienen menor estabilidad y tiempo de vida útil. Una pectina muy seca puede ser resistente a la molienda y presentar un color más oscuro (Cabarcas Henao, Esteban; Guerra Benedetti, Adrian Fernando; Henao Balseiro, 2012).

En esta revisión solo el 29% de los estudios reportaron este dato, a pesar de que la humedad de la pectina es un factor que incide directamente en la estabilidad de la pectina porque por sus características químicas permite el crecimiento de microorganismos, especialmente hongos como nos dice (Cabarcas Henao, Esteban; Guerra Benedetti, Adrian Fernando; Henao Balseiro, 2012).

Contenido de Acido Galacturónico

Según Zegada, (2015) la pureza de la pectina se mide mediante el porcentaje de ácido galacturónico. La FAO y la FDA indican que este tiene un valor mínimo de 65 %, aunque, según lo normado por la USP (United States Pharmacopeial

Convention) este porcentaje debe encontrarse encima del 74 %. De acuerdo con este dato, en los estudios el 56.4% el contenido de Ácido Galacturónico (AGA) en las pectinas contienen un valor mínimo como el antes mencionado. Arellanes, (2011) reporta que según Hwang et al. (1992), el % AGA es esencial para determinar la pureza y el grado de esterificación de las pectinas, siendo los dos criterios principales, altos contenidos de ácido galacturónico y bajos contenidos de cenizas. Chasquibol et al. (2008) menciona que el alto porcentaje de ácido galacturónico (AGA) y el bajo porcentaje de cenizas en la pectina son dos de los criterios que evalúan la pureza de la pectina. Desde que el ácido galacturónico (AGA) es la unidad fundamental de la estructura de las pectinas, su cuantificación es importante para determinar el contenido de pectina en el producto (Chasquibol, et al. 2008).

Contenido de Metoxilo

Teóricamente, una pectina puede tener un contenido de metoxilo del 16%, pero en la práctica se han encontrado que contiene alrededor del 14%. Por esta razón se ha fijado el 7% de contenido de metoxilo (50% de esterificación con metanol) como la línea divisoria para diferenciar las categorías de pectina sobre la base del contenido de metoxilo Muñoz, 2011. Ya que según lo reportado por Guzmán et al. (1977) citado en Arellanes et al. (2011) el porcentaje de metoxilos debe ser menor al 7% para ser definido como de bajo metoxilo Paredes, (2015).

Chasquibol, et al. (2008), reporta que los mecanismos de la gelificación de las pectinas dependen del grado de metoxilación. Las pectinas de alto metoxilo se gelifican debido a interacciones hidrofóbicas y a los puentes de hidrógeno entre las moléculas de la pectina, a bajo pH (3) y con alto contenido de azúcar (Oakenfull, 1991: 87-108). En contraste, las pectinas de bajo metoxilo forman geles en presencia de calcio u otros cationes divalentes en un amplio rango de pH, con o sin azúcar. Como las pectinas se clasifican normalmente de acuerdo con el contenido de ésteres metílicos o grado de metoxilación, en esta revisión este dato fue reportado solo por el 45% de los estudios. De acuerdo con Cabarcas, et al. (2012), que nos dice que el contenido de metoxilo en las pectinas comerciales que se encuentra entre el 8 y el 11% pueden formar geles con un contenido de 65% de sólidos solubles (azúcar), comparando este dato con los estudios de esta revisión sistemática que reportan este parámetro, el 64% presenta un contenido de metoxilo entre el .83 y 9.6%.

Grado de Esterificación

(Zegada Franco, 2015) menciona que las pectinas se clasifican según su Grado de Esterificación (GE) (expresado en %) ya que sus propiedades gelificantes están principalmente determinadas por el mismo. Según Sriamornsak, el GE varía 20 y 40% en las pectinas comerciales de bajo metoxilo y entre 60 y 75% en las de alto

metoxilo. Frede (2009), reporta que Pagani (1990), Arthey y Ashurst (1997) y Hoejgaard (2005), mencionan que, de acuerdo con la clasificación de las pectinas, aquellas que presentan grados de esterificación sobre 50% poseen excelente capacidad de gelificación y se clasifican como HM. Serrat, et al. (2018), dice que el grado de esterificación o contenido de éster metílico en las pectinas es un parámetro que afecta sensiblemente las propiedades técnicas de las pectinas, tales como su solubilidad, poder gelificante y fortaleza del gel. Las pectinas con altos grados de gelificación (> 80 %) dan geles firmes en presencia de altas concentraciones de azúcares, en tanto las de bajo grado de esterificación gelifican con mayor facilidad en presencia de iones bivalentes y son menos solubles en agua. En esta revisión solo el 58% reporta este dato, tomando en cuenta que el 68% de estos estudios que lo presentan, contienen un GE con porcentaje alto en metoxilo.

Contenido de Cenizas

En (Cabarcas Henao, Esteban; Guerra Benedetti, Adrian Fernando; Henao Balseiro, 2012) mencionan que las cenizas nos muestran el conjunto de minerales que se encuentran en la pectina. Aun así, siendo una parte tan importante en la pectina que, según Miyamoto y Chang, (1992: 1439-1443) afecta la habilidad de la pectina de gelificarse, solo el 29% de los estudios lo reportan.

Viscosidad Relativa

La habilidad de la pectina a gelificarse también depende de su solubilidad, viscosidad y de su peso molecular (Rao, 1993: 66-67). La viscosidad no solo depende de la concentración del polímero, sino también del peso molecular. Cuanto más alto es el peso molecular mayor es su viscosidad, por consiguiente, mayor es su grado de gelificación. Según (Cabarcas Henao, Esteban; Guerra Benedetti, Adrian Fernando; Henao Balseiro, 2012) las pectinas forman soluciones viscosas en agua, esta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH, la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. Aunque la viscosidad por efecto de su presencia aumenta ayuda a aumentar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución, solo el 9% de los estudios de esta revisión reportan el dato.

Conclusiones

Se recomienda tener con exactitud los parámetros a evaluar, ya que, aunque existe una gran cantidad de artículos que hablan sobre extracción de la pectina, no todos cuentan con la información que se busca. Por ello, la presente revisión demuestra que sirve de mucha ayuda para adquirir información precisa y concisa a partir de datos conseguidos de una gran cantidad de estudios, en este caso para los métodos de la obtención de la pectina.

SINTONIZACIÓN DE UN CONTROLADOR PID PARA COMPENSACIÓN DE RETARDOS EN SISTEMAS EMBEBIDOS PARA COMUNICACIÓN POR INTERNET

MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ PÉREZ¹, GUSTAVO DELGADO REYES², PEDRO JAVIER GARCÍA RAMÍREZ³,
MARÍA ESTELA MONTES CARMONA⁴.

Resumen

La mayoría de los procesos, sean cotidianos, industriales o físicos son afectados por retardos temporales o sistemas con tiempo muerto, muchas veces sin ser notados; sin embargo, el problema con los tiempos muertos o retardos es que son acumulativos, por lo tanto, pueden llegar a tener repercusiones negativas como la inestabilidad en sistemas dinámicos de lazo cerrado. En este artículo se presenta la implementación de un esquema de comunicación cliente-servidor vía internet mediante el uso de computadoras embebidas donde se realiza la simulación de un sistema dinámico de primer orden como caso de estudio. El esquema de comunicación implementado hace posible la comunicación inalámbrica y empleando el protocolo de control de transmisión (TCP) entre dos computadoras; en este sentido, el servidor se ha implementado en una computadora de placa reducida (SBC) tipo Raspberry Pi 2 B® y el cliente, se ha programado en una computadora tipo laptop la cual cuenta con el software LabVIEW 2009® instalado. Adicionalmente, con el fin de tratar con la problemática vinculada a los retardos presentes e inherentes en el canal de comunicación, se presentan las condiciones necesarias y suficientes para la sintonización de un controlador PID mediante un análisis en el dominio de la frecuencia. Finalmente, los resultados se presentan mediante una simulación en Matlab y la implementación en la computadora embebida.

Palabras clave: Controlador PID, Retardos de Comunicación, Esquema de comunicación Cliente-Servidor, Computadora Embebida

Abstract

Most of the processes, whether daily, industrial or physical, are affected by temporary delays or systems with dead time, many times without being noticed;

¹ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

² Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México. gusdelgado@uv.mx

³ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

⁴ Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana (UV). Juan Pablo II s/n, Boca del Río, Veracruz, 94294, México

however, the problem with dead times or delays is that they are cumulative, therefore, they can have negative repercussions such as instability in closed-loop dynamic systems. This article presents the implementation of a client-server communication scheme via the Internet through the use of embedded computers where the simulation of a first-order dynamic system is performed as a case study. The communication scheme implemented makes wireless communication possible and using the transmission control protocol (TCP) between two computers; In this sense, the server has been implemented in a Raspberry Pi 2 B® type Single Board Computer (SBC) and the client has been programmed in a laptop type computer with LabVIEW 2009® software installed. Additionally, in order to deal with the problems related to the present and inherent delays in the communication channel, the necessary and sufficient conditions for the tuning of a PID controller are presented through an analysis in the frequency domain. Finally, the results are presented through a simulation in Matlab and the implementation in the embedded computer.

Keywords: PID Controller, Communication Delays, Client-Server Communication Scheme, Embedded Computer

Introducción

El ser humano en su búsqueda implacable por facilitar tareas involucradas en procesos de carácter industrial y/o mejorar su estilo de vida, ha desarrollado e innovado sistemas digitales que cumplen con funciones específicas (Cano, 2014). Un ejemplo es la fabricación de sensores cada vez más precisos y sistemas digitales de uso específico; tales sistemas se conocen como *sistemas embebidos* (Morelos, 2015). En la actualidad existe una gran influencia de dichos sistemas, por ejemplo, se aplican en sistemas de navegación, aeronaves no tripuladas, automóviles, redes de comunicación, redes de distribución de energía eléctrica, etc. En este sentido, los sistemas embebidos, son parte central de este complejo mundo interconectado del IoT (internet de las cosas por sus siglas en inglés) y con su inteligencia computacional conformada de hardware y software, cumplen con tareas determinadas en tiempo real que hacen que la inteligencia integrada en circuitos se multiplique día a día. De hecho, en una forma particular, los sistemas embebidos son una alternativa de solución para el desarrollo de sistemas de comunicación por internet, sin embargo ante el manejo de grandes cantidades de información y debido a la latencia del canal de comunicación variante en tiempo que depende de horas picos, cantidad de usuarios conectados a la red y múltiples factores que aparecen en escena (Ariganello, 2007), algunos inconvenientes y problemáticas que requieren de un análisis más complejo son los tiempos de retardo implícitos en el canal de comunicación.

Un retardo actuando en un sistema causal se puede definir como un lapso finito entre la ocurrencia de un cambio en la entrada y la aparición de su efecto en

la salida del mismo. Cuando el tamaño del retardo no es significativo si se compara con las características del sistema, es decir, con la constante de tiempo dominante, el análisis y control de aquel no son muy difíciles de llevar a cabo, pudiendo incluso despreciarse. Por el contrario, cuando el retardo es de tal magnitud que el sistema deja de funcionar adecuadamente, son necesarias otras técnicas para diseñar controladores que mitiguen su efecto.

(R. Sipahi, 2011) hacen una exposición muy completa en el enfoque de sistemas con retardo y la necesidad de diseñar sistemas que permitan tomar y ejecutar acciones de control. Los sistemas con retardo ocurren en campos tan disímiles como ingeniería, biología, física o economía. En este sentido, el presente trabajo pretende dar una solución a la problemática que lleva consigo lidiar con los tiempos de retardo intrínsecos en el proceso de comunicación vía internet mediante la implementación de un esquema cliente-servidor que servirá para la caracterización de dichos retardos. Además, se pretende diseñar y presentar las regiones de estabilidad mediante un control tipo PID para un caso general de estos sistemas dinámicos; en particular un sistema inestable de primer orden emulado en la computadora embebida Raspberry Pi®.

Para llevar a cabo el trabajo propuesto, este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan las especificaciones técnicas e implementación del sistema de comunicación cliente-servidor. En la sección 3 se lleva a cabo la experimentación y caracterización para la obtención de los tiempos de retardo en el canal de comunicación vía internet. En la sección 4 se presenta la estrategia de control propuesta para la estabilización de una clase particular de sistemas de primer orden con retardo. En la sección 5 se presentan los resultados obtenidos mediante simulaciones numéricas y experimentales y, finalmente en la sección 6 se proponen las conclusiones

Especificaciones Técnicas e Implementación

En esta sección se describe el funcionamiento del esquema de comunicación que se ha implementado entre la red de computadoras que hacen posible el monitoreo remoto del sistema en tiempo real donde se lleva a cabo la simulación del sistema dinámico empleado como objeto de prueba. Se ha configurado este desarrollo experimental para que la transferencia de información sea realizada entre los equipos de cómputo bajo un *esquema de comunicación cliente-servidor*. En este contexto se establece la comunicación por red utilizando el protocolo TCP entre dos computadoras, una encargada de ejecutar el servidor y la otra encargada de ejecutar el cliente. En la computadora en la que se ha programado el servidor se implantó el sistema de tiempo real que realiza la simulación del sistema dinámico de primer orden que se pretende analizar y cuyos resultados de simulación se exportan en forma de *strings* a la computadora en la que se ha programado el cliente, la cual los grafica haciendo uso del software LabView 2009®, el cual,

además sirve como interfaz al usuario. Cabe destacar que otra de las funciones que lleva a cabo el servidor es realizar la medición de los tiempos de ejecución de las tareas en tiempo real que se han programado y de los tiempos de inactividad (tiempos de retardo) que son propios del enlace de comunicación por internet. El esquema de comunicación que se ha desarrollado, se aprecia en la Figura 1.

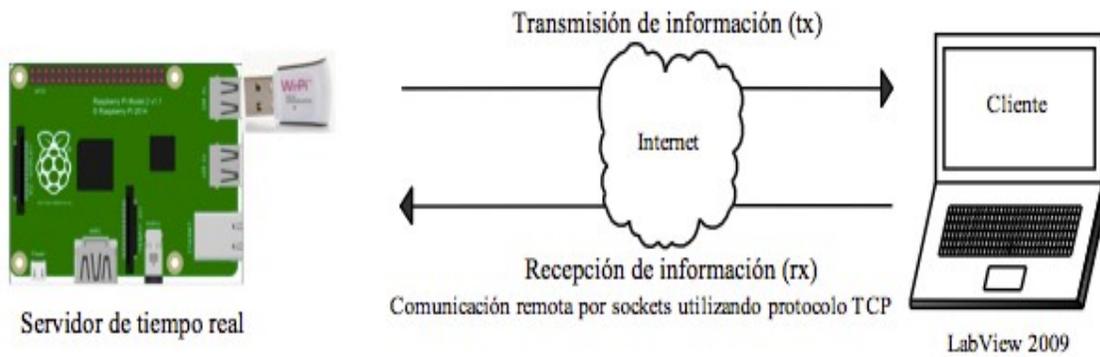


Figura 1. Esquema de comunicación cliente-servidor implementado

En la figura anterior, se aprecia la comunicación que se ha implementado entre la computadora embebida (la cual tiene instalado el adaptador WiPi® para comunicación Wifi) y la computadora cliente, la cual tiene instalado el sistema operativo de tiempo compartido Mac OS X. Este modelo de comunicación permite enlazar al sistema en tiempo real que radica en el servidor, con un sistema en línea ejecutado por el cliente, enviando así la información entre las computadoras y aislando al servidor del cliente utilizando *sockets no bloqueantes*, permitiendo al usuario realizar el monitoreo totalmente a distancia de la simulación realizada por el servidor. Es importante mencionar que el servidor se ha implementado en la computadora embebida Raspberry Pi 2 Modelo B®, la cual cuenta con las siguientes características: Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor, Core: Quad-core ARM Cortex-A7, 900MHz, 1GB RAM y el sistema operativo EmLib RT. Por otro lado, el cliente se ha llevado a cabo mediante una computadora tipo laptop MacBook Pro con las siguientes características: Intel Core i5, 2.5 GHz, 16GB RAM, SATA 1TB, 5400 revoluciones por minuto, interfaz de comunicación I2C, I2S, SPI, UART y el sistema operativo Mac OS X.

Una vez que se han definido las características técnicas de los sistemas de cómputo que se utilizarán en el proceso de implementación del esquema de comunicación cliente-servidor, a continuación, se realiza la descripción del software desarrollado para la implementación de dicho esquema, el cual se puede apreciar mediante la Figura 1. La descripción que se realiza en esta sección está basada en un enfoque gráfico, en el cual, cada funcionalidad del software, es descrita por un módulo gráfico. En este sentido, los módulos que componen al servidor, y al cliente se aprecian en la Figura 2.

A continuación se presenta la descripción de los módulos que componen al servidor:

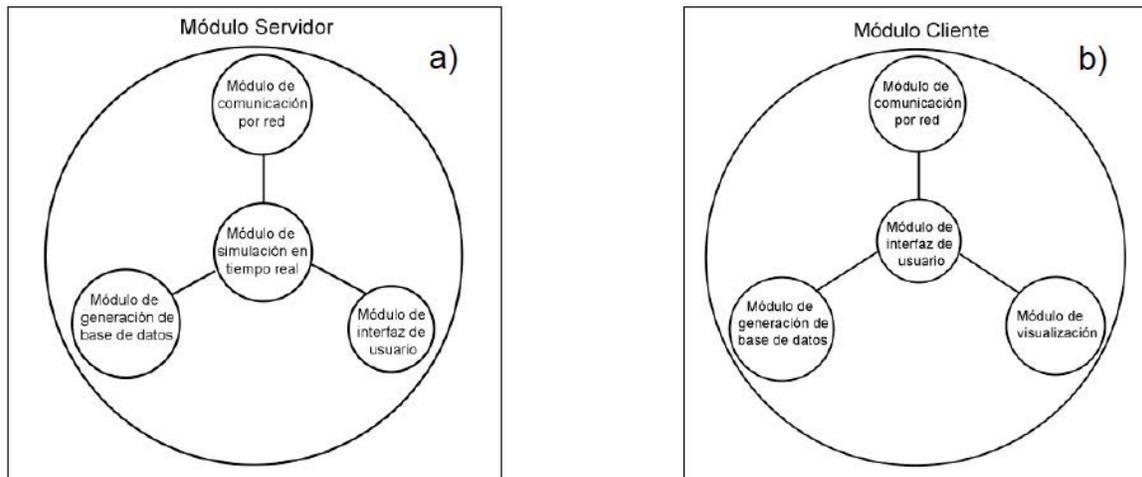


Figura 2. Arquitectura modular desarrollada para el esquema de comunicación.

a) Módulos que componen al servidor. b) Módulos que componen al cliente.

Módulo de comunicación por red: Este módulo proporciona las condiciones necesarias para poder iniciar la comunicación por red y a través de sockets entre el servidor y el cliente, para lo cual es necesario definir la dirección IP y el número de puerto a utilizar. **Módulo de simulación en tiempo real:** Haciendo uso del sistema operativo de tiempo real Emlid-Rt® para este módulo, se programaron tareas en tiempo real (TTR) y sus iteraciones o instancias para la simulación del sistema dinámico analizado. En este sentido, la comunicación entre TTR, se ha realizado mediante el mecanismo de comunicación entre procesos en sistemas operativos de tiempo real conocido como: tuberías *first input-first output* (FIFO) (Delgado, 2010).

Módulo de generación de base de datos: Este módulo se encarga de generar dos archivos de tipo texto en cada instancia de las tareas en tiempo real programadas en el sistema operativo de tiempo real. El primer archivo contiene los tiempos de retardo propios del enlace de comunicación, los cuales tiene la definición expresada por (1)

$$\tau = \tau_{tx} + \tau_{rx}, \quad (1)$$

siendo τ el retardo de comunicación propio del enlace de comunicación por internet, τ_{tx} el retardo generado por la transmisión de información y τ_{rx} el retardo generado por la recepción de información. El segundo archivo generado por este módulo, contiene los datos de simulación correspondientes al sistema dinámico analizado.

Módulo de interfaz de usuario: Este módulo funciona como interfaz gráfica al usuario para poder compilar y ejecutar los procesos concurrentes que se han programado en el sistema operativo de tiempo real.

Una vez que el módulo servidor se encuentra listo para aceptar la petición de conexión del cliente, este último es el que inicia la comunicación. En este sentido, en la computadora cliente, se ha programado una aplicación desarrollada en el programa LabView® de National Instruments® el cual utiliza lenguaje gráfico para su programación. Análogamente al servidor, el cliente utiliza los módulos que se aprecian en la Figura 2 b), cuya descripción es la siguiente:

Módulo de comunicación por red: Este módulo de manera similar que su contraparte en el proceso servidor, está a cargo de establecer un circuito virtual para realizar el intercambio de información entre la red de computadoras. Para realizar esta acción es necesario que el usuario proporcione la dirección IP estática 192.168.0.11 del servidor remoto y el número de puerto 2056.

Módulo de interfaz de usuario: Este módulo funge como interfaz gráfica al usuario para poder realizar las siguientes acciones: inicio o paro en la ejecución de la aplicación que reside en el módulo cliente, ingresar la dirección IP del módulo servidor remoto, ingresar los números de puerto del circuito virtual para la simulación del sistema dinámico y monitorear los tiempos de retraso de información generados por el enlace de comunicación.

Módulo de generación de base de datos: Este módulo se encarga de generar un archivo que contiene todos los datos enviados a través del socket de comunicación.

Módulo de visualización: Este módulo permite visualizar los datos de simulación y presentarlos al usuario, en forma de gráfica de dos dimensiones.

Habiendo descrito la arquitectura del sistema de comunicación que se ha desarrollado, a continuación, se presenta la experimentación realizada en el presente trabajo.

Experimentación: caracterización de los tiempos de retardo de comunicación

Para llevar a cabo la caracterización de los tiempos de retardo inherentes en el proceso de comunicación presentado en la Figura 1, se emuló el sistema de primer orden inestable en lazo abierto descrito por (2) durante 50 segundos.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G(s) = \frac{1}{s - 2} \quad (2)$$

En este sentido, en el servidor se programó una TTR que emplea un paso de iteración $\Delta t = 10ms$, resultando en 5,000 instancias. Los resultados del sistema emulado son desplegados en la computadora cliente como se puede apreciar en la Figura 3.

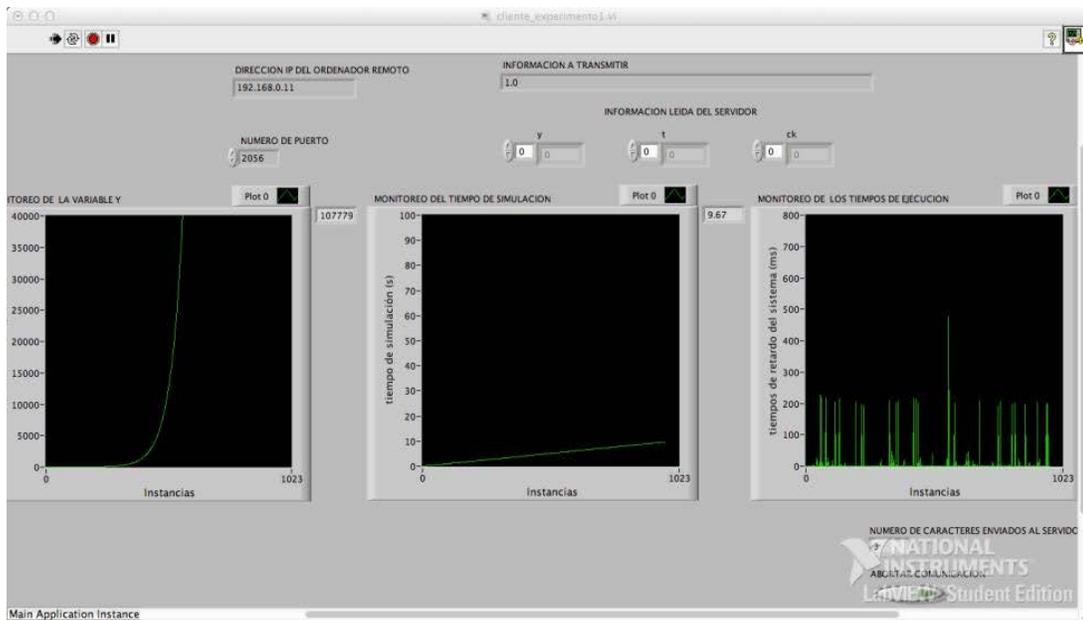


Figura 3. Simulación del sistema dinámico mediante el esquema de comunicación cliente-servidor. En la Figura 3, se puede constatar que se ha empleado la dirección IP y el número de puerto correcto para lograr que se establezca la comunicación por internet. De igual manera, se puede observar que el sistema emulado es un sistema inestable que dificultará el diseño de la estrategia de control. Además, los tiempos de retardo inherentes al enlace de comunicación han sido medidos para 2,000 instancias en la computadora servidor. Dichos tiempos tienen un comportamiento aleatorio (Valdez, 2014a), (Valdez, 2014b), (Guevara, 2002) y su variabilidad y comportamiento, se puede apreciar en la Figura 4.

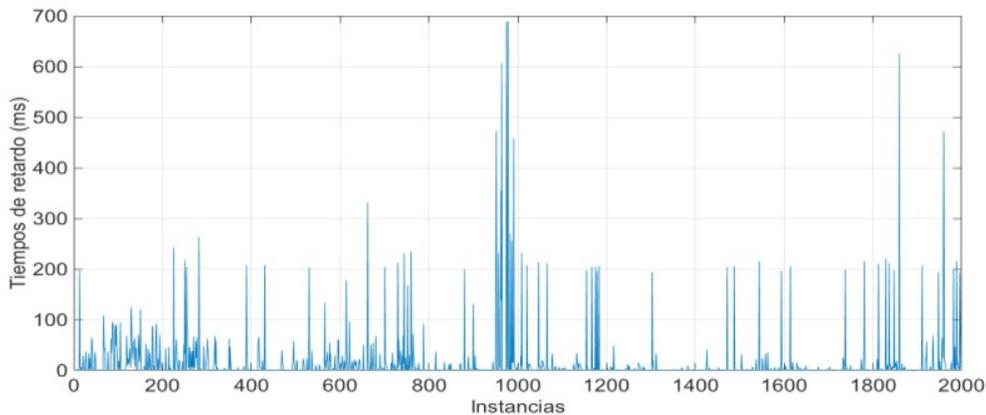


Figura 4. Tiempos de retardo medidos del enlace de comunicación cliente-servidor. Es importante mencionar que estos tiempos de retardo caracterizados mediante la comunicación descrita en la Figura 1 son medidos en lazo abierto, lo que nos permitirá buscar las condiciones necesarias y suficientes para asegurar la estabilidad del sistema en lazo cerrado.

Condiciones de estabilidad mediante un control PID

La presencia de tiempos de retardo en sistemas de control de lazo cerrado como el que se aprecia en la Figura 5, tienen un impacto negativo en la estabilidad (Dan, 2019).

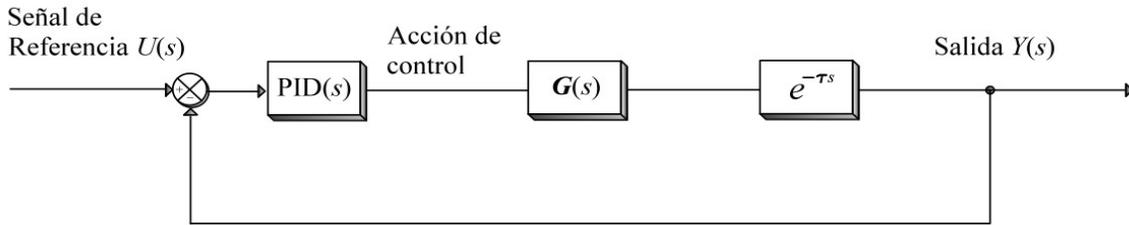


Figura 5. Esquema de control PID propuesto para compensación de retardos

En esta figura se puede observar que los tiempos de retardo son modelados mediante el bloque funcional $e^{-\tau s}$, siendo τ la magnitud constante del retardo. En este sentido, se propone utilizar un controlador PID para compensar los efectos negativos de los retardos implícitos en el sistema de lazo cerrado.

Para la sintonización del controlador PID, de acuerdo con la Figura 4, se considera que la magnitud τ de los retardos, es variante en el tiempo por lo que se toma el máximo valor; es decir, se considera $\tau = \tau_{max} = 0.7s$ y se procede a utilizar la siguiente metodología propuesta para el control y estabilización de un sistema general de primer orden inestable con tiempo de retardo.

Considere ahora la siguiente clase general de sistemas inestables lineales invariantes en el tiempo (LTI por sus siglas en ingles) de primer orden con retardo dado por (3), donde a , α y τ son constantes positivas. por lo tanto, se puede enunciar que esta clase de sistemas pueden ser estabilizados mediante un control PID dado por (4), si el Lema 1 se cumple:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\alpha}{(s - a)} e^{-\tau s} \tag{3}$$

$$C(s) = k_p \left(1 + \frac{k_i}{s} + k_d s \right), \tag{4}$$

Lema 1: Considere la clase de sistemas de primer orden con retardo (3). Existe un controlador PID tal que el sistema de lazo cerrado es estable si y solo si,

$$\tau < \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{1}{a^2}} \tag{5}$$

La demostración de la condición (5) se puede deducir a partir de los resultados presentados en Lee (2010) y Hernandez (2015) mediante un análisis en el dominio de la frecuencia. Esta demostración se basa en el criterio de estabilidad de Nyquist, el cual se puede enunciar de la siguiente forma: *Un sistema lineal es estable si y solo si $N + P = 0$, donde P es el número de polos en el semiplano derecho*

de la variable compleja s y N es el número de rodeos al punto $(-1,0j)$ en sentido horario (si N es negativo, el rodeo será en sentido antihorario) en el diagrama de Nyquist.

Demostración: Considerando un análisis en el dominio de frecuencia. La respuesta en frecuencia de lazo abierto de (3)-(4) está dada por:

$$Q(j\omega) = k_p \frac{\alpha \left(1 + \frac{k_i}{j\omega} + k_d j\omega\right) e^{-\tau j\omega}}{(j\omega - a)} \quad (6)$$

La expresión de fase y magnitud en el dominio de la frecuencia ω de (6) está dada por (7) y (8) respectivamente:

$$\angle Q(j\omega) = \arctan\left(\frac{\omega}{a}\right) - \omega\tau - \pi - \arctan\left(k_d\omega - \frac{k_i}{j\omega}\right) \quad (7)$$

$$M_Q(j\omega) = k_p \alpha \sqrt{\frac{1 + \left(k_d\omega - \frac{k_i}{j\omega}\right)^2}{(\omega^2 + a^2)}} \quad (8)$$

A partir del criterio de estabilidad de Nyquist y tomando en consideración la metodología descrita en Hernandez (2015), para asegurar la existencia del rodeo en sentido antihorario, se dice que la expresión de fase (7) debe ser una función creciente alrededor de $\omega = 0$, es decir, esta comenzará a crecer con un ángulo mayor a $-\pi$ para frecuencias cercanas a cero tal que $\angle Q(j\omega) > -\pi$. Por lo tanto, con el fin de tener una función con fase inicial creciente, se debe satisfacer la siguiente desigualdad,

$$\frac{d}{d\omega} (\angle Q(j\omega))|_{\omega=0} > 0 \quad (9)$$

En consecuencia, la expresión de magnitud debe ser una función decreciente, por lo tanto (10) se debe de cumplir:

$$\frac{d}{d\omega} \left(\frac{M_Q^2(j\omega)}{k_p^2 \alpha^2} \right) |_{\omega=0} < 0 \quad (10)$$

Con el fin de simplificar el análisis considere una ganancia K_i lo suficientemente pequeña tal que $K_i \rightarrow 0$. A partir de esta consideración y después de algunas simplificaciones en (9) se puede deducir fácilmente que:

$$\frac{d}{d\omega} (\angle Q(j\omega))|_{\omega=0} = -\tau + \frac{a}{\omega^2 + a^2} + \frac{k_d}{k_d^2 \omega^2 + 1} \quad (11)$$

Evaluando en $\omega = 0$, se puede obtener:

$$\frac{d}{d\omega} (\angle Q(0)) = -\tau + \frac{1}{a} + k_d > 0, \quad (12)$$

Por lo tanto, la fase será una función creciente si se cumple la expresión (13).

$$\tau < \frac{1}{a} + k_d \quad (13)$$

En el mismo sentido, desde el supuesto de que existe un rodeo en sentido antihorario y el hecho de que (9) se cumple para $\omega = 0$, está claro que para este valor de frecuencia, la expresión de magnitud (8) deberá ser una función decreciente. Por lo tanto, lo anterior es equivalente a expresar que:

$$\frac{d}{d\omega} \left(\frac{M_0^2(j\omega)}{k_p^2 \alpha^2} \right) \Big|_{\omega=0} = \frac{(1 + k_d^2 \omega^2) \left[-\frac{k_d^2}{1 + k_d^2 \omega^2} + \frac{1}{\omega^2 + a^2} \right]}{(\omega^2 + a^2)} < 0 \quad (14)$$

Evaluando la desigualdad con $\omega = 0$, y con el fin de que (10) se cumpla, la siguiente relación (15) debe satisfacerse, tal que:

$$k_d < \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (15)$$

Por lo tanto, a partir de este hecho, la expresión (13) puede reescribirse usando (15) de modo que la siguiente relación (16) es verdadera.

$$\tau < \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (16)$$

Sintonización del control PID propuesto

A partir de la demostración del Lema anterior es posible encontrar las regiones de estabilidad para la sintonización de los parámetros del control PID (4) para la clase de sistemas (3). Como primer paso y debido a las consideraciones anteriores nótese que el parámetro de sintonización K_i se elige tal que sea lo suficientemente pequeño, es decir, tal que:

$$k_i \rightarrow 0 \quad (17)$$

Posteriormente los parámetros de sintonización k_p y K_d se pueden obtener de los desarrollos anteriores mediante las expresiones de fase y magnitud. En este sentido, a partir de (13) y (15) es posible elegir el valor de K_d tal que:

$$\tau - \frac{1}{a} < k_d < \sqrt{\frac{1}{a^2}} \quad (18)$$

Una vez elegido el parámetro K_d , con el fin de garantizar que el rodeo en sentido antihorario encierre el punto $(-1,0j)$ en Nyquist, el parámetro k_p debe satisfacer:

$$k_p(\omega_{c_1}) < k_p < k_p(\omega_{c_2}), \quad (19)$$

donde ω_{ci} para $i = 1,2$ son las frecuencias de corte y $k_p(\omega_{ci})$ se puede obtener de (20)

$$k_p = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{(\omega_{ci}^2 + a^2)}{1 + \left(k_d \omega_{ci} - \frac{k_i}{\omega_{ci}}\right)^2}} \quad (20)$$

Siendo $\omega_{ci} (\omega_{c1} < \omega_{c2})$, las dos primeras soluciones positivas de:

$$\arctan\left(\frac{\omega_{c2}}{a}\right) - \omega_{c2} \tau + \arctan\left(k_d \omega_{c2} - \frac{k_i}{\omega_{c2}}\right) \quad (21)$$

Resultados y Discusión

Considere ahora el sistema presentado en (3) y de acuerdo a la definición del sistema dinámico (2), los valores propuestos para la simulación de este mediante el esquema de comunicación cliente-servidor descrito en la sección anterior son: $a = 2$, $\alpha = 1$ y $\tau = \tau_{max} = 0.7s$. Siguiendo la metodología presentada en el Lema 1 es posible asegurar que existe un controlador PID dado en (4) tal que el sistema es asintóticamente estable en lazo cerrado si y solo si (5) se cumple. Por lo tanto, y pese al comportamiento variante en el tiempo del retardo (ver Figura 4), la condición se satisface y los parámetros estabilizantes del controlador se pueden definir tomando en consideración las ecuaciones (17)-(19). Por lo tanto, de (17) y (18) se puede decir que basta considerar un $k_i = 0.01$ y un $k_d = 0.3$ tal que las condiciones (9) y (10) se satisfagan y se presente el rodeo en sentido antihorario en el diagrama de Nyquist. Finalmente, con el fin de asegurar que el rodeo en sentido antihorario se presente en el punto $(-1,0j)$ basta que (19) se cumpla, tal que se elige una $k_p = 2.07$. El rango de parámetros estabilizantes se puede apreciar en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Rango de parámetros estabilizantes del control PID.

Parámetros estabilizantes	Ecuaciones	Rango de parámetros	Ganancias elegidas
k_i	(15)	$k_i \rightarrow 0$	$k_i = 0.01$
k_d	(16)	$0.2 < k_d < 0.5$	$k_d = 0.3$
k_p	(17)	$2.02 < k_p < 2.30$	$k_p = 2.07$

Con el fin de ejemplificar el correcto funcionamiento del sistema (3) aplicando (4) mediante el uso de los parámetros concretados en el Cuadro 1, se llevó a cabo una serie de simulaciones numéricas, considerando 2 escenarios: un retardo constante $\tau = 0.7s$ y los retardos de magnitud variante caracterizados en la Figura 4.

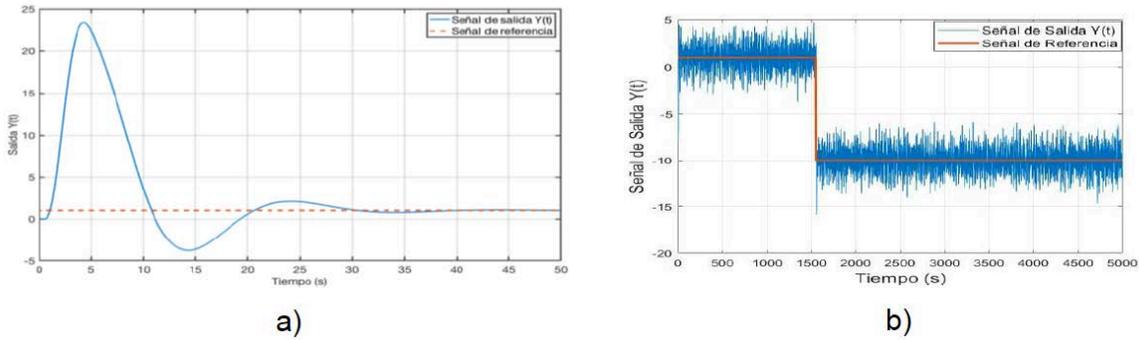


Figura 6. Señal de salida considerando: a) retardo constante. b) retardos variantes
 Además, con el fin de simular la naturaleza aleatoria de los retardos implícitos en el esquema de comunicación cliente-servidor caracterizado en la sección de experimentación, se proponen valores aleatorios del retardo comprendidos en el rango entre $0 < \tau < 0.7$ tal que el controlador debe de ser capaz de mantener en una media la señal de referencia tal como se ilustra en la Figura 6 b).

Finalmente, para justificar que el diseño del controlador PID tiene un correcto funcionamiento sobre el esquema de comunicación cliente-servidor propuesto (en donde se tiene que lidiar con retardos variantes), se propone emular la estrategia de control en el sistema embebido con un retardo de magnitud constante definida por la cota inferior ilustrada por la Figura 4 y un periodo de muestreo de 10 ms empleando los parámetros de sintonización definidos por el cuadro 1. En este sentido, en la Figura 7 se presenta la respuesta dinámica de dicho sistema en lazo cerrado, haciendo una comparativa entre los resultados de simulación obtenidos en MatLab Simulink® y el sistema emulado en la computadora embebida Raspberry Pi 2 Modelo B®.

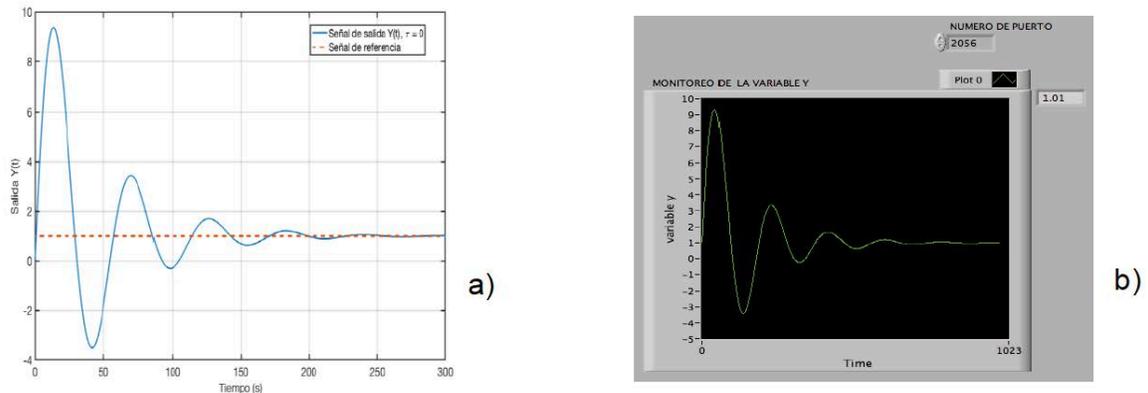


Figura 7. Comparativa de desempeño del esquema de control propuesto entre el sistema simulado y el sistema emulado.

Nótese que en la respuesta emulada mostrada en la Figura 7 b), se aprecia la información recibida por la computadora cliente al realizarse la comunicación entre esta y el servidor, empleando el esquema de la Figura 1. En este contexto, en la Figura 8, se ilustra la implementación física de dicho esquema de comunicación propuesto.

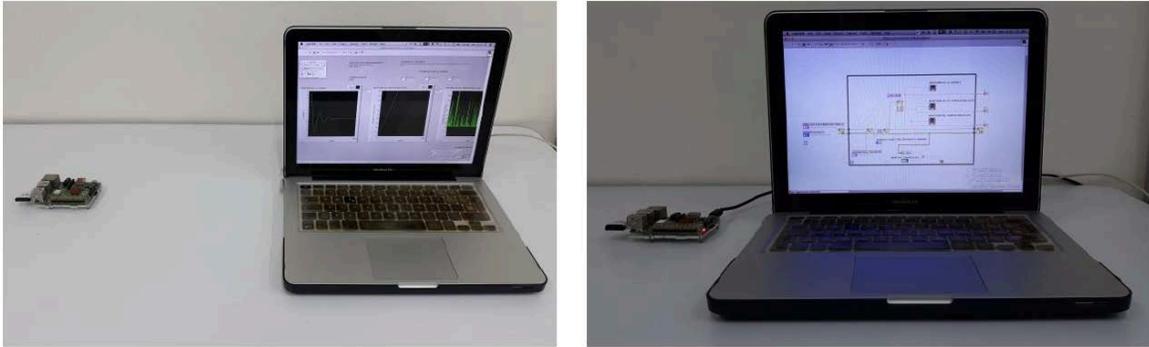


Figura 8. Implementación física del esquema de comunicación cliente-servidor

Conclusión

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un esquema de comunicación cliente-servidor, haciendo uso del protocolo TCP/IP y de un sistema multiplataforma en el cual el servidor se ha implementado en la computadora embebida Raspberry Pi®, y el cliente se ha programado en una computadora tipo laptop.

Además, para lidiar con los retardos inherentes en cualquier sistema de comunicación por internet, se llevó a cabo la medición de los tiempos de latencia en la red, los cuales fueron caracterizados como retardos. Asimismo, se propuso una estrategia de control de tipo PID, la cual fue diseñada mediante un análisis en el dominio de la frecuencia para definir los parámetros de sintonización que permitan compensar los efectos negativos producidos por dichos retardos actuando en un sistema dinámico de primer orden inestable. Finalmente, con el fin de validar el esquema de control propuesto, el sistema de primer orden inestable se emuló en el esquema de comunicación cliente- servidor y se llevó a cabo una comparativa entre los resultados de simulación y los obtenidos mediante la implementación física de dicho sistema de comunicación, asegurando en ambos casos la estabilidad del sistema con retardo en lazo cerrado y garantizando una convergencia en casi todos los puntos de ambas respuestas

Referencias

- Ariganello, E. (2007). "Redes Cisco". Publicado por la editorial Alfaomega. Registro de Derechos de Autor: ISBN 978-970-15-1263-0. México.
- Cano, J.L., Delgado, G., & Guevara, P. (2014). Simulación estructurada del filtro de Kalman para identificación de estados en un motor de C.C. sobre una computadora embebida. Revista electrónica de ingeniería y tecnologías de la universidad autónoma de Zacatecas. Zacatecas, México. ISSN:2007-3585.
- Delgado, G., Guevara, P., & Falcón, J. (2010). Simulación Concurrente en Tiempo Real de un motor de Corriente Continua Sobre la Plataforma QNX. In Memorias del XIV Congreso Latinoamericano de Control Automático, XIX Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático ACCA. Santiago de Chile, Chile (pp.1-6).
- Dan, M. & Chen, J. (2019). Delay margin of low-order systems achievable by pid controllers. IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 64, no. 5, pp. 1958–1973.
- Guevara, P., Medel, J. J., & Barrón, R. (2002). Interacción Entre Sistemas en Tiempo Real y Sistemas en Línea. Congreso Internacional de Instrumentación Virtual, Pachuca, México
- Hernández-Pérez, M. A., del Muro-Cuéllar, B., & Velasco-Villa, M. (2015). PID for the stabilization of high-order unstable delayed systems with possible complex conjugate poles. Asia Pacific Journal of Chemical Engineering, vol. 10, no. 5, pp.687–699.
- Lee, S. C., Wang, Q. G., & Xiang, C. (2010). Stabilization of all-pole unstable delay processes by simple controllers. Journal of process control, vol. 20, pp. 235–239.
- Morelos, J. C., Delgado, G., & López, A. (2015). Configuración PIC-Raspberry Pi® modelo B, con fines de monitoreo de señales analógicas. Mexican International Congress on Computer Systems 2015, Centro Universitario UAEM Valle de México.
- Sipahi, R., Niculescu, S. J., Abdallah, C. T., Michiels, W., & Gu, K. (2011). Stability and stabilization of systems with time delay. IEEE Control Systems Magazine, vol. 31, pp. 38–65.
- Valdez, J. S., Delgado, G., Guevara, P., & García, J. C. (2014a). Reconstrucción de la dinámica de los tiempos de ejecución de tareas en tiempo real empleando filtrado digital difuso. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, No. 70, pp 155-166, Colombia. ISSN 0120-6230.
- Valdez, J. S., Guevara, P., & Delgado, G. (2014b). Execution Times Reconstruction in a LTI System Real-time Simulation, Revista IEEE América Latina, vol. 12, No. 2. pp. 277-284. USA. ISSN 1548-0992.

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES TÉRMICAS ELEVADAS DE UNA PANADERÍA DE LA CIUDAD DE MISANTLA, VER. MEDIANTE EL ÍNDICE WBGT

ROMEO GARCÍA CRUZ¹, ANA ROSELYN PÉREZ MÉNDEZ², MARIO PÉREZ ACOSTA³

Resumen

Esta investigación tiene el objetivo de establecer un diagnóstico de temperatura con base en la NOM-015-STPS-2001, utilizando un medidor electrónico, para determinar si existe riesgo de estrés térmico en los trabajadores de una panadería de la ciudad de Misantla, Ver. La evaluación de condiciones térmicas extremas, se realizó con el procedimiento descrito en dicha norma, encargada de establecer las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas. Según esta norma, cuando el resultado del índice de temperatura de globo bulbo húmedo (Itgbh), denominado en inglés como Índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), el régimen de trabajo y el tiempo de exposición, indiquen que la exposición de los trabajadores excede los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en la misma, o la temperatura axilar del trabajador supere los 38°C (para el caso de espacios de trabajo con temperaturas elevadas), se deben aplicar medidas de control a fin reducir el riesgo al que se exponen los trabajadores. El régimen de trabajo del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), de la panadería en la que se realizó la evaluación, es moderado y considerando el Índice tgbh promedio obtenido de la evaluación igual a 31.85 °C; se concluye con suficiente evidencia que los trabajadores del área de producción de la panadería en cuestión exceden los Límites Máximos Permisibles de exposición por lo que se encuentran bajo riesgo de sufrir algún tipo de trastorno producido por calor.

Palabras clave: Estrés térmico, Índice WBGT, Índice tgbh, Personal Ocupacionalmente Expuesto, STPS.

Abstract

This research has the objective of establishing a temperature diagnosis based on NOM-015-STPS-2001, using an electronic meter, to determine if there is a risk of thermal stress in the workers of a bakery in the city of Misantla, Ver. The evaluation

¹ Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM). Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite C.P. 93821 Misantla, Veracruz, México. romeogarciacruz.97@gmail.com

² Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM). Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite C.P. 93821 Misantla, Veracruz, México

³ Instituto Tecnológico Superior de Misantla (ITSM). Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite C.P. 93821 Misantla, Veracruz, México

of extreme thermal conditions was carried out with the procedure described in said standard, in charge of establishing the safety and hygiene conditions, the maximum permissible levels and times of exposure to extreme thermal conditions. According to this standard, when the result of the Wet Bulb Globe Temperature Index (Itgbh), known in English as the WBGT Index (Wet Bulb Globe Temperature), the work regimen and the exposure time, indicate that the exposure of workers exceeds the Maximum Permissible Limits (LMP), established therein, or the worker's axillary temperature exceeds 38°C (in the case of work spaces with high temperatures), control measures must be applied in order to reduce the risk to which workers are exposed. The work regime of the Occupationally Exposed Personnel (POE), of the bakery in which the evaluation was carried out, is moderate and considering the average tgbh Index obtained from the evaluation equal to 31.85 °C; It is concluded with sufficient evidence that the workers in the production area of the bakery in question exceed the Maximum Permissible Limits of exposure, so they are at risk of suffering some type of disorder caused by heat.

Keywords: Thermal stress, WBGT Index, tgbh Index, Occupationally Exposed Personnel, STPS.

Introducción

De acuerdo con la información brindada en la página oficial de Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA, 2021), en nuestro país la historia del pan está ligada a la conquista española, hoy en día, la panadería es un elemento clave en la formación de la gastronomía popular mexicana, se estima que el consumo per cápita de pan en México es de 33 kg al año (NOTIMEX, 2018). A lo largo del territorio nacional la mayoría de las entidades económicas panificadoras que existen, pertenecen al ramo de micro, pequeñas y medianas empresas, la mayoría son empresas informales o empresas familiares en las que su proceso de producción se realiza de manera artesanal, este tipo de proceso de elaboración del pan, tiende a ser rudimentario, lo que involucra una serie de métodos y técnicas de elaboración de pan tradicional, principalmente de manera manual y con escaso o nulo empleo de maquinaria en la producción (ICPP, 2017).

Una realidad preocupante de estos centros de trabajo rudimentarios y de la forma de elaboración del pan es que todas las actividades laborales dentro de las mismas, se llevan a cabo sin los cuidados necesarios para garantizar la salud y la seguridad del personal que en ellos labora, es decir, todas las actividades se realizan sin el uso de un equipo de protección personal, además del notable riesgo que representa para los trabajadores de las panaderías permanecer durante toda su jornada laboral expuestos a altas temperaturas, lo cual significa un riesgo para su salud (OPS, 2015).

El estrés térmico por calor no es una patología, pero si la causa de varios efectos patológicos que se producen en el cuerpo por exceso de calor. Al realizar su trabajo habitual en condiciones de estrés térmico, el cuerpo del ser humano se altera y sufre una sobrecarga fisiológica, debido a que, al aumentar su temperatura corporal, los mecanismos fisiológicos de pérdida de calor (sudoración y vasodilatación periférica) producen una inestabilidad en los procesos cardiovasculares, respiratorios, renales, endocrinos, nerviosos y de funcionamiento muscular. La regulación de la temperatura corporal cuando se superan los 38° C produce daños por la cantidad de calor acumulado en el cuerpo (Hansen et al., 2008).

La mitigación de la radiación de calor de las maquinas dentro de los centros de trabajo donde se genera calor es un punto importante para resguardar la salud de los trabajadores. Según Cortés Díaz (2012), una de las medidas de prevención y control de estrés térmico para fuentes internas en los centros de trabajo es el aislamiento selectivo de la maquinaria que emita un efecto de calor. El campo de la seguridad y la salud en el trabajo, es un campo de estudio de la ingeniería industrial que día a día está en crecimiento, desde el ámbito legal hasta el administrativo y social. En México, la seguridad y salud en el trabajo, se encuentran reguladas por diversos preceptos contenidos dentro de la Constitución Política, entre los más importantes están, la Ley Federal del Trabajo y las normas oficiales mexicanas en materia de seguridad y salud ocupacional (STPS, 2012).

Para poder comprobar los riesgos por calor y otro tipo de riesgos a los que se ven expuestos los trabajadores de una panadería de la ciudad de Misantla, Ver. se tomará como base el marco normativo de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS), principalmente la NORMA Oficial Mexicana NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas - Condiciones de seguridad e higiene; que establece las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

Materiales y Métodos

Dentro de la NOM-015-STPS-2001, se establece un procedimiento de reconocimiento, evaluación y control de la temperatura, para realizar una evaluación de condiciones extremas en espacios de trabajo donde exista personal ocupacionalmente expuesto a temperaturas elevadas o abatidas. En el desarrollo de esta investigación, se planteó la metodología mostrada en la figura 1, que consta de una serie de pasos a seguir para efectuar la evaluación como lo indica la norma

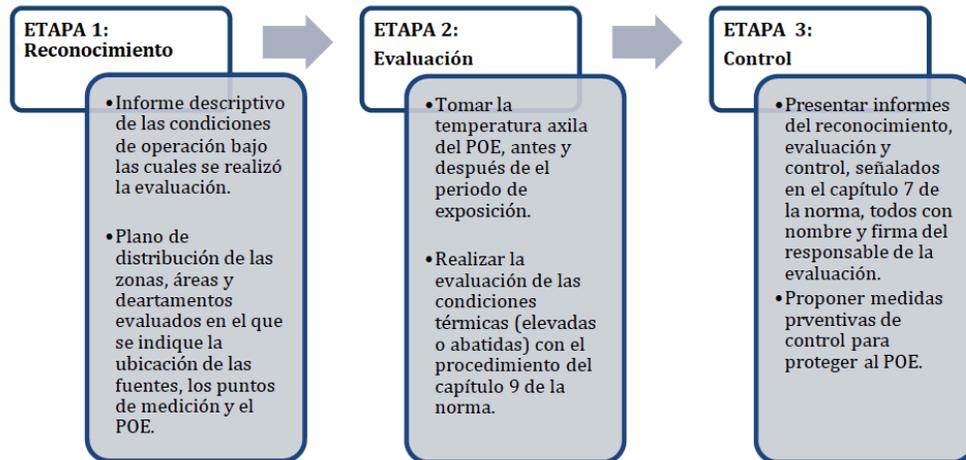


Figura 1. Metodología para la evaluación de condiciones térmicas extremas con base en la NOM-105-STPS-2001. Elaboración propia.

A continuación, se muestra el desarrollo de este procedimiento aplicado al área de producción de la panadería Kesil, una de las más de 50 panaderías ubicadas dentro de la cabecera municipal de la ciudad de Misantla, Ver. de acuerdo con la página (Foro México, 2020)

Etapla 1: Reconocimiento

- **Identificar y registrar en un plano de vista de planta del centro de trabajo, todas las fuentes que generen condiciones térmicas extremas**

A continuación, en la figura 2, se muestra el layout de planta del área de producción de la panadería Kesil, en esta imagen se identifica dentro de un círculo rojo el horno utilizado en el proceso de producción, dicho horno es la fuente generadora de calor que irradia temperaturas extremas sobre el personal de esta área.



Figura 2. Identificación de la fuente generadora de calor en el espacio de trabajo. Elaboración propia

- **Elaborar una relación del POE, incluyendo áreas, puestos de trabajo, tiempos y frecuencia de la exposición**

El POE son dos trabajadores del área de producción de la panadería Kesil, estos desarrollan todas sus actividades en el área descrita con anterioridad. Desde el comienzo y hasta el final de su jornada laboral, el POE realiza sus operaciones de pie, con movimiento moderados de brazos y tronco y caminando cortas distancias en repetidas ocasiones. El ciclo de exposición a altas temperaturas de estos trabajadores es de 4 a 6 horas aproximadamente

- **Describir las actividades y ciclos de trabajo que realiza el POE en cada puesto de trabajo**

El POE comienza sus actividades con el pesado y el amasado de la materia prima, durante estas primeras actividades los trabajadores laboran sin exposición a temperaturas extremas, para sus siguientes operaciones que son: pesar y cortar la masa, poner manteca a la charola, elaborar la pieza de pan, poner el pan a hornear, azucarar el pan cocido, cortar el pan cocido, poner a tostar la pieza de pan; el personal comienza su exposición a temperaturas elevadas debido a que es después de amasar es cuando se enciende el horno para precalentarlo. El horno se enciende a una temperatura de 250°C y se mantiene así hasta el final de la jornada laboral.

Etapa 2: Evaluación

- **Aplicar el procedimiento de evaluación para las condiciones térmicas extremas encontradas, conforme a lo establecido en los capítulos 9 o 10 de la norma, según sea el caso.**
- **Medir la temperatura axilar del POE al inicio y al término de cada ciclo de exposición.**
- **Con la información obtenida en el Apartado 7.1.4 de la norma, en caso de exposición a condiciones térmicas elevadas, determinar el régimen de trabajo del POE, según lo establecido en la Tabla A1 de la norma.**

En la tabla 1 mostrada a continuación, se realizó el registro de los datos preliminares para realizar la evaluación, como se indica en los puntos anteriores. Con la ayuda de un termómetro electrónico se tomó la temperatura axilar de los trabajadores al inicio de las actividades que realizan estando expuestos a altas temperaturas y al finalizar las mismas. Además, con la ayuda de la Tabla A1 (figura 3) tomada de la NOM-015-STPS-2001 y con la información descrita en el punto 7.1.4 de la norma se determinó el régimen de trabajo de los panaderos del área de producción donde se lleva a cabo la evaluación.

Tabla A1. Definición del régimen de trabajo según la actividad (NOM-015- STPS-2001).

Régimen de trabajo	Actividad	Ejemplo de Gasto Metabólico aproximado	
		watts	kcal/h
Ligero	Sentarse tranquilamente	116.18	100
	Sentarse, movimiento moderado de los brazos y el tronco (por ejemplo, trabajo de oficina, mecanografía)	130.81 a 162.21	112.5 a 139.5
	Sentado, movimientos moderados de los brazos y el tronco (por ejemplo, tocando el órgano o conduciendo un automóvil)	159.88 a 188.95	137.5 a 162.5
	Parado, trabajo moderado en máquinas o bancos de máquinas, mayormente con las manos	159.88 a 188.95	137.5 a 162.5
	Parado, trabajo liviano en máquinas o banco, a veces caminando un poco	188.95 a 218.02	162.5 a 187.5
	Sentado, movimientos pesados de los brazos y piernas	188.95 a 232.56	162.5 a 200.0
Moderado	Parado, trabajo moderado en máquina o banco a veces caminando un poco	218.02 a 290.69	187.5 a 250.0
	Caminando de un sitio a otro empujando y levantando moderadamente	290.69 a 406.97	250.0 a 350.0
Pesado	Levantando, empujando o tirando cargas pesadas, intermitentemente (por ejemplo, trabajo de pico y pala)	436.04 a 581.39	375.0 a 500.0
	Trabajo pesado constante	581.39 a 697.67	500.0 a 600.0

Figura 3. Tabla A1. Definición del régimen de trabajo según la actividad (NOM-015- STPS-2001).**Tabla 1.** Datos preliminares para realizar la evaluación. (Elaboración propia)

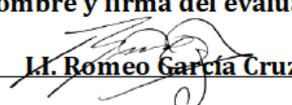
DATOS PRELIMINARES PARA LA EVALUACIÓN				
Puesto de trabajo	Nombre del trabajador	Temperatura axilar (inicial)	Temperatura axilar (final)	Régimen de trabajo
Panadero	Marcos Carrillo Francisco	36.2 °C	36.7 °C	Moderado
Panadero	Gabino Herrera Blanco	36.9 °C	37.5 °C	Moderado

- **Registrar en una hoja de campo o sistema electrónico, por cada trabajador expuesto o grupo de exposición homogénea a condiciones térmicas extremas, los siguientes datos:** área evaluada, condición térmica extrema evaluada, fecha de la evaluación, nombre del trabajador o grupo evaluado, puesto de trabajo evaluado, tiempo y ciclos de exposición, actividades específicas que realiza el POE en cada ciclo de exposición, si se utiliza equipo de protección personal describirlo, si existen controles técnicos o administrativos describirlos, en caso de utilizar equipo de medición electrónico registrar: 1. marca y modelo; 2. número de serie; 3. documento que avale la calibración de los instrumentos de medición, de conformidad con los procedimientos

establecidos en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; y por último nombre y firma del evaluador.

A continuación, en la tabla 2, se muestra la hoja de campo solicitada por la norma con la información complementaria para el momento de realizar la evaluación de condiciones térmicas elevadas.

Tabla 2. Hoja de campo con datos complementarios de la evaluación. (Elaboración propia)

DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA EVALUACIÓN DE CONDICIONES TÉRMICAS ELEVADAS	
Área evaluada	Área de producción de la panadería Kesil
Condición térmica extrema evaluada	Temperatura elevada
Fecha de evaluación	31 de mayo de 2021
Nombre del trabajador o grupo evaluado	Trabajadores del área de producción de la panadería Kesil
Puesto de trabajo evaluado	Producción (Panaderos)
Tiempo y ciclos de exposición	De 4 a 6 horas durante la jornada laboral de 8 hr.
Actividades específicas que realiza el POE en cada ciclo de exposición	Pesar y cortar la masa, poner manteca a la charola, elaborar la pieza de pan, poner el pan a hornear, azucarar el pan cocido, cortar el pan cocido, poner a tostar la pieza de pan.
Si se utiliza EPP, describirlo	El personal no utiliza EPP
Si existen controles técnicos o administrativos, describirlos	No existen controles técnicos
Tipo y Características del instrumento de medición utilizado	
Tipo	Electrónico
Marca	ITSM
Modelo	MET
Número de serie	MET - 001
Documento de certificación	Solicitud en proceso
Nombre y firma del evaluador	
 L. Romeo García Cruz	

- **Método de evaluación para condiciones térmicas elevadas.**
Principio del método: consiste en aplicar el índice de temperatura de globo bulbo húmedo (I_{tgbh}), (WGBT por sus siglas en inglés), medir la temperatura axilar del trabajador expuesto, la humedad relativa, la velocidad del aire y determinar el régimen de trabajo.

En la siguiente tabla (Tabla 3), se encuentra el registro de las mediciones tomadas por el MET (medidor de estrés térmico), que más adelante servirán para el cálculo del índice de temperatura de globo bulbo húmedo (I_{tgbh}). La primera medición se registró a las 12:26 horas del día 31 de mayo 2021, el medidor captura una medición nueva cada 10 min, la última medición registrada fue a las 13:26 horas, por norma se pide que la primera medición se tome a los 30 minutos de que comienza la evaluación para lograr que el instrumento de evaluación se estabilice y las temperaturas registradas sean lo más acertadas

posible. En la figura 4, se puede ver el medidor electrónico utilizado en la evaluación colocado en el espacio de trabajo.

Tabla 3. Evaluación de condiciones térmicas elevadas. Temperaturas registradas.
(Elaboración propia)

EVALUACIÓN DE CONDICIONES TÉRMICAS ELEVADAS											
No. de medición	Fecha y hora	TBH tobillos	TBS tobillos	TG tobillos	TBH abdomen	TBS abdomen	TG abdomen	TBH cabeza	TBS cabeza	TG cabeza	HR
1	31/05/21 12:26	26.81	30.62	33.50	27.62	33.06	35.44	27.69	33.25	36.19	61.40
2	31/05/21 12:36	26.50	29.12	30.19	27.00	30.81	31.75	27.06	31.31	32.31	67.70
3	31/05/21 12:46	26.50	29.06	29.56	27.19	30.81	30.56	27.44	31.56	31.25	73.90
4	31/05/21 12:56	27.25	29.69	31.19	28.44	31.69	32.06	29.06	34.44	33.69	79.60
5	31/05/21 13:06	27.62	30.62	33.50	28.94	32.94	34.63	29.62	36.19	36.63	77.30
6	31/05/21 13:16	27.81	30.81	33.50	29.25	32.75	35.13	30.12	35.25	37.00	73.70
7	31/05/21 13:26	29.37	30.94	33.50	30.25	33.63	35.56	31.31	36.44	37.50	74.20
8	31/05/21 13:36	27.56	30.81	33.50	29.12	33.81	35.88	30.56	36.00	38.00	67.30
9	31/05/21 13:46	27.31	30.50	33.19	29.06	33.94	36.06	30.25	35.31	38.00	65.20
10	31/05/21 13:56	27.50	30.50	33.00	28.87	33.94	35.75	30.81	36.06	37.75	63.90



Figura 4. MET (Medidor de Estrés Térmico) evaluando espacio de trabajo con condiciones extremas elevadas. (Elaboración propia).

- **Determinación del índice de temperatura de globo bulbo húmedo.** Una vez concluidas las evaluaciones, se registran los valores obtenidos y se calcula el índice de la temperatura de globo bulbo húmedo por cada punto evaluado mediante la ecuación (1) si la medición se realiza en interiores o exteriores sin carga solar, y mediante la ecuación (2) si la medición se realiza en exteriores con carga solar:

$$I_{tgbh} = 0.7t_{bh} + 0.3t_g \text{ Ecuación 1.}$$

$$I_{tgbh} = 0.7t_{bh} + 0.2t_g + 0.1t_{bs} \text{ Ecuación 2.}$$

Para obtener la temperatura de globo bulbo húmedo promedio, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$I_{tgbh \text{ promedio}} = \left[\frac{I_{tgbh \text{ cabeza}} + 2 I_{tgbh \text{ abdomen}} + 1 I_{tgbh \text{ tobillos}}}{4} \right]$$

Donde:

$I_{tgbh \text{ cabeza}}$: Es el índice de temperatura de globo bulbo húmedo, medido en la región de la cabeza.

$I_{tgbh \text{ abdomen}}$: Es el índice de temperatura de globo bulbo húmedo, medido en la región del abdomen.

$I_{tgbh \text{ tobillos}}$: Es el índice de temperatura de globo bulbo húmedo, medido en la región de los tobillos.

Desarrollo

Para el cálculo del Índice de temperatura globo búlbo húmedo (I_{tgbh}), se utilizará la ecuación 1 establecida en la norma, dado que la medición se realizó en un espacio de trabajo cerrado y sin carga solar. De las 10 mediciones tomadas en este análisis, para el cálculo se utilizarán los datos la medición número 7 (Ver tabla 3), que corresponde a las temperaturas registradas una hora después de que el personal comenzó a estar expuesto a condiciones térmicas elevadas, considerando que para este tiempo transcurrido se cumple con la condición de estabilización del instrumento de medición.

Datos:

EVALUACIÓN DE CONDICIONES TÉRMICAS ELEVADAS											
No. de medición	Fecha y hora	TBH	TBS	TG	TBH	TBS	TG	TBH	TBS	TG	HR
		tobillos	tobillos	tobillos	abdomen	abdomen	abdomen	cabeza	cabeza	cabeza	
7	31/05/21 13:26	29.37	30.94	33.50	30.25	33.63	35.56	31.31	36.44	37.50	74.20

Cálculos:

Área de los tobillos

$$I_{tgbh(tobillos)} = 0.7t_{bh} + 0.3t_g$$

$$I_{tgbh(tobillos)} = (0.7)(29.37) + (0.3)(33.50)$$

$$I_{tgbh(tobillos)} = (20.55) + (10.05)$$

$$I_{tgbh(tobillos)} = \mathbf{30.60}$$

Área del abdomen

$$I_{tgbh(abdomen)} = 0.7t_{bh} + 0.3t_g$$

$$I_{tgbh(abdomen)} = (0.7)(30.25) + (0.3)(35.56)$$

$$I_{tgbh(abdomen)} = (21.17) + (10.66)$$

$$I_{tgbh(abdomen)} = \mathbf{31.83}$$

Área de la cabeza

$$I_{tgbh(cabeza)} = 0.7t_{bh} + 0.3t_g$$

$$I_{tgbh(cabeza)} = (0.7)(31.31) + (0.3)(37.50)$$

$$I_{tgbh(cabeza)} = (21.91) + (11.25)$$

$$I_{tgbh(cabeza)} = \mathbf{33.16}$$

Por último, para obtener el Índice de temperatura globo bulbo húmedo promedio, se debe aplicar la siguiente ecuación

$$I_{tgbh\ promedio} = \left[\frac{I_{tgbh\ cabeza} + 2 I_{tgbh\ abdomen} + 1 I_{tgbh\ tobillos}}{4} \right]$$

$$I_{tgbh\ promedio} = \left[\frac{33.16 + (2)(31.83) + (1)(30.60)}{4} \right]$$

$$I_{tgbh\ promedio} = \left[\frac{33.16 + (63.66) + (30.60)}{4} \right]$$

$$I_{tgbh\ promedio} = \left[\frac{127.42}{4} \right]$$

$$I_{tgbh\ promedio} = \mathbf{31.85}$$

Etapa 3: Control

La norma específica que cuando el resultado del análisis, indica que el POE se encuentra en riesgo de sufrir algún trastorno producido por calor, se deben aplicar medidas de control, a fin de prevenir daños a la salud del mismo. En tanto se establezcan dichas medidas de control, los patrones deben adoptar medidas preventivas inmediatas que garanticen que no se sigan presentando este tipo de exposiciones, tomando en consideración lo siguiente

- a) las características fisiológicas de los trabajadores expuestos
- b) el régimen de trabajo, nivel, tiempo y frecuencia de la exposición;
- c) las características de los lugares donde se realiza el trabajo;
- d) las características del proceso;
- e) las características de las fuentes
- f) las condiciones climatológicas del lugar, por área geográfica y estacionalidad

Las medidas de control y las medidas preventivas inmediatas mencionadas en el apartado anterior deben registrarse en el informe establecido en el Capítulo 11 de la norma, según sea el caso, y deben ser verificadas por el patrón mediante una evaluación posterior al término de su implementación. Para efectos de esta investigación, las medidas preventivas inmediatas serán propuestas en la etapa de plan de mejora de la metodología de este trabajo

Resultados y Discusión

De acuerdo con lo establecido en la NOM-015-STPS-2001, cuando el resultado del índice de temperatura de globo bulbo húmedo (I_{tgbh}) o el índice de viento frío (I_{vf}), según sea el caso, el régimen de trabajo y el tiempo de exposición, indiquen que la exposición de los trabajadores excede los Límites Máximos Permisibles establecidos en las tablas A1 o A2 de la norma dependiendo de la condición térmica que se evaluó, o la temperatura axilar del trabajador supere los 38°C o esté por abajo de 36°C, se deben aplicar medidas de control, a fin de prevenir daños a la salud del POE.

Tomando en cuenta que el régimen de trabajo del personal ocupacionalmente expuesto de la panadería (en la que se realizó la evaluación), es moderado y considerando los resultados obtenidos de la evaluación de condiciones térmicas elevadas que arrojan un Índice de temperatura de globo bulbo húmedo (I_{tgbh}) promedio de 31.85 °C; con apoyo de la Tabla 1: Límites Máximos Permisibles encontrada en la norma (figura 5), que especifica los límites máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas elevadas, se concluye con suficiente evidencia del análisis que los trabajadores del área de producción de la panadería en cuestión exceden dichos límites por lo que se encuentran bajo riesgo de sufrir algún tipo de trastorno producido por calor, por lo que se

recomienda, se establezcan medidas de control de la temperatura en su espacio de trabajo con el objetivo garantizar las condiciones de seguridad y salud ocupacional del personal y la reducción de riesgos por exposición a temperaturas elevadas extremas.

Temperatura máxima en °C de I_{tgbh}			Porcentaje del tiempo de exposición y de no exposición
Régimen de trabajo			
Ligero	Moderado	Pesado	
30.0	26.7	25.0	100% de exposición
30.6	27.8	25.9	75% de exposición 25% de recuperación
31.7	29.4	27.8	50% de exposición 50% de recuperación
32.2	31.1	30.0	25% de exposición 75% de recuperación

Figura 5. Límites Máximos Permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas (NOM-015-STPS-2001)

Conclusión

Un punto a considerar para el resultado de este análisis, es que la temperatura ambiental del día de la medición estuvo por debajo de los 30° C, siendo que, en verano en esta ciudad, la temperatura ambiental se mantiene superior a los 30° C. Si bien, el Índice tgbh promedio obtenido de la medición no es por mucho superior al LMP, se debe tener en cuenta que, para este límite, la norma establece ciclos de 25% de exposición por 75% de recuperación, ciclos que no son tomados en cuenta en ningún momento por el personal de la panadería donde se realizó la evaluación, recordando que estos, permanecen de 4 a 6 horas continuas, expuestos a temperaturas elevadas.

Referencias

- CANAINPA. (01 de 06 de 2021). Cámara Nacional de la Industria Panificadora. Obtenido de canainpa.com.mx: <http://www.canainpa.com.mx/>
- Cortés Díaz, J. M. (2012). Seguridad e Higiene del Trabajo. Técnicas de prevención de riesgos laborales. Sevilla, España: Tébar Flores, S.L. .
- Foro México. (18 de 02 de 2020). www.foro-mexico.com. Obtenido de Información y Foros de todas las localidades de México: <https://www.foro-mexico.com/veracruz-llave/misantla/guiaa-panaderias-pag-3.html>
- Hansen, A., Peng, B., Philip, R., Nitschke, M., Pisaniello, D., & Tucker, G. (2008). The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. *International Journal of Epidemiology*, 1359 – 1365.
- ICPP. (10 de 04 de 2017). Instituto Colombiano de Panadería y Pastelería. Obtenido de icpp.edu.co: <https://www.icpp.edu.co/>
- NOTIMEX. (26 de 06 de 2018). La industria panificadora lidera el sector alimenticio en México. *El Economista*, pág. 1.
- OPS. (2015). Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de www.paho.org: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=1527
- STPS. (2001). NORMA Oficial Mexicana NOM-0125-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas - Condiciones de seguridad e higiene. México: Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
- STPS. (2012). Gobierno de México. Obtenido de Secretaría del Trabajo y Previsión Social: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>

CAPÍTULO 5

RECURSOS GENÉTICOS EN LA AGRONOMÍA Y LA ACUICULTURA

AUTORES

ALEJANDRO MUÑOZ ALDAPE, ALICIA EUGENIA PUERTOVANNETTI ARROYO, AMARA JIMÉNEZ CHÁVEZ, BELEM ANAHY ESTRELLA JORDÁN, BENITO BERNARDO DZIB CASTILLO, CARLOS GARCÍA ACEDO, CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ, DAVID SALAS MONREAL, DIEGO PLATAS ROSADO, ELY GARCÍA XOTLANIHUA, ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ, EYDDY PÉREZ LUGO, FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA, FABIOLA LANGO REYNOSO, FRANCISCA RODRIGUEZ CALIHUA, FROYLÁN SÁNCHEZ MORALES, GONZALO HERNÁNDEZ IBARRA, IAN GARCÍA CRUZ, JORGE LUIS GARCÍA LANZ, LAURA GARCÍA BARRERA, LEONARDO ORTIZ LOZANO, LUIS TARANGO ARÁMBULA, MARIA DE LA LUZ MERINO CONTRERAS, MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ, MARTIN PEREDA SOLÍS, MIGUEL ARCÁNGEL BURGOS CAMPOS, MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ, NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA, RAÚL DELGADO MACUIL, RICARDO CASTRO GARCÍA, ROBERTO RUIZ CASTRO, SARA COTO LEAL, STEFANI ALETSE MEZA ZAMORA, VIRGILIO ARENAS FUENTES.

CONDICIÓN CORPORAL DE DOS ESPECIES DE GORRIONES DE PASTIZAL EN CUCHILLAS DE LA ZARCA, DURANGO

AMARA JIMÉNEZ CHÁVEZ¹, LUIS TARANGO ARÁMBULA², MARTIN PEREDA SOLÍS³, GONZALO HERNÁNDEZ IBARRA⁴

Resumen

Las aves poseen reservas energéticas a manera de depósitos grasos (DeLong & Gessaman, 2001), dichas reservas pueden ser estimadas por medio de índices de condición corporal (ICC), aunque existe una diversidad de índices, lo más frecuente es estimar las reservas por medio de morfometría. El objetivo de este trabajo es comparar tres ICC del gorrión chapulinero (*Ammodramus savannarum*) y del gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) durante su estancia invernal en Cuchillas de la Zarca, Durango. Por medio de los modelos Ringelman y Szmczak, Winker y DeLong y Gessaman se procesaron un total de 22 ejemplares de *A. savannarum* y 33 *C. bairdii*, los resultados obtenidos son similares entre modelos y especies.

Palabras clave: índice de condición corporal, morfometría, aves de pastizal.

Abstract

Birds have energy reserves in the form of fat deposits (DeLong & Gessaman, 2001), these reserves can be estimated through body condition indices (ICC), although there is a diversity of indices, the most frequent is to estimate the reserves through of morphometry. The objective of this work is to compare three ICC of the grasshopper sparrow (*Ammodramus savannarum*) and Baird's sparrow (*Centronyx bairdii*) during their winter stay in Cuchillas de la Zarca, Durango. Using the Ringelman and Szmczak, Winker and DeLong and Gessaman models, a total of 22 specimens of *A. savannarum* and 33 *C. bairdii* were processed, the results obtained are similar between models and species.

Keywords: body condition score, morphometry, grassland birds.

¹ Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; Km 40 Ctra. Gómez Palacio, Dgo. - Cd. Juárez, Chih.; C.P. 35230. Bermejillo, Mapimi, Durango, México. ajimenezc@chapingo.uruza.edu.mx

² Colegio de Postgraduados (COLPOS), Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, 78600 Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México

³ Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ctra. Durango - Mezquital, km 11.5. 34000. Durango, Durango. México

⁴ Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas; Km 40 Ctra. Gómez Palacio, Dgo. - Cd. Juárez, Chih.; C.P. 35230. Bermejillo, Mapimi, Durango, México

Introducción

Las aves poseen reservas energéticas a manera de depósitos grasos (DeLong & Gessaman, 2001), dichas reservas son útiles para desarrollar determinadas actividades como migración, reproducción y supervivencia (Sánchez-Guzmán *et al.*, 2018), por medio del análisis físico de estas reservas se puede estimar el estado de salud, nutricional, de comportamiento y reproductivo tanto de un individuo como de una población. Las reservas energéticas pueden ser estimadas por medio del índices de condición corporal (ICC), sin embargo; esta herramienta es polémica debido a las diferentes variables que pueden ser utilizadas (Schamber *et al.*, 2009), usar la grasa corporal como una variable, entre los sitios de escala y su época de invernación, las aves no pueden recuperar las reservas de grasa, en las aves migratorias se busca relacionar la masa corporal con la morfología del esqueleto, como puede ser el tarso (González *et al.*, 2004).

Los estudios relacionados al tema de gorriones de pastizal como el gorrión chapulinero (*Ammodramus savannarum*) (en adelante llamado GRSP) y el gorrión de Baird (*Centronyx bairdii*) (en adelante llamado BAIS) en el norte de México están orientados a morfometría y supervivencia invernal (Sierra-Franco *et al.*, 2015), debido a su declive poblacional estas especies causan una preocupación mayor, por lo que el objetivo de este trabajo es comparar cuatro índices de condición corporal de GRSP y de BAIS durante su estancia invernal en Cuchillas de la Zarca, Durango.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó durante la temporada invernal de 2020, el área de estudio se caracteriza por tener un clima árido y vegetación xerófilo con pastizales naturales. La captura de aves se llevó a cabo con dos redes de niebla de poliéster negro modelo KTX de Avian, con una luz de malla de 36 mm, 2.6 m de alto por 12 m de largo y cuatro bolsas, con apoyo de nueve personas se empleó la metodología de arreo de las aves hacia la red (Panjabi & Beyer, 2010). Para la captura de las aves se obtuvo el permiso de colecta de SEMARNAT, SGPA/DGVS/05450/20.

Para la toma de datos morfométricos se les tomó el peso (g), cuerda alar (mm) y largo del tarso (mm), se utilizó una regla metálica de 150 mm modelo WING15ECO de AVINET® para medir la longitud de la cuerda alar y la cola, mientras que para el resto se utilizó un vernier digital modelo SPI 150 mm de AVINET®, posterior a la toma de medidas los ejemplares fueron liberados en el mismo sitio de colecta.

Se utilizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) para las comparaciones entre las medias de los estadísticos evaluados para cada ave por medio del programa Minitab.

Se procesaron un total de 55 datos (22 de BAIS y 33 de GRSP) con las variables de peso (g), longitud del tarso (mm) y longitud de ala (mm), se calcularon tres índices de condición corporal, el modelo Ringelman y Szmczak (1985) proponen que el ICC se obtenga mediante la siguiente relación $ICC = \text{peso (g)} / \text{longitud del ala (mm)}$,

como resultado BAIS obtuvo un índice de 0.25 (EE = 0.004), mientras que GRSP obtuvo un índice de 0.26 (EE = 0.003).

El modelo propuesto por Winker (1992), utiliza el peso (g)*1000/ longitud del ala (mm)³. Teniendo como resultado para BAIS un índice de 0.05 (EE=0.002) y para GRSP con un índice de 0.07 (EE=0.001).

Finalmente, el ICC propuesto por Delong y Gessaman (2001) se calculó mediante el peso (g) / longitud del ala (mm)* longitud del tarso, resultando para BAIS 5.43 (EE=0.079) y GRSP 5.34 (EE=0.084).

De los tres ICC analizados se obtuvo como resultado que las medias son significativamente similares entre especies como se muestra en la siguiente gráfica.

Cuadro 1. Variables morfométricas e índices de condición corporal de *Centronyx bairdii* (BAIS) y *Ammodramus savannarum* (GRSP) colectados durante su estancia invernal 2020 en Cuchillas de la Zarca, Durango.

Especie	Ala (mm)	Tarso (mm)	Peso (g)	RINGELMAN	WINKER	DELONG
BAIS (n=22)	68.14 (0.656)	21.50 (0.154)	17.2 (0.226)	0.252 (0.004)	0.054 (0.002)	5.43 (0.079)
GRSP (n=33)	62.55 (0.392)	20.18 (0.204)	16.57 (0.153)	0.264 (0.003)	0.068 (0.001)	5.344 (0.084)

* Promedio y error estándar.

Resultados y Discusión

Los datos morfométricos tomados para estas dos especies de aves son similares a los reportados por Sierra-Franco y colaboradores (2015). Algunos autores señalan que es posible observar un ICC bajo cuando las aves migratorias arriban a los sitios de invernación, y este ICC puede aumentar de forma gradual en próximos meses (Arizaga *et al.*, 2012).

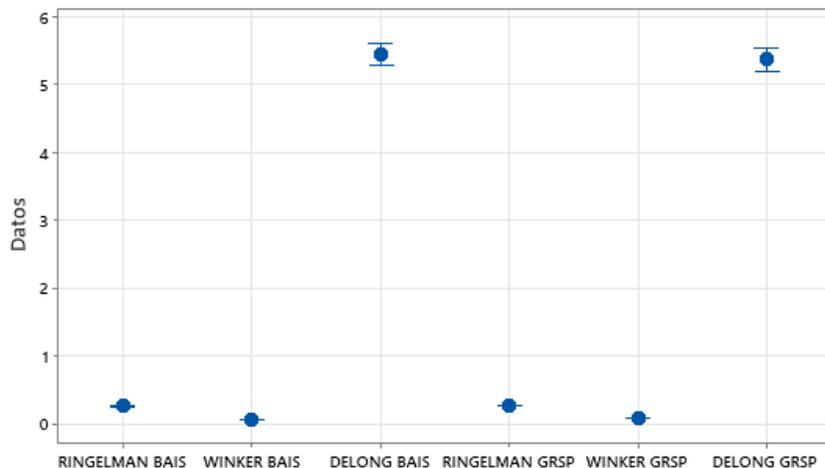


Figura 1. Índices de condición corporal de dos aves de pastizal *Amodrammus savannarum* (GRSP) y *Centronyx bairdii* (BAIS).

Conclusion

Los resultados obtenidos mediante el uso de los tres ICC muestran un comportamiento similar entre las dos especies de gorriones, lo que puede referir que los modelos son confiables y útiles al estimar la condición.

Referencias

- Arizaga, J., Crespo-Díaz, A., Cuadrado, J. F., Mazuelas, D., & Gutiérrez, O. (2012). Condición corporal de paseriformes transaharianos en un palmeral del sureste de Marruecos durante el periodo de paso migratorio prenupcial. *Munibe*, 60, 141-157.
- Delong, J.P. y Gessaman, J.A. (2001). A comparison of noninvasive techniques for estimating total body fat in sharp-shinned and cooper Hawks. *Journal of Field Ornithology*, 3(72):349-364. DOI: [dx.doi.org/10.1648/0273-8570-72.3.349](https://doi.org/10.1648/0273-8570-72.3.349).
- González R.A., C. N. Morong, C.F. Estades. (2004). Variación estacional de índices de condición corporal en aves de bosque en Chile central. *Boletín Chileno de Ornitología* 10:20-24.
- Green, A. J. (2001). Mass/length residuals: measures of body condition or generators of spurious results?. *Ecology*, 82(5), 1473-1483.
- Panjabi, A., & Beyer, L. (2010). Desert grassland bird conservation: is low Winter survival driving population declines? Phase I. Report Phase I., Brighton, 10.
- Schamber, J. L., Esler, D., & Flint, P. L. (2009). Evaluating the validity of using unverified indices of body condition. *Journal of Avian Biology*, 40(1), 49-56.
- Sánchez-Guzmán, J. N., Losada-Prado, S., & Moreno-Palacios, M. (2018). Análisis de la condición corporal de aves Passeriformes en zonas secas del norte del Alto Valle del Magdalena, Colombia/Analysis of body condition of Passerine birds in dry zones of the north of Upper Magdalena Valley, Colombia. *Caldasia*, 40(1), 1-17.
- Sierra-Franco, D., Pereda-Solís, M. E., Martínez-Guerrero, J. H., & Ortega, I. R. (2015). Morphometric Characterization of the Grasshopper Sparrow (*Ammodramus savannarum*) and Baird's Sparrow (*Ammodramus bairdii*) during the Wintering Season. *Open Journal of Ecology*, 5(12), 574.
- Ringelman, J.K., Szymczak, M.R. (1985). A physiological condition index for wintering mallards. *The Journal of Wildlife Management*, 3(49): 564-568. DOI: [dx.doi.org/10.2307/3801672](https://doi.org/10.2307/3801672).
- Winker, K., Warner, D.W. y Weisbrod, A.R. (1992). Daily mass gains among woodland migrants at an inland stopover site. *The Auk* 109(4):853-862. DOI:[dx.doi.org/10.2307/4088159](https://doi.org/10.2307/4088159).

AUTOMATIZACIÓN DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES DE CORRAL MEDIANTE MICROCONTROLADOR ARDUINO

ELY GARCÍA XOTLANIHUA¹, RICARDO CASTRO GARCÍA², ROBERTO RUIZ CASTRO³, FRANCISCA RODRIGUEZ CALIHUA⁴

Resumen

El presente artículo describe el diseño y desarrollo de un prototipo de automatización de incubación eficiente de huevos de aves de corral mediante microcontrolador Arduino en la región de Zongolica en las altas montañas en la zona centro del estado de Veracruz.

El actual prototipo posee un hardware con piezas genéricas, accesibles y de fácil configuración, en cuanto al software, incluye un lenguaje de programación de alto nivel, la estructura principal se consolida con una combinación de madera, madera comprimida o MDF, acero, Tetra Brik reciclados para modulares de interiores en edificaciones y caucho sin tratar, con una capacidad de incubación de 180 huevos por ciclo de incubación y un costo de adquisición accesible, el funcionamiento se caracteriza por su automatización en los procesos vitales y su capacidad de actualización.

El trabajo se realizó con la adecuada implementación del sistema, también se logró la construcción del prototipo basado mediante tecnología Arduino, en las pruebas se controlaron considerablemente las variables y se realizó el control de acuerdo a los parámetros configurados, de esta manera por medio de sensores se automatizó el encendido y apagado de los generadores de calor, controlando así las variables de humedad y temperatura.

Palabras clave: Tecnología, Incubadora, Arduino, Sensor.

Abstract

This article describes the design and development of an automation prototype for the efficient incubation of poultry eggs using an Arduino microcontroller in the Zongolica region in the high mountains in the central zone of the state of Veracruz. The current prototype has hardware with generic parts, accessible and easy to configure, in terms of software, it includes a high-level programming language, the

¹ Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ). Km. 4 Carretera a La Compañía s/n Tepetitlanapa, C.P. 95005, Zongolica, Veracruz. 176w0569@zongolica.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ). Km. 4 Carretera a La Compañía s/n Tepetitlanapa, C.P. 95005, Zongolica, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ). Km. 4 Carretera a La Compañía s/n Tepetitlanapa, C.P. 95005, Zongolica, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico Superior de Zongolica (ITSZ). Km. 4 Carretera a La Compañía s/n Tepetitlanapa, C.P. 95005, Zongolica, Veracruz.

main structure is consolidated with a combination of wood, compressed wood or MDF, steel, Tetra Brik recycled for interior modular in buildings and untreated rubber, with an incubation capacity of 180 eggs per incubation cycle and an affordable acquisition cost, the operation is characterized by its automation in vital processes and its ability to update.

The work was carried out with the adequate implementation of the system, the construction of the prototype based on Arduino technology was also achieved, in the tests the variables were considerably controlled and the control was carried out according to the configured parameters, in this way by means of sensors. The switching on and off of the heat generators was automated, thus controlling the variables of humidity and temperature.

Keywords: Technology, Incubator, Arduino, Sensor.

Introducción

El avance progresivo e imparable de la tecnología y herramientas, tales como, sensores, módulos, controladores entre otros, ha permitido técnicas y medios que faciliten la realización de actividades, así mismo, buscar innovaciones a las actividades tradicionales desarrolladas por el hombre, mediante la combinación de hardware y software, los cuales facilitan y aceleran el proceso de desarrollo de cada una de estas, debido a que la antes mencionada combinación no generan agotamiento humano por repetición y/o “error humano” (Ángel, 2019).

Una incubadora es conocida también como una estufa de cultivo, las cuales tienen la finalidad de emitir calor a una zona local o específica, pues mantiene la temperatura ideal, así como la humedad, el CO₂ y el oxígeno en grados idóneos para realizar cultivos. Actualmente, las comunidades rurales no cuentan con incubadoras de éste tipo, por lo que al difundirse el equipo de bajo costo, se podría aumentar el nivel productivo y comercial de aves (Espinoza, 2019).

El presente proyecto consiste en la automatización del proceso de incubación de huevos de aves de corral por medio de la implementación de un prototipo de incubadora artificial, contribuyendo así al desarrollo sustentable, y como valor agregado al desarrollo económico y social en la creación de ingresos propios y el autoempleo de habitantes de zonas rurales.

Para llevar a cabo nuestro sistema, se realizó la construcción del prototipo basado mediante tecnología Arduino, el cual recibe las variables y realiza el control de acuerdo a los parámetros configurados, de esta manera por medio de sensores se automatizó el encendido y apagado de los generadores de calor, controlando así las variables de humedad y temperatura (Beiroa, 2019).

Con lo anterior se pretende generar impacto a nivel ambiental, social, investigativo y empresarial. Al igual, se presentan los resultados obtenidos del proyecto para la validación del prototipo de incubadora artificial.

Los modelos actuales se componen de materiales de baja calidad, con piezas de repuesto escasas o nulas y una capacidad muy limitada, los que se componen de materiales de media-alta calidad, se comercializan a costos exorbitantes y desde el extranjero, sin posibilidad de mantenimiento o actualizaciones de acuerdo a las necesidades de los usuarios, como lo podemos observar en los modelos “Generic 7”, el cual tiene una capacidad para 7 huevos, un costo de 535 pesos mexicanos, sin rotación automática y con material totalmente de plástico, en el modelo “FL-54”, el cual tiene una capacidad para 54 huevos, un costo de 6,600 pesos mexicanos, con rotación automática y con triplay de 12 mm forrado con película plástica y en el modelo “CM108V1”, el cual tiene una capacidad para 108 huevos, un costo de 10,464 pesos mexicanos, con rotación automática y con material triplay forrado con formaica.

El actual prototipo posee un hardware con piezas genéricas, accesibles y de fácil configuración, en cuanto al software, contiene un lenguaje de programación de alto nivel, la estructura principal se consolida con una combinación de madera, madera comprimida o MDF, acero, Tetra Brik reciclados para modulares de interiores en edificaciones (González, De Jesús, & Sotomayor Robles, 2021) y caucho sin tratar, con una capacidad de incubación de 180 huevos por ciclo de incubación y un costo de fabricación accesible, el funcionamiento se caracteriza por su automatización en los procesos vitales y delicados y su capacidad de actualización, de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

Materiales y Métodos

Para el proyecto de automatización de incubación se ocuparon diversos materiales. En la tabla 1, se incluye la lista de los materiales.

Tabla 1. Lista de materiales.

Material	Descripción	Cantidad
Placa Arduino	Arduino	1 pza.
Sensor de Temperatura Y Humedad	Modelo DHT22	1 pza.
Módulo Relevador	Modelo 5v a 125v	2 pzas.
Display	Modelo 16x2	1 pza.
Driver	Para motor paso a paso	1 pza.
Motor Paso a Paso	Modelo Nema 17	1 pza.
Módulo Bluetooth	Modelo HC-06	1 pza.
Módulo Reloj	Modelo RTC DS3231	1 pza.
Ventilador	Modelo 12v	1 pza.
Bomba Hidraulica	Modelo 0.5 HP	1 pza.
Modulo Sensor de Nivel de Agua		1 pza.
Focos Incandescentes	Potencia de 100 watts	2 pzas.

Clavijas	De uso rudo	2 pzas.
Contacto	Aterrizado con 2 tomas	1 pza.
Cable	Modelo calibre 18	2 pzas.
Cable	Modelo Dupont M-m	72 pzas.
Portalámparas	Material de cerámica	2 pzas.
Protocolo de comunicación	Modelo I2C	1 pza.
Cargador	Modelo 12v	1 pza.
Cargador	Modelo 5v	1 pza.
Cinta	Aislante	1 pza.
Servomotor	Modelo SG90	1 pza.
Madera	MDF	16 pzas.

La investigación inició después de recibir reportes de varias familias dedicadas a la avicultura, donde expresaban que las pérdidas en la incubación de los huevos de las aves de corral, se constaban entre el 60 y 90 por ciento, por causa de distintas variables. Esta investigación se realizó de forma experimental, detallando las variables exactas causantes de tales pérdidas, esto se determinó mediante el conocimiento de las familias, ya que estas tienen identificadas las variables, las cuales son, la falta de temperatura, humedad, depredadores naturales, huevos no fertilizados y falta de gallinas que puedan incubarlos. A continuación, se describen los procedimientos realizados en este proyecto.

Estructura resistente:

Se elaboró una caja fabricada en madera comprimida, con un largo de 120 cm., un ancho y una altura de 40 cm., donde se colocarán todos los elementos necesarios para la correcta eclosión de los huevos, siendo las dimensiones adecuadas y con las medidas necesarias para la optimización del espacio respecto a eficiencia. En la figura 1 se muestra la estructura de la caja fabricada.



Figura 1. Estructura resistente.

Mecanismos de transmisión:

Se le ensambló un soporte cilíndrico de madera, con un largo de 140 cm. y un diámetro de 3 cm., con el propósito de sostener los 8 contenedores en donde irán los huevos y otorgarles un movimiento rotativo con 360 grados de libertad, evitando que el embrión se adhiera al cascarón, esta transmisión se conectó al motor modelo nema 17 para darle movimiento y lograr su funcionalidad, el motor funciona con 12 volts de corriente directa. La figura 2, muestra los mecanismos de transmisión del proyecto.



Figura 2. Mecanismos de trasmisión.

Sistema de bombeo:

Se colocó el primer contenedor cilíndrico de plástico para agua en la parte externa, con un diámetro de 30 cm. y una altura de 28 cm., con una capacidad para 19.5 litros, que por medio de una bomba hidráulica de 0.5 caballos de fuerza, la cual se recicló para tal fin, este contenedor requiere de un abastecimiento cada 21 días, el agua dura un total de 1 ciclo (el agua se drena y reabastece después de cada ciclo). A continuación, se colocó el segundo contenedor cilíndrico para agua en la parte interna, con un largo de 110 cm., un ancho de 30 y una altura de 10 cm., con una capacidad para 33 litros, que por medio de la bomba hidráulica antes mencionada, será abastecido, lo cual se hará de forma automática cada que el sensor de nivel de agua detecte un nivel por debajo del 25%, el agua dura un total de 1 ciclo (el agua se drena y reabastece después de cada ciclo).

Finalmente, en el exterior de la incubadora se instaló la bomba hidráulica, adecuada para bombear el agua a través de un sistema de tuberías, conectado de la boquilla de succión de la bomba hasta el contenedor externo, y de la boquilla de expulsión hasta el contenedor interno de la incubadora, con el propósito de mantener un abastecimiento continuo y expedito. En la figura 3, se muestra el sistema de bombeo.



Figura 3. Sistema de bombeo.

Circuito eléctrico:

Dentro de la incubadora se instaló un par de focos con una potencia de 100 watts cada uno, siendo estos las principales fuentes de calor, colocados en la parte superior central de la incubadora, a 15 cm. de los huevos para darles el calor adecuado de 37.7 grados centígrados para una exitosa incubación, posteriormente se colocó un ventilador de 12 volts, que tiene la función de reducir la temperatura de forma acelerada, con unas dimensiones de 80 por 80 mm., que se colocó en tal parte trasera inferior central de la incubadora., conectando el sistema eléctrico a los sensores, para monitorear y finalmente programar los parámetros (Thomas, 2004). En la figura 4, se muestra el circuito eléctrico del proyecto.

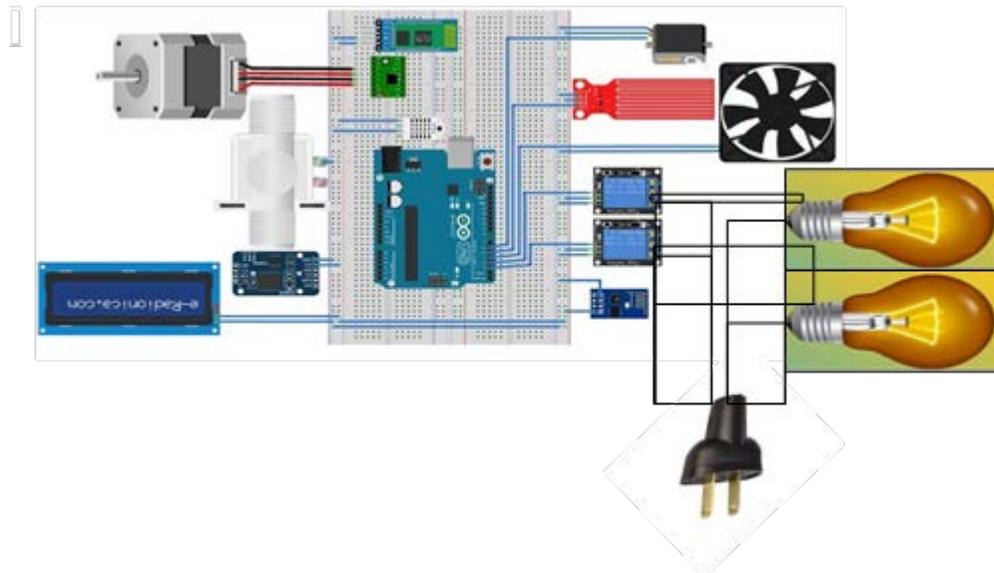


Figura 4. Circuito eléctrico.

Resultados y Discusión

Como resultados del proyecto, las lecturas se tomaron 3 veces por día, la primera a las 8 AM., la segunda a las 4 PM. y la tercera a las 12 AM, durante $\frac{1}{3}$ de ciclo, equivalente a 7 días, resultando de la siguiente manera:

Tabla 2. Lecturas de las variables de temperatura y humedad.

Día	Hora	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	8:00 AM.	37.8	58%
1	4:00 PM.	37.7	60%
1	12:00 AM.	37.6	59%
2	8:00 AM.	37.8	58%
2	4:00 PM.	37.8	59%
2	12:00 AM.	37.8	59%
3	8:00 AM.	37.8	58%
3	4:00 PM.	37.7	59%
3	12:00 AM.	37.7	60%
4	8:00 AM.	37.7	59%
4	4:00 PM.	37.7	58%
4	12:00 AM.	37.6	59%
5	8:00 AM.	37.6	59%
5	4:00 PM.	37.6	59%
5	12:00 AM.	37.7	58%
6	8:00 AM.	37.7	59%
6	4:00 PM.	37.7	60%
6	12:00 AM.	37.8	58%
7	8:00 AM.	37.8	59%
7	4:00 PM.	37.7	58%
7	12:00 AM.	37.7	60%

En la figura 5, se presentan las lecturas en promedio durante $\frac{1}{3}$ de ciclo.

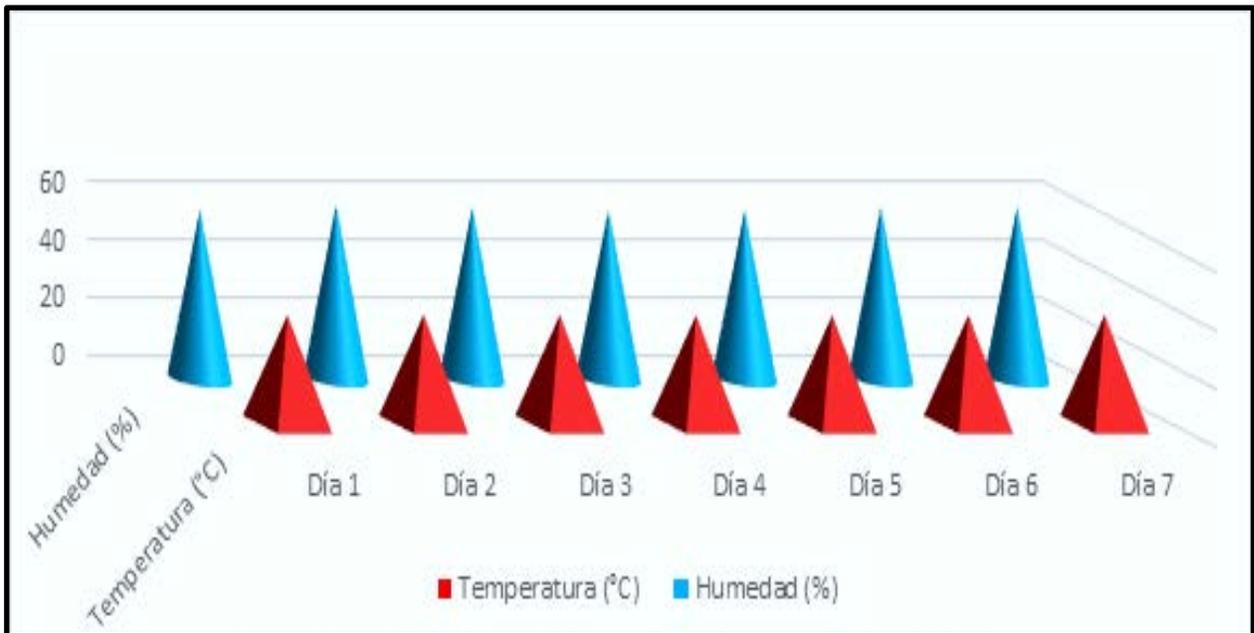


Figura 5. Lecturas en promedio durante $\frac{1}{3}$ de ciclo.

Conclusión

El presente trabajo se realizó con la adecuada implementación del sistema, se logró la construcción del prototipo basado mediante tecnología Arduino, en las pruebas se controlaron considerablemente las variables y se realizó el control de acuerdo a los parámetros configurados, de esta manera por medio de sensores se automatizó el encendido y apagado de los generadores de calor, controlando así las variables de humedad y temperatura.

El desarrollo del proyecto se realizó de manera eficiente logrando la automatización del proceso de incubación de huevos de aves de corral por medio de la implementación del prototipo de incubadora artificial.

El prototipo presenta ventajas y limitaciones en comparación de los prototipos antes mencionados y algunos otros, una de las ventajas es la capacidad de incubación, el costo inferior, el material de alta calidad, la capacidad de adaptación y actualización y la facilidad para adquirir piezas de repuesto, en cuanto a limitaciones, se presenta el no tener una patente o registro.

Finalmente de esta manera se presentó una tecnología innovadora como gran alternativa para contribuir al desarrollo sustentable, y como valor agregado al desarrollo económico y social en la creación de ingresos propios y el autoempleo de los habitantes de la zona de Zongolica de las altas montañas del Estado de Veracruz.

Referencias

- Ángel Andrés, R. M. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de incubadora con supervisión inteligente para la eclosión de huevos. Riobamba, Ecuador.
- Espinoza Canaza, F. I. (2019). Construcción y evaluación del funcionamiento de un prototipo de incubadora para usos múltiples (Issue 1) [Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería].
- Beiroa, R. (2019). Arduino, prototipado y programación avanzada. México: Alfaomega-Marcombo.
- González, M., De Jesús, R., & Sotomayor Robles, S. (2021). <http://repositorio.ulvr.edu.ec/>. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4538>
- SIEGVER (Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). (2021). Ganadería y Avicultura Municipio de Tequila.
- Vazquez Martinez, I., y Portillo Salgado, R. (2019). Género y seguridad alimentaria: Rol e importancia de la mujer en la avicultura de traspatio en Tetela de Ocampo, Puebla, México.
- Thomas E. Kissell. (2004). Industrial Electronics: Applications for Programmable Controllers, Instrumentation and Process Control, and Electrical Machines and Motor Controls, 2nd edition. United State of America: Prentice Hall.

APORTE DE LA ACUICULTURA PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS DE LA AGENDA 2030

FABIOLA DE MARÍA BELTRÁN GARCÍA¹, DIEGO PLATAS ROSADO²

Resumen

El presente trabajo de investigación pretende expresar la contribución de la acuicultura, al alcance de la agenda 2030 y los objetivos del desarrollo sostenible, propuestos por la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU) desde el año 2012 y con una visión transformadora para ser cumplida en el año 2030. La acuicultura como tal es una actividad de producción de alimentos acuáticos la cual cuenta con diversas técnicas y tipos de sistemas de producción los cuales comprende los peces los moluscos, crustáceos, plantas, las crías suponen la intervención humana para incrementar la producción e incluso repoblación de sistemas naturales acuáticos. La cual está directamente ligada con la seguridad alimentaria y la suficiencia de alimentos inocuos y nutritivos. Dentro de los materiales y métodos y técnicas utilizadas por los acuicultores en la generación y crianza de especies, se encuentran de tipo extensivo, semi-intensivo e intensivo. Dentro de los resultados más relevantes de la acuicultura y como nos ayudan a llegar a los objetivos del desarrollo sostenible tenemos que la producción acuícola se relaciona directamente con 7 de 17 objetivos de manera directa proporcionando un amplio campo de acción en para el cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible para el año 2030, dentro de los ODS, más relevantes para la acuicultura se encuentran en objetivo 14 vida submarina y los recursos marinos en conclusión la acuicultura es fundamental para cumplir con los ODS para el año 2030.

Palabras clave: Desarrollo sostenible, Objetivos del desarrollo sostenible, Sistemas de producción

Abstract

This research work aims to express the contribution of aquaculture, within the scope of the 2030 agenda and the objectives of sustainable development, proposed by the United Nations World Organization (UN) since 2012 and with a transformative vision to be fulfilled. in the year 2030. Aquaculture as such is an aquatic food production activity which has various techniques and types of production systems which include fish, molluscs, crustaceans, plants, and offspring, which involve human intervention

¹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (COLPOS). Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Paso San Juan y Puente Julia, Tepetates, Veracruz, México. C.P. 91690

² Colegio de Postgraduados Campus Veracruz (COLPOS). Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Paso San Juan y Puente Julia, Tepetates, Veracruz, México. C.P. 91690

to increase the production and even repopulation of natural aquatic systems. Which is directly linked to food security and the sufficiency of safe and nutritious food. Within the materials and methods and techniques used by aquaculturists in the generation and rearing of species, they are extensive, semi-intensive and intensive. Among the most relevant results of aquaculture and how they help us to reach the objectives of sustainable development, we have that aquaculture production is directly related to 7 of 17 objectives in a direct way, providing a wide field of action in order to fulfill the objectives. of sustainable development for the year 2030, within the SDGs, the most relevant for aquaculture are found in objective 14 underwater life and marine resources in conclusion aquaculture is essential to meet the SDGs for the year 2030.

Keywords: Sustainable development, Sustainable development goals, Production systems

Introducción

La importancia del estado actual de la acuicultura es más relevante que nunca antes tanto a nivel local, nacional como internacional, pue representa una alternativa con gran área de influencia para la seguridad alimentaria de las futuras generaciones, y actualmente para las necesidades imperantes de la sociedad y del mundo al acercamiento del mundo a la agenda 2030 y sus (ODS) Objetivos de desarrollo sostenible, el propósito de estos 17 objetivos es crear metas mundiales relacionadas con los desafíos ambientales políticos y económicos de los que se enfrenta el mundo de aquí al año 2030. Los objetivos del desarrollo sostenible también conocidos como objetivos mundiales, se gestaron en la Conferencia Nacional Sobre Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible de Rio de Janeiro en 2012, conforman los objetivos de la agenda 2030 y sustituyen a los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) del año 2000 para hacer frente a la pobreza extrema y al hambre y con ello prevenir las enfermedades mortales y mejorar la economía, la educación entre otro factores que determinan el bienestar humano (ONU, 2018).

Como la acuicultura ayuda a impulsar el desarrollo sostenible, puesto que la acuicultura es una actividad económica que se encuentra relacionada, con la economía, la sociedad y los procesos biológicos, cuenta con las bases para volverse una actividad sustentable, a nivel del termino de sustentabilidad la acuicultura se presenta como una de las formas más eficientes de promover de proteína de alta calidad nutricional al ser humano.

La eficiencia de la producción acuícola se nota ampliamente en la tasa de la conversión alimenticia por kilo que el pescado aporta ya que con menos recursos naturales se obtiene gran cantidad de carne que con otras proteínas, como la res o el cerdo.

Actualmente como sociedad nos enfrentamos a una variedad de retos que van desde las crisis económicas hasta el cambio climático y el incremento poblacional (FAO, 2012). Se estima que hay una población de 7,300 millones de personas en el planeta (United States Census Bureau, 2015), y se espera que para el 2050 la población se incremente a 9,600 millones (ONU, 2013).

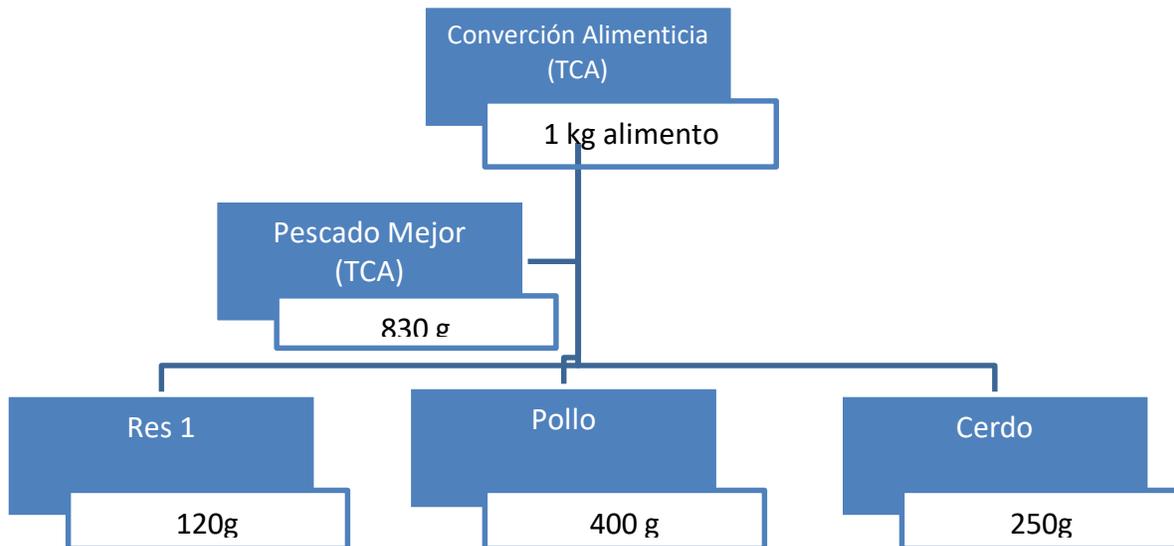


Figura 1. Eficiencia de tasa de conversión alimenticia (TCA) de proteínas (Autoría propia)

La acuicultura es una actividad productora de alimentos que depende de ecosistemas o sitios gestionados, hecho que se hace visible a la planeación estratégica y el desarrollo sostenible constituye uno de los sectores de mayor crecimiento para la producción de alimentos que aporta actualmente cerca del 50% de la oferta mundial de pescado y es una de las actividades económicas del presente siglo (Pérez, 2014)

En el sector pesquero el modelo de desarrollo se ha concentrado gradualmente en asegurar la sostenibilidad ambiental, social y económica de la actividad, desarrollando una cultura de conservación de los recursos naturales y del ambiente (Álvarez, 2008)

Materiales y Métodos

El tipo de investigación es una revisión bibliográfica, del estado actual de la acuicultura en México, y como puede ayudar esta actividad económica al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030, así como cuáles son los aportes de la acuicultura para el alcance de estos objetivos el tipo de investigación es documental con una revisión de artículos, resúmenes de comités de pesca, entre otros tipos de documentos. Este tipo de revisión bibliográfica es descriptiva, la cual tiene como concepto proporcionar al lector conceptos útiles en un área de constante evolución como lo son los sistemas económicos acuícolas y

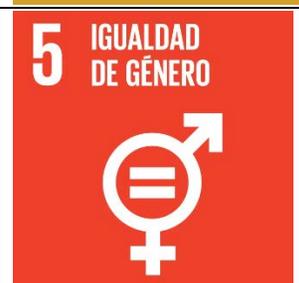
sus cambios próximos hacia la sustentabilidad y los objetivos de desarrollo sostenible. Con el objetivo de estar al día sobre las acciones que se están llevando a cabo en esta línea de investigación, la metodología es definir los objetivos de la revisión, realizar la búsqueda de la bibliografía, la consulta de datos y fuentes documentadas, el establecimiento de las reglas de búsqueda, la organización de la información y la redacción del artículo. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible sigue definiendo las estrategias de los países y las organizaciones internacionales y la sociedad civil al fin de alcanzar un mundo justo próspero y sostenible la alimentación la agricultura y la acuicultura son claves para el desarrollo sostenible tanto los (ODS) como la (FAO) se encuentran abordados a consecuencias básicas de la pobreza y el hambre, en este sentido la (FAO), desempeña múltiples funciones como los son la recopilación de datos e información.

Resultados y Discusión

Como resultados de esta investigación documental se determina que la acuicultura tiene un alto potencial para el cumplimiento de los ODS para el año 2030, relacionándose directamente con los siguientes objetivos. (1) Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo. (2) Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición. Garantizar a vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades. (6) Garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. (8) promover el crecimiento económico sostenido y sostenible el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. (9) Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible fomentar la innovación (12) Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible (13) Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. (14) Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible deteniendo la pérdida de biodiversidad (17) Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. Como se puede concluir la acuicultura se relaciona directamente con 9 de 17 objetivos del desarrollo sostenible los cuales son de gran relevancia a nivel local, nacional e internacional. De acuerdo con el (OEA) Observatorio español de acuicultura. La acuicultura sostenible será aquella que contemple las interacciones de la actividad acuícola con el medio ambiente implementando buenas prácticas y utilizando los recursos que el sistema pone a su disposición de manera responsable debe fomentar el desarrollo socio- económico de las áreas implicadas integrándose de forma armoniosa con el resto de actividades y generando empleo garantizando de esta forma su viabilidad y perdurabilidad en el tiempo. En 2013 la estrategia en España para promover el desarrollo de los objetivos de desarrollo sostenible ODS son promover el desarrollo sostenible en España, contribuir al desarrollo social y económico de las zonas

rurales y litorales de la acuicultura, fomentar la protección de recursos naturales y la conservación de los valores ambientales de estos lugares.

La visión de la acuicultura de la unión europea en términos productivos, para el año 2030 tendrá un mayor peso en términos económicos reforzando su papel dinamizador en las zonas rurales y litorales a través de la creación de empleo y garantizado a los consumidores productivos la máxima calidad y procesos sostenibles (FEP, 2013). Como se conoce cada vez más en los foros internacionales como por ejemplo el comité de pesca de la FAO y sus subcomités de comercio pesquero y acuicultura, la correcta de gestión de recursos os pesqueros y acuícolas que constituyen unos de los principales sistemas de producción de alimentos es crucial para garantizar un desarrollo que proteja la seguridad alimentaria, los medios de la vida, la seguridad alimentaria y los recursos naturales

	<p>ODS 14 (Vida submarina): Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. Para proporcionar seguridad alimentaria, nutrición y medios de vida es imprescindible mejorar la gestión de la pesca y la acuicultura y las políticas, prácticas y tecnologías del sector, garantizando al mismo tiempo que las prácticas son éticas y sostenibles</p>
	<p>ODS 1 (Fin de la pobreza), ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico) y ODS 10 (Reducción de las desigualdades): Las actividades relacionadas con la pesca y la acuicultura sustentan los medios de vida de más de 120 millones de personas en todo el mundo, que viven en su mayoría en países en desarrollo. Si se garantiza que las cadenas de valor son sostenibles y responsables, las personas más pobres y vulnerables de la sociedad resultarán beneficiadas y la pesca podrá continuar proporcionando resiliencia económica</p>
	<p>ODS 2 (Hambre cero): La pesca y la acuicultura desempeñan un papel fundamental en la lucha contra el hambre y constituyen importantes factores habilitadores de la seguridad alimentaria y la nutrición. El consumo de pescado, que proporciona alimentación nutritiva a la creciente población mundial, continúa al alza. Para 3 300 millones de personas del planeta, el pescado y los productos pesqueros aportan casi el 20 % de la ingesta promedio de proteínas animales per cápita. La pesca y la acuicultura ofrecen oportunidades únicas de sustentar la seguridad alimentaria a medida que la población mundial sigue aumentando</p>
	<p>ODS 5 (Igualdad de género): Las mujeres participan en todas las etapas de la cadena de valor de la pesca y ocupan aproximadamente la mitad de los puestos de trabajo dedicados a procesamiento después de la captura y a la comercialización del pescado. Las iniciativas de empoderamiento de la mujer basadas en la mejora del acceso pleno y la igualdad de oportunidades en el sector de la pesca y la acuicultura pueden alentar la lucha contra las desigualdades de género sistémicas y contribuir a una mayor inclusividad</p>

	<p>ODS 12 (Producción y consumo responsables): El pescado puede contribuir al establecimiento de sistemas alimentarios sostenibles ya que su huella de carbono es menor que la de otros alimentos de origen animal alternativos. La aplicación de políticas adecuadas orientadas a fomentar las prácticas de producción y consumo responsables en el ámbito de la pesca y la acuicultura respaldará el avance hacia patrones de consumo y producción más sostenibles y posibilitará la ordenación sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales</p>
	<p>ODS 13 (Acción por el clima): Las cambiantes condiciones climáticas y oceánicas, en particular el aumento de la temperatura del mar, la desoxigenación y la acidificación de los entornos acuáticos, ya están repercutiendo en la distribución y la abundancia de poblaciones de peces en muchas regiones, y más adelante también conllevarán desafíos para la sostenibilidad de muchas pesquerías y de la acuicultura. A fin de garantizar la sostenibilidad de las poblaciones de peces es crucial aplicar medidas de ordenación pesquera urgentes, innovadoras, eficaces y adaptativas. Si se dispone de pesquerías sostenibles, las generaciones futuras podrán aprovechar los múltiples beneficios que pueden aportar los peces</p>
	<p>ODS 17 (Alianzas): La única manera de alcanzar los objetivos y las metas es mediante la colaboración, que puede adoptar la forma de asociaciones del sector público con el sector privado, el mundo académico, la sociedad civil y organizaciones no gubernamentales (ONG) o que puede materializarse en alianzas transfronterizas y en iniciativas y soluciones multilaterales. Además, este objetivo prevé la cooperación internacional en el ámbito de la ordenación pesquera a través de los órganos regionales de pesca (ORP) a fin de fomentar la aplicación del Código de Conducta para la Pesca Responsable (CCPR) de la FAO y las directrices, planes de acción y acuerdos conexos</p>

En 2018 aproximadamente 59,51 millones de personas trabajaban en el sector primario de la pesca y la acuicultura (Cuadro. 1) El aumento de 2018 fue impulsado principalmente por la pesca d captura marina cuya producción aumentó un 84,4 millón de toneladas ese mismo año. Los siete principales países productores de la pesca de captura (China, Indonesia, el Perú, la India, la Federación de Rusia, los Estados Unidos de América y Viet Nam) representaron casi el 50% de la producción total de la pesca de captura mundial. (FAO, 2020)

<i>Pesca y acuicultura (milles)</i>	1995	2000	2005	2010	2015	2018
<i>África</i>	2812	3348	3925	4483	5067	5407
<i>Américas</i>	2072	2239	2254	2898	3193	2843
<i>Asia</i>	31632	40434	44716	49 427	49969	50385
<i>Europa</i>	476	785	658	648	453	402
<i>Oceanía</i>	466	459	466	473	479	473
TOTAL	37456	47263	52019	57930	59161	59509

Cuadro. 1: Número de personas empleadas en la pesca y la acuicultura en el mundo por región

Conclusión

La acuicultura tiene un amplio campo en la línea de aportes al cumplimiento de los objetivos del desarrollo sostenible a nivel mundial, pues es una actividad que aporta toda clase de beneficios desde económicos, impulsando la inclusión de la mujer en las líneas de trabajo para obtener un trabajo digno y remunerado, así mismo en la educación pues la acuicultura es una actividad que se enseña en las escuelas universidades y a nivel técnico para mejorar los procesos de la cadena productiva. Por otra parte, la acuicultura aporta al fin de la pobreza, al fin del hambre, o a la mejora de otros elementos, como la salud, la nutrición, y con ello el combate contra enfermedades e incluso pandemias por la mejora del sistema inmunológico en las personas resultado de una buena nutrición. Aporta a la igualdad de género ya que es una que pueden desarrollar tanto hombres como mujeres. Trabajo decente y crecimiento económico, la acuicultura igualmente aporta a este objetivo. Pues como vemos en el (Cuadro1) la cantidad de empleos generados por la pesca y la acuicultura es medida en millares esto significa que la acuicultura se posiciona de manar líder en los mercados mundiales con un perfil positivo y de gran alcance para el futuro. En el objetivo de vida submarina y acción por el clima, la acuicultura es preponderante en estas líneas. Dentro de estas metas esta Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países. Por lo cual en los procesos de producción acuícola se está incrementando la investigación para hacer más resilientes las granjas y su disposición geográfica mediante una escala de índices de riesgo ecológico, para la disminución de las pérdidas de biomasa e infraestructura de las granja acuícola. Esto también se vincula con La meta 13.B la cual expresa Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas. En el caso del objetivo 14 él se pretende para el 2025 prevenir y reducir de manera significativa la contaminación marina de todo tipo a aumentar los conocimientos científicos, desarrollando la capacidad de investigación, trasferir la tecnología marina a fin de mejorar la salud de los océanos y cuidar su biodiversidad

Referencias

- ÁLVAREZ, J.; TELLO, S.; TELLO, H. y CAMPOS L. (2008). Estrategia de desarrollo de la acuicultura en la región de Loreto. Recuperado el 18 de julio de 2017, de <http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/PUBL815.pdf>
- Fundación Observatorio Español de Acuicultura. (2013). ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ACUICULTURA ESPAÑOLA. FOESA (2013). Estrategia para el desarrollo sostenible de la acuicultura española. FOESA, Madrid, España. , 1, 280.
- FAO. (2020). LA SOSTENIBILIDAD EN ACCIÓN EL ESTADO MUNDIAL 2019 2019 20202020 DE LA PESCA Y LA ACUICULTURA. LA SOSTENIBILIDAD EN ACCIÓN, 1, 28.
- PÉREZ, R. (2014). Inmunopotenciadores para la acuicultura. VaccinMonitor, 23 (1), 24-31.
- ONU, 2013 <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/un-report-world-population-projected-to-reach-9-6-billion-by-2050.html>
- ONU. (2018). OBJETIVOS DE DESARROLLO. ONU GUATEMALA, 1, 3.

ACONDICIONAMIENTO ALIMENTICIO DE JUVENILES DE SARGO ARCHOSARGUS PROBATOCEPHALUS EN CAUTIVERIO

FROYLÁN SÁNCHEZ MORALES¹, MARIA DE LA LUZ MERINO CONTRERAS², SARA COTO LEAL³

Resumen

Se realizó la aclimatación alimenticia en cautiverio de un lote de 100 juveniles de sargo *A. probatocephalus*, capturados en la Laguna de Alvarado, Ver. Méx., mantenido por 120 días en un sistema de recirculación de agua a una salinidad de 10 psu, iniciando su aclimatación alimenticia con trozos de pescado y ostiones frescos los primeros 5 días después de su captura, incorporando gradualmente un alimento balanceado semihúmedo con un 45% de proteína y 10% de lípidos por otros 5 días, posteriormente se suministro un alimento balanceado seco con 40% de proteínas y 15% de lípidos con el que fueron alimentados por 100 días. Se realizaron biometrías cada 20 días registrándose la longitud total, peso y supervivencia. Transcurridos los 100 días de cultivo, se registró un peso promedio final de 128.6 ± 5 g y una talla promedio final de 20.2 ± 0.7 cm, con un incremento de peso al día de 0.66 g. y un incremento en talla de 0.06 cm/día. Se calcularon las variables de crecimiento y eficiencia alimenticia, los resultados reflejan que la dieta fue asimilada adecuadamente por los organismos con un valor de peso ganado de 51.32%. registrándose un valor de factor de conversión alimenticia de 0.84. Se realizaron análisis proximales de los organismos, observándose un incremento de la concentración de proteína cruda en los organismos al final del experimento. Se concluye que es posible utilizar una dieta con 40 % de proteína y 15 % de lípidos para el acondicionamiento alimenticio de juveniles de sargo al cautiverio.

Palabras clave: Dieta, cultivo, adaptación

Abstract

Food acclimatization was carried out in captivity of a batch of 100 juvenile white bream *A. probatocephalus*, captured in Laguna de Alvarado, Ver. Mex., kept for 120 days in a water recirculation system at a salinity of 10 psu, starting their nutritional acclimatization with pieces of fish and fresh oysters the first 5 days after their capture, gradually incorporating a semi-moist balanced food with 45% protein and 10% lipids for another 5 days, later a dry balanced food with 40 % of proteins and 15% of lipids with which they were fed for 100 days. Biometries were performed

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. mariadelaluzmerino@bdelrio.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz

every 20 days, recording total length, weight and survival. After 100 days of culture, a final average weight of 128.6 ± 5 g and a final average height of 20.2 ± 0.7 cm were recorded, with a daily weight increase of 0.66 g. and an increase in size of 0.06 cm/day. The variables of growth and feed efficiency were calculated, the results reflect that the diet was adequately assimilated by the organisms with a weight gain value of 51.32%. registering a food conversion factor value of 0.84. Proximal analyzes of the organisms were performed, observing an increase in the concentration of crude protein in the organisms at the end of the experiment. It is concluded that it is possible to use a diet with 40% protein and 15% lipids for the dietary conditioning of juvenile bream in captivity.

Keywords: Diet, cultivation, adaptation

Introducción

El sargo *Archosargus probatocephalus* (Walbaum, 1792), que es un pez marino costero subtropical que ingresa a aguas salobres, se distribuye en las costas del Océano Atlántico occidental (Bester & Robins, 2005), desde Nueva Escocia en Canadá hasta el Golfo de México, (GSMFC, 2006). Es un componente importante de las pesquerías comerciales y recreativas-deportivas a lo largo de la costa Atlántica de EUA (Figueira & Coleman, 2010). En el 2012 se consideró al *A. probatocephalus* como una especie viable para el desarrollo de la maricultura en la región, dentro del Programa Nacional de la Red Nacional de Investigación e Información en Pesca y Acuicultura RIINIPA-INAPESCA (2012). Tucker (1998, 2004), especie con potencial en acuicultura, ya que presenta una buena adaptabilidad al cautiverio, tiene un amplio espectro de alimentación, soporta bien las condiciones de hacinamiento que se presentan en los cultivos, y se han producido crías en laboratorio (Tucker & Barbera, 1987; Tuger 1998, 2004; Basurto & Cruz, 2000; Merino-Contreras et al., 2018). Es una especie de rápido crecimiento en el inicio de su desarrollo, ya que alcanza la talla comercial en el primer año de edad, puede llegar a pesar más de 14 kg y alcanzar una longitud máxima de 80 cm y su carne blanca es de excelente calidad (Beckman *et al.*, 1991; Tucker, 1998, 2004). Posee un enorme potencial socioeconómico, siendo una alternativa en la producción de peces marinos, produciendo proteína de alta calidad a bajo costo, para la población en general, generando así mismo fuentes de empleo (Tucker, 2004; Álvarez-Vela, 2009).

Uno de los aspectos más importantes en la nutrición de los peces en cautiverio, es el acondicionamiento alimenticio con dietas prácticas que cubran principalmente sus requerimientos esenciales en proteínas y lípidos. Las proteínas y lípidos son los mayores componentes de los alimentos balanceados y los más costoso (Luo *et al.*, 2004; Dong *et al.*, 2014), que dan el máximo crecimiento y mejor beneficio económico, siendo éstos los factores más importantes en una producción acuícola rentable (El-Husseiny *et al.*, 2013; Mongile *et al.*, 2014). Para promover el cultivo de

cualquier especie, es necesario profundizar en el conocimiento de los requerimientos específicos para el desarrollo de alimentos balanceados que cubran sus necesidades alimentarias. Referente a la alimentación del sargo en cautiverio, existen algunos reportes hechos por Tucker (1987), que señala que un lote de sargos alcanzó 450 g a los doce meses de cultivo, con un incremento en peso de 1.9 g día^{-1} , alimentados *ad libitum* con alimento comercial de trucha, conteniendo 45 % de proteína y 12 % de lípidos. Así mismo, Tucker (2004) reporta que alimentó juveniles y adultos de sargo con pescado crudo e hígado de pollo cocido, espinacas congeladas, algas frescas y una mezcla de alimentos comerciales para trucha y salmón, obteniendo pesos promedios de 550 g en un año de cultivo. En el mismo sentido, Merino-Contreras y colaboradores (2018), reportan que un lote de sargos alimentados *ad libitum* con alimento balanceado semihúmedo con 45 % de proteína y 10 % de lípidos, presentó un incremento en longitud patrón promedio ($0.064 \pm 0.02 \text{ cm día}^{-1}$) y peso promedio ($1.97 \pm 0.4 \text{ g día}^{-1}$). Sin embargo, los requerimientos en proteínas y lípidos de juveniles de sargo se desconocen, por lo que, el objetivo del presente estudio fue acondicionar a un lote de juveniles de sargo a alimentarse con una dieta seca con 40% de proteínas y 15% de lípidos, evaluando su crecimiento y eficiencia alimenticia, como un estudio previo que sentará las bases para evaluaciones posteriores de dietas prácticas con diferentes niveles de proteína y lípidos, para determinar sus requerimientos esenciales que permitan su adecuado crecimiento en cultivo.

Materiales y métodos

a) Obtención de organismos y elaboración de dieta

Se capturaron del el sistema Lagunar de Alvarado, en la localidad de Punta Grande ($18^{\circ}47'47.41''\text{N}$, $95^{\circ}49.5'19''\text{O}$), Alvarado, Veracruz, Méx., 100 juveniles de sargo (*A. probatocephalus*) con peso y longitud promedio de $62 \pm 2.1 \text{ g}$ y $13.6 \pm 0.6 \text{ cm}$ respectivamente. Los organismos fueron transportados en contenedores con aireación al laboratorio de Acuicultura del Instituto Tecnológico de Boca del Río, donde se les administró un baño profiláctico con peróxido de hidrógeno a 400 ppm por 30 min y agua dulce. Posteriormente fueron colocados en un sistema de recirculación en donde permanecieron durante el experimento. Dicho sistema estuvo conformado por dos tinas de fibra de vidrio con capacidad de 23 m^3 , con un filtro biológico de 7 m^3 . Los peces se colocaron a una densidad de un organismo por m^3 . El seguimiento de la calidad del agua del sistema, se llevó a cabo con una sonda multiparamétrica (Hanna HI 9828), manteniendo los parámetros dentro de los siguientes rangos: salinidad $10 \pm 1 \text{ psu}$, temperatura de $25.5 \pm 3^{\circ}\text{C}$, oxígeno disuelto $4.5 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$ y amonio total de 0.1 mgL^{-1} . Los peces se aclimataron al cautiverio para su alimentación administrando inicialmente *ad libitum* trozos de pescado y ostión frescos, por cinco días y gradualmente se cambió a alimento balanceado semihúmedo con 45 % de proteína y 12 % de lípidos, el cual estuvo conformado por

alimento balanceado de iniciación para tilapia (Purina), filete de pescado fresco, calamar, lecitina de soya, aceite de pescado, alginato de sodio y premezcla de vitaminas y minerales, posteriormente y de forma gradual se sustituyó la dieta semihúmeda por la dieta seca evaluada, que contenía 40 % de proteínas y 15% de lípidos, los ingredientes y la composición proximal se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Ingredientes y composición proximal de la dieta seca empleada para acondicionar juveniles de sargo *A. probatocephalus*.

Ingredientes g (100 g dieta)⁻¹	% de inclusión
Caseína ^a	38.07
Harina integral de sorgo ^c	30.13
Harina de sardina ^b	10.0
Aceite de pescado ^b	12.19
Lecitina de soya ^b	4.0
Alginato de sodio ^b	3.0
L-Lisina ^e	0.5
L-Metionina ^e	0.5
Premezcla de vitaminas ^d	2
Premezcla de minerales ^d	1.5
Acido ascórbico ^e	0.1
Betaína ^e	0.04
Composición proximal (% de materia seca, excepto humedad, ±SD)	
Proteína cruda	43.0 ±1.9
Extracto etéreo	17.8 ±0.8
Ceniza	10.2±0.6
Fibra	1.1 ±0.1
NFE ^f	17.9
Energía bruta (cal g ⁻¹)	6053 ±458
Humedad	7.9 ±0.1

a Hammar quality Casein, Research Organic No. catálogo 1082C

b Proteínas marinas y Agropecuarias S.A.C.V. Guadalajara, Jalisco, México

c Galmex Comercializadora de insumos agrícolas S.A.C.V, Villahermosa, Tabasco

d Rovimix L-EC Roche

e Sigma-Aldrich

f Extracto Libre de Nitrógeno calculado como 100- (% proteína+% de extracto etéreo+% Cenizas+% Fibra).

Para la preparación de las dietas, los ingredientes secos se pulverizaron y tamizaron a través de una malla de 0.5 mm, se adicionó el aceite de pescado y la lecitina de soya, y se agregó 40% en peso de agua destilada. Todos los ingredientes fueron mezclados en una batidora Kitchen Aid (KS55, Hawaii, EUA) durante 10 min. La manufactura de los pellets se realizó al pasar la masa homogénea en un molino para carne (Toro Rey M-22 RI, DF. México), y posteriormente se secaron en un

horno (Coriat HG 25A, DF. México) a 50 °C durante 24 h, en seguida fueron tamizados manualmente en diferentes tamaños. Las dietas fueron almacenadas en un congelador (Environmental equipment 10310, Cincinnati, Ohio, USA) a -21 °C hasta su uso.

Se tomaron muestras de la dieta y de los peces del ensayo, al inicio y al final del experimento, las cuales fueron almacenadas en un congelador (Environmental equipment 10310, Cincinnati, Ohio, USA) a -21 °C, para posteriormente analizar por triplicado su composición proximal, se determinó el porcentaje de materia seca, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno con los métodos de la AOAC (2000), la proteína cruda y la energía bruta se determinaron con un Analizador elemental Flash 2000 de CHNS/O (Thermo Fisher Scientific, United Kingdom).

Se realizaron biometrías de los organismos cada 20 días, anestesiados previamente con Eugenol 250 ppm. Se registró el peso húmedo en g con una báscula digital (Ohaus® HH 120, precisión 120 g ± 0.1 g, Shenzhen, China) y la longitud total en cm por medio de un vernier digital (EXEL CR2032, precisión 0.1 mm, China), así como la supervivencia en porcentaje [(número final de peces/número inicial de peces)*100]. El experimento tuvo una duración de 100 días.

b) Variables de crecimiento y eficiencia alimenticia

A partir de los datos biométricos registrados de los peces del ensayo, se determinaron las siguientes variables de crecimiento: tasa específica de crecimiento (SGR), peso diario ganado (ADG), peso ganado (WG) y factor de condición (FC), de acuerdo a Wang *et al.*, (2005) y Amirkolaine *et al.*, (2005), con las siguientes fórmulas:

Tasa específica de crecimiento (SGR) = $[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial})/\text{días}] * 100$.

Peso diario ganado (ADG) g día^{-1} = $(\text{promedio del peso final} - \text{promedio del peso inicial}) / \text{número de días}$

Factor de condición (FC) = $(\text{peso promedio final} - \text{longitud promedio del cuerpo final}^3) * 100$.

Peso ganado (WG %) $\text{g} = [(\text{Peso promedio final} - \text{Peso promedio inicial}) / \text{Peso promedio final}] * 100$.

A partir de los datos biométricos registrados y las determinaciones de los análisis proximales de los peces, se determinaron también los siguientes parámetros de eficiencia alimenticia: ingesta diaria de alimento (DFI), factor de conversión alimenticia (FCR), tasa de eficiencia proteica (PER), valor de proteína productiva (PPV), energía bruta retenida (GER), energía diaria ganada (DEG), tasa de proteína diaria ganada (DPG) y tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR), de acuerdo a Wang *et al.*, (2005), Almirkolaie *et al.*, (2005), con las siguientes fórmulas:

Ingesta diaria de alimento (DFI) $\text{g} = (\text{alimento consumido g de material seca}) /$

número de peces/ día.

Factor de conversión alimenticia (FCR)= (alimento consumido g de material seca / (peso ganado en los peces en g).

Tasa de eficiencia proteica (PER) g = (Peso húmedo ganado en los peces g/ (consumo de proteína g).

Valor de proteína productiva (PPV) = (% de proteína final del cuerpo x peso del cuerpo final) –(% inicial de la proteína del cuerpo x peso del cuerpo inicial / (total del consumo de proteína (g) x peso ganado (g) x100).

Energía bruta retenida (GER) kJ = (Energía ganada en los peces, kJ) /consumo de energía, kJ) x 100.

Energía diaria ganada (DEG) kJ = (consumo de energía, g)/ tiempo (días) x N (número final de peces).

Tasa de proteína diaria (DPG)= (consumo de proteína, g)/ tiempo (días) x N (número final de peces).

Tasa absoluta de alimentación= Cantidad de alimento consumido/100

Tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR)= Tasa absoluta de alimentación x % lípidos/100.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Chakravarti et al., 1967) y la homocedasticidad con la prueba de Levene (Hotelling, 1988). Los datos de composición proximal de los peces, que no cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica, fueron analizados con la prueba de Kruskal-Wallis. Las diferencias se consideraron significativas a $P < 0.05$, en el análisis se utilizó el programa Statistica (v 7.1, Stat Soft, Tulsa, Ok, USA).

Resultados y discusión

El período de pre-acondicionamiento de los organismos duró 15 días, con una mortalidad del 20 %, sobreviviendo 80 de los 100 organismos capturados. Durante la adaptación al consumo de alimento balanceado seco, se presentó una mortalidad del 9% en los organismos. Transcurridos los 100 días de cultivo, se registró un peso promedio final de 128.6 ± 5 g y una talla promedio final de 20.2 ± 0.7 cm, como se señala en el cuadro 2.

Cuadro 2 Peso húmedo (g) y longitud total (cm) promedio de juveniles de sargo (*A. probatocephalus*), alimentados 100 días con la dieta (promedio \pm SD).

Biometría (días)	Peso (g)	Longitud total (cm)
Inicial	62.6 \pm 4	13.6 \pm 0.6
20	75.7 \pm 3.5	14.8 \pm 0.3
40	90.2 \pm 3.2	15.7 \pm 0.6
60	104.5 \pm 4	16.2 \pm 0.8
80	117.2 \pm 2.3	18.3 \pm 0.3
100	128.6 \pm 5	20.2 \pm 0.7

Se considera que los juveniles de sargo crecieron de manera adecuada con la dieta suministrada con un 40% de proteína, dado que la proteína constituye en el cultivo de peces el elemento más caro, es recomendable incorporar el nivel de proteína mínimo necesario para cubrir la demanda de mantenimiento y crecimiento, y no alterar la calidad del agua (Li *et al.*, 2012). Cualquier exceso se considera inútil, tanto biológica como económicamente ya que es importante minimizar la cantidad de proteína utilizada para la energía (Ahmed & Maqbool, 2017), este nivel de proteína es similar al reportado para los espáridos como la dorada *S. aurata* (Sabaut & Luquet, 1973; Lupastsch *et al.*, 2003), el dentón común *Dentex dentex* (Espinós *et al.*, 2003), la brema manchada *Pagellus bogaraveo* (Silva *et al.*, 2006), en el besugo *Diplodus puntazzo* (Coutinho *et al.*, 2012), y en el porgy rojo *Pagrus pagrus* (Schuchardt *et al.*, 2008). Cabe señalar que este requerimiento de proteína es más alto de lo que se esperaría para peces omnívoros como lo es el sargo, al igual que la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Siddiqui *et al.*, 1998), o el bagre *Ictalurus punctatus* (Robinson & Robinette, 2010) y los espárido besugo blanco *Diplodus sargus* (Sá *et al.*, 2008) y el besugo bandeado *D. vulgaris* (Ozório *et al.*, 2009; Bulut *et al.*, 2014), los cuales tienen requerimiento menores. La capacidad de procesar niveles altos de lípidos en la dieta depende del hábito alimenticio de la especie, ya que generalmente los peces carnívoros pueden usar niveles de lípidos más altos que los peces omnívoros o herbívoros (Seilliez *et al.*, 2006). De tal manera en el presente estudio, se observó un buen crecimiento de los organismos alimentado con la dieta que contenían 15 % de lípidos, lo que es similar a los requerimientos de especies afines como el dentón común *D. dentex* de 12-17 % de lípidos (Espinós *et al.*, 2003) y el porgy rojo *P. pagrus*, que requiere 15 % de lípidos (Schuchardt *et al.*, 2008).

Referente a las variables de crecimiento y de eficiencia alimenticia se registraron valores altos que denotan un buen aprovechamiento de la dieta suministrada, como se señala en el cuadro 3. La dieta no afectó sustancialmente la supervivencia de los peces, ya que solo se registró una mortandad del 9% de los organismos durante el experimento.

Cuadro 3. Variables de crecimiento, supervivencia y eficiencia alimenticia de juveniles de sargo (*A. probatocephalus*) alimentados con la dieta (promedio \pm SD).

Variables	Valores
SGR (% día ⁻¹) ¹	4.8 \pm 0.2
ADG (g día ⁻¹) ²	0.64 \pm 0.0
FC ³	2 \pm 0.4
WG (%) ⁴	51.32
Supervivencia (%) ⁵	91
DFI ⁶	0.98 \pm 0.0
FCR ⁷	0.84 \pm 0.3
GER (%) ⁸	25 \pm 2
DEG (kJ fish ⁻¹) ⁹	12.6 \pm 2
ALFR ¹⁰	0.017 \pm 0.0

¹Tasa específica de crecimiento (SGR), ²Peso diario ganado (ADG), ³Factor de condición (FC), ⁴Peso ganado (WG %), ⁵Supervivencia (%), ⁶Ingesta diaria de alimento (DFI), ⁷Factor de conversión alimenticia (FCR), ⁸Energía bruta retenida (GER), ⁹Energía diaria ganada (DEG), ¹⁰Tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR).

En algunos casos, cuando se excede el requerimiento de proteína, la tasa de crecimiento se mantiene constante o disminuye, debido a que la proteína dietética se usa para metabolizar el exceso de aminoácidos absorbido o bien se presenta la acumulación de lípidos en los tejidos (Jobling, 2012), esto no ocurrió en el sargo, ya que generalmente el valor de la tasa específica de crecimiento (SGR) fue similar a lo reportado para el besugo bandeado *D. vulgaris* (Bulut *et al.*, 2014) y en la dorada de aleta negra *Acanthopagrus serda* (Rahim *et al.*, 2017).

Los valores de ADG y PER registrados en el presente estudio son bajos en comparación con lo obtenido por otros autores en otras especies como la dorada *S. aurata* (Robaina *et al.*, 1997), y en el besugo bandeado *D. vulgaris* (Bulut *et al.*, 2014), la diferencia en estos resultados podría deberse a la composición de aminoácidos de las dietas semipurificadas, ya que se sabe que la caseína está limitada en arginina para muchas especies estudiadas (Chen & Tsay, 1994), que pudiera ser el caso del sargo, por lo que se recomienda utilizar otras fuentes de proteína para futuras investigaciones. Los valores PPV registrados indican que la asimilación de proteínas fueron relativamente altos, similar a lo reportado para el besugo blanco *D. sargus* (Ozório *et al.*, 2006; Shymaa *et al.*, 2011). En este aspecto, se debe prestar especial atención al índice de conversión de alimento (FCR), que, en nuestro estudio, registro un valor muy adecuado para los peces alimentados con la dieta con 40 % de proteína. Este valor fue similar a los reportados por diversos autores en otras especies de peces marinos (Maldonado-García *et al.*, 2012; Bulut *et al.*, 2014).

En el porcentaje de proteína cruda registrada en los organismos alimentados con la dieta fue de 64.3 ± 1.7 %, registrando diferencia significativa con el valor de proteína cruda registrada en los organismos al inicio del experimento, de igual manera se registro diferencia significativa en el porcentaje de extracto etéreo, siendo menor en los peces alimentados con la dieta evaluada y mayor para la ceniza (12.9 ± 0.8), como se señala en el cuadro 4.

Cuadro 4. Composición bioquímica (% de materia seca, excepto humedad) del cuerpo de juveniles de sargo alimentados con la dieta (promedio \pm SD) al inicio y final del experimento.

Análisis (%)	Inicio	Final
Proteína cruda	55.3 ± 0.3^a	64.3 ± 1.7^b
Extracto etéreo	24 ± 2.6^b	20.8 ± 0.8^a
Ceniza	10.9 ± 0.4^b	12.9 ± 0.8^a
Energía bruta (cal g ⁻¹)	6138 ± 214	6179 ± 174
Humedad	73.5 ± 0.6^a	74.8 ± 0.4^a
NFE ¹	9.8	2

Valores promedios en la misma fila con superíndices diferentes presentan diferencia significativa ($P < 0.05$), Tukey.

¹Extracto Libre de Nitrógeno calculado como $100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ de extracto etéreo} + \% \text{ Cenizas})$.

Se sabe que, para la elaboración de dietas practicas, es importante considerar lo consumido por la especie en su medio natural, en este sentido cabe señalar que, la dieta de juveniles de sargo consumen principalmente ostrácodos, gammáridos, misidáceos, copépodos, gusanos poliquetos y briozoos (Sedberry, 1987) y los de mayor talla se alimentan de organismos de caparazón duro como crustáceos, moluscos bivalvos, braquiuros, equinodermos, percebes, y de pequeños peces (Jennings, 1985). Los adultos se alimentan principalmente de invertebrados y algas (Castillo–Rivera *et al.*, 2007). Otros estudios han mostrado que, la capacidad de consumir material vegetal por *A. probatocephalus*, se relaciona con adaptaciones morfológicas en la dentición y en su longitud relativa intestinal promedio, que es de 128 % (Castillo–Rivera *et al.*, 2007). Así mismo, cuenta con dientes incisivos capaces de cortar y con una serie de molares para triturar, características típicas de herbívoros (Jobling, 1995; Moyle & Cech, 2000). Su estómago en forma de saco musculoso, le permite triturar a sus presas, presenta ciegos pilóricos (en promedio 6), ambas estructuras son típicas de peces carnívoros (Luczkovich & Stellwag, 1993). Es de suma importancia considerar éstas características de la especie en la selección de ingredientes para la elaboración de dietas practicas, una vez que se establezcan los requerimientos esenciales de proteínas y lípidos para el sargo.

Conclusión

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que es posible acondicionar a consumir alimentos balanceados secos a juveniles de sargo en un período de 20 días y que los organismos presentan tasas de crecimiento adecuadas con una dieta con 40% de proteínas y 15% de lípidos, así como una tasa de supervivencia del 91%, siendo una propuesta viable para la alimentación de la especie en condiciones de cultivo.

Referencias

- Ahmed, I. & A. Maqbool. (2017). Effects of dietary protein levels on the growth, feed utilization and haemato-biochemical parameters of freshwater fish, *Cyprinus carpio* var. *specularis*. *Fish Aqua Journal*. 8: 187-198.
- Álvarez Vela, A.C. (2009). Análisis de las pesquerías de la laguna de Tamiahua, México aplicando un enfoque espacio-temporal. Tesis maestría, Instituto de Ciencias marinas y pesquerías, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Ver. México. 121 pp.
- Amirkolaie, A.K., J.L. Leenhouders, J.A.J Verreth & J.W. Schrama. (2005). Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquacult Res*. 36: 1157-1166.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2000). Official methods of analysis, 17 th edition. Arlington, Virginia, USA. 2200 pp.
- Basurto-Hernández, J.M. & L. Cruz-Barrera. (2000). Estudio preliminar sobre la inducción al desove de sargo *Archosargus probatocephalus*; (Walbaum, 1972), mediante el uso de gonadotropina coriónica humana, en el Instituto Tecnológico del Mar de Boca del Río, Veracruz. Tesis Licenciatura ITMAR No.1. Boca del Río, Veracruz. México. 75 pp.
- Beckman, D.W., A.L Stanley, J.H Render & C.A. Wilson. (1991). Age and growth-rate estimation of sheepshead, *Archosargus probatocephalus* in Louisiana waters using otoliths. *Fishery Bulletin*. 89: 1-8.
- Bester & Robins. (2005). Biological profiles: sheepshead. *Ichthyology: Education-Biological profiles*. Florida museum of natural history University of Florida www.flmnh.ufl.edu/fish/Gallery/Descript/Sheepshead/Sheepshead.html. (consultado el 15 de junio de 2016).
- Butul, M., M. Yaguit, S. Ergün, O.S. Kesbiç, U. Acar, N. Gültepe, M. Karga, S. Yilmaz & D. Güron. (2014). Evaluation of dietary protein and lipid requirements of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture International*. 22: 965-973.
- Castillo-Rivera, M., R. Zárate-Hernández & I.A. Salgado-Ugarte. (2007). Hábitos alimenticios de juveniles y adultos de *Archosargus probatocephalus* (Teleostei: Sparidae) en un estuario tropical de Veracruz. *Hidrobiológica*. 17(2): 119-126.
- Chen, H.Y., & J.C. Tsay. (1994). Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. *Aquaculture*. 119: 265-271.
- Coutinho, F., H. Peres, I. Guerreiro, P. Pousão-Ferreira, & A. Oliva-Teles. (2012). Dietary protein requirement of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*, Cetti 1777) juveniles. *Aquaculture*. 356: 391-397.

- Dong, G., X. Zhu, H. Ren, B. Nie, L. Chen, H. Li, & B. Yan. (2014). Effects of oxidized fish oil intake on tissue lipid metabolism and fatty acid composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Research*. 45: 1867-1880.
- El-Husseiny, O.M., A.K.I Elhammady & S.M. Tolba. (2013). Lipid and protein utilization by gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) under flowthrough system with regard to environmental impact. *J Arabian Aquaculture Soc*. 8: 307-320.
- Espinos, F.J., A. Tomas, L.M. Pérez, S. Balasch, & M. Jover. (2003). Growth of dentex fingerlings (*Dentex dentex*) fed diets containing different levels of protein and lipid. *Aquaculture*. 218: 479-490.
- Figueira, W.F. & F.C. Coleman. (2010). Comparing landing of United States Recreational Fishery Sectors. *Bulletin of Marine Science*. 86(3): 499-514.
- GSMFC, (2006). The sheepshead fisheries, pub. No. 143 of The Gulf of Mexico, United States. A Fisheries profile, by The sheepshead technical task force. Vanderkooy, Ocean Spring, Mississippi, USA. 143 pp.
- Jennings, C.A. (1985). Species profiles, life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of Mexico) sheepshead. Fish and Wildlife Service Biological Report 82. U.S. Army Corps of Engineers Vicksburg, Mississippi, USA. 115 pp.
- Jobling, M. (1995). *Environmental Biology of Fishes*. Chapman & Hall. London, England. 455 pp.
- Jobling, M. (2012). Nutrient requirement of fish and shrimp national Research Council (NRC). The National Academic Press, Washington D.C., USA. 376 pp.
- Li, X., Y. Jiang, W. Liu, & X. Ge. (2012). Protein-sparing effect of dietary lipid in practical diets for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings: effects on digestive and metabolic responses. *Fish Physiol Biochem*. 38: 529-541.
- Luczkovich, J.J. & E.J. Stellwag.(1993). Isolation of cellulolytic microbes from the intestinal tract of the pinfish, *Lagodon rhomboides*: Size-related changes in diet and microbial abundance. *Marine Biology*. 116(3): 381-388.
- Luo, Z., Y.J. Liu, K.S Mai., L.X Tian, D.H Liu & Y. Tan. (2004). Optimal dietary protein requirement of grouper, *Epinephelus coioides* juveniles fed isoenergetic diets in floating net cages. *Aquaculture Nutrition*. 10(4): 247-252.
- Lupatsch, I., G.W. Kissil & D. Sklan. (2003). Defining energy and protein requirements of gilthead seabream (*Sparus aurata*) to optimize feeds and feeding regimes. *Isr J Aquac Bamidgeh* 55(4): 243-257.
- Maldonado-García, M., J. Rodríguez-Romero, M. Reyes-Becerril, C.A Álvarez-González, R. Civera-Cerecedo & M. Spanopoulos. (2012). Effect of varying dietary protein levels on growth, feeding efficiency, and proximate composition of yellow snapper, *Lutjanus argentiventris* (Peters, 1869). *Lat Am Aquat Res* 40(4): 1017-1025.

- Merino-Contreras, M.L., F. Sánchez-Morales, M.L. Jiménez- Badillo, C.A. Álvarez-González, C.G. Meiners-Mandujano & E. Peña-Marín. (2018). Aclimatación en cautiverio del sargo *Archosargus probatocephalus* (Perciformes: Sparidae). *Ecosist Recur Agropec.* 5(15): 511-521.
- Mongile, V., A. Bonaldo, R. Fontanilla, L. Mariani, A. Badiani, E. Bonvini & L. Parma. (2014). Effect of dietary lipid level on growth and feed utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) reared at Mediterranean summer temperature. *Italian Journal Anim. Sci.* 13: 30-34.
- Moyle, P.B. & J.J. Cech. (2000). *Fishes: An Introduction to Ichthyology.* 4th Ed. Prentice Hall. USA. 612 pp.
- Ozório, R.O.A., L.M.P Valente, P. Pousao-Ferreira & A. Oliva-Teles. (2006). Growth performance and body composition of White seabream (*Diplodus sargus*) juveniles fed diets with different protein and lipid levels. *Aquaculture Research.* 37: 255-263.
- Ozório, R.O.A., L.M.P Valente, S. Carriera, P. Pousao-Ferreira, A. Damaceno-Oliveira, C. Escorcio & A. Oliva-Teles. (2009). Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles. *Aquaculture Nutrition.* 15: 85-93.
- Rahim, A., G. Abbas, M. Naeem, S. Ferrando, L. Gallus, M. Hafeezur-Rehman, A. Ghaffar & A. Mateen. (2017). Effect of different dietary oils on growth, feed conversion and body composition of juvenile black fin Sea Bream, *Acanthopagrus berda* (Forsskal, 1775). *Pakistan Journal Zool.* 49(2): 655-661
- RIINIPA, (2012). Red Nacional de Información e Investigación en pesca y acuicultura, Región III Golfo de México Norte, Inapesca.gob.mx. (consultado 14 agosto de 2016).
- Robaina, L., F.J Moyano, M.S Izquierdo, J. Socorro, J.M Vergara & D. Montero. (1997). Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream *Sparus aurata*: Nutritional and histological implications. *Aquaculture.* 157: 347-359.
- Robinson, E.H. & R.H. Robinette. (2010). Effects of dietary protein level and feeding regime on growth and on fattiness of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of Applied Aquaculture.* 3(1-2): 67-90
- Sá, R., P. Pousão-Ferreira, & A. Olive-Teles. (2008). Dietary protein requirement of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles. *Aquaculture Nutrition.* 14: 309-317.
- Sabaut, J.J. & P. Luquet. (1973). Nutritional requirement of the gilthead bream *Chrysophrys aurata*. Quantitative protein requirements. *Mar Biol.* 18: 50-54.
- Schuchardt, D., J.M. Vergara, H. Fernández-Palacios, C.T. Kalinowski, C.M. Hernández-Cruz, M.S. Izquierdo & L. Robaina. (2008). Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body

- composition of the red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. *Aquaculture Nutrition*. 14: 1-9.
- Sedberry, G. R. (1987). Feeding habits of sheepshead, *Archosargus probatocephalus*, in offshore reef habits of the southeastern continental shelf. *Northeast Gulf Sci*. 9: 29-37.
- Seilliez, I., J.S Bruant, J.L Zambonino-Infante, S. Kaushik, & P. Bergot. (2006). Effect of dietary phospholipid level on the development of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae fed a compound diet. *Aquaculture Nutrition*. 12: 372-378.
- Shymaa, M., Shalaby, Y. Ashraf, El-Dakar, M. Olfat, Wahby, P. Imad & Saoud. (2011). Growth, feed utilization and body composition of white sea bream *Diplodus sargus* juveniles, offered diets with various protein and energy levels. *Mar. Sci*. 22(2): 3-17.
- Siddiqui, A.Q., S.M Howlander & A.A. Adam. (1998). Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*. 70(1-2): 63-73.
- Silva, P., C.P. Andrade, V.F.A. Timoteo, E. Rocha, & M.P.L. Valente. (2006). Dietary protein, growth, nutrient utilization and body composition of juvenile blackspot seabream, *Pagellus bogaraveo* (Brunnich) *Aquaculture Research*. 37: 1007-1014
- Tucker, J.W. Jr. (1998). *Marine fish culture*. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, USA. 750 pp.
- Tucker, J.W. Jr. (2004). Sheepshead, a potential American sea bream for farming. *World Aquaculture Magazine*. 35: 48-68.
- Tucker, J.W. Jr. & P.A. Barbera. (1987). Laboratory of spawning of shepshaed. *The Progressive Fish-Culturist*. 49(3): 229-230.
- Wang, J.T., Y.J. Liu, L.X. Tian, K.S Mai, Z.Y. Du, Y. Wang, & H.J. Yang. (2005). Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*. 249: 439-447.

EVALUACIÓN DEL CULTIVO COMERCIAL DEL CARACOL TEGOGOLO (*POMACEA PATULA CATEMACENSIS*)

MARIA DE LA LUZ MERINO CONTRERAS¹, FROYLÁN SÁNCHEZ MORALES², SARA COTO LEAL³,
IAN GARCÍA CRUZ⁴

Resumen

El caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* es un gasterópodo endémico del lago de Catemaco, Ver, México, importante recurso pesquero, ya que se captura para su explotación comercial. Recientemente su producción pesquera se ha reducido considerablemente debido a diferentes causas, por lo que se es necesario desarrollar la biotecnia para su producción comercial, con esta finalidad se recabó y analizó toda la información biológica de la especie, para establecer las bases técnicas para su cultivo, específicamente la biología reproductiva de la especie para la obtención de semilla, la tasa de crecimiento, densidad de siembra y supervivencia, alimentación en cautiverio, sistemas de producción y calidad del agua requerida, así como el tratamiento pos-cosecha del producto. Con esta información se diseñó un sistema de producción comercial estándar para su cultivo y se determinó su viabilidad financiera para un escenario base, registrando indicadores económicos para evaluar la viabilidad financiera del modelo propuesto. El sistema de producción intensiva a pequeña escala, diseñado para producir 8 ton./año de producto sin cáscara, requiere una inversión de alrededor de \$2,322 000.00. La evaluación financiera arrojó una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 26.32% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$1,987,184.00, lo que indica la viabilidad del proyecto. Se concluye que el tegogolo es un candidato adecuado para la acuicultura, ya que el sistema de producción propuesto permitiera su explotación sostenible, reduciendo de esa manera la presión sobre las poblaciones naturales para su recuperación. La evaluación financiera indica que es económicamente factible y rentable con un bajo riesgo.

Palabras clave: producción, comercialización, caracol manzano, endémico

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. mariadelaluzmerino@bdelrio.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Abstract

The tegogolo snail *Pomacea patula catemacensis* is an endemic gastropod from Lake Catemaco, Veracruz, Mexico, an important fishing resource, since it is captured for commercial exploitation. Recently its fishing production has been considerably reduced due to different causes, for which it is necessary to develop biotechnology for its commercial production, for this purpose all the biological information of the species was collected and analyzed, to establish the technical bases for its cultivation. , specifically the reproductive biology of the species to obtain seed, growth rate, planting density and survival, feeding in captivity, production systems and required water quality, as well as post-harvest treatment of the product. With this information, a standard commercial production system was designed for its cultivation and its financial viability was determined for a base scenario, recording economic indicators to evaluate the financial viability of the proposed model. The small-scale intensive production system, designed to produce 8 tons/year of shelled product, requires an investment of around \$2,322,000.00. The financial evaluation showed an Internal Rate of Return (IRR) of 26.32% and a Net Present Value (NPV) of \$1,987,184.00, which indicates the viability of the project. It is concluded that the tegogolo is a suitable candidate for aquaculture, since the proposed production system will allow its sustainable exploitation, thus reducing the pressure on natural populations for its recovery. The financial evaluation indicates that it is economically feasible and profitable with low risk

Keywords: production, commercialization, apple snail, endemic

Introducción

La producción acuícola en México se integra por varias especies en las que se incluyen: peces, crustáceos y moluscos (Platas y Vilaboa, 2014). Una especie con potencial para la acuicultura es el caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922), que es un gasterópodo endémico del Lago de Catemaco Veracruz, México. Este caracol dulceacuícola es un recurso de importancia ecológica y económica de la región de Los Tuxtlas, Ver., es uno de los principales productos pesqueros de dicho lago (Baqueiro, 1994; Vázquez *et al.*, 2012), ocupando el tercer lugar de importancia en la pesca extractiva del Lago de Catemaco, generando ingresos y fuente de trabajo (SEFIPLAN, 2018). El precio por kilogramo de pulpa fluctúa entre \$180.00 a \$400.00 dependiendo de la temporada (Comunicación personal cooperativistas de Catemaco Ver.). Sin embargo, recientemente sus poblaciones se han visto mermadas hasta en un 70% (SIPESCA, 2019). Atribuyéndose principalmente este descenso a la sobreexplotación del recurso y al efecto del incremento del impacto antropogénico, con la generación de una mayor producción de contaminantes en la zona (Vázquez *et al.*, 2012). Las características biológicas de este gasterópodo lo convierten en una especie con un alto potencial de cultivo, pues se sabe que presenta hábitos alimenticios omnívoros que lo

convierte en eficiente transformador de energía alimenticia. Este caracol ha mostrado un gran potencial de cultivo debido a su gran tamaño, rápido crecimiento, fácil incubación y alta tasa de eclosión (Carreón-Palau et al., 2003). Por lo que, es necesario establecer la tecnología para su cultivo, que permita cubrir la demanda de producto y contribuya a la recuperación de las poblaciones naturales. Para obtener un máximo rendimiento durante el cultivo de este organismo, es necesario establecer diferentes aspectos de su biotecnia de producción, que permitan implementar su explotación comercial. En este sentido, los aspectos más importantes a considerar para su cultivo, donde se obtenga un adecuado crecimiento y supervivencia de los organismos son: la reproducción y obtención de crías, el manejo sanitario de la calidad del agua del sistema de producción y de los organismos, la densidad de siembra, la alimentación, y su procesamiento post-cosecha. En el presente estudio se analizó la información bibliográfica de la especie referente a estos aspectos, se propone un sistema de producción comercial estándar (SPCS) para su producción comercial, el cual se evaluó financieramente, con la finalidad de transferir a corto plazo esta biotecnia de producción a los acuicultores de la región, y promover el cultivo de esta importante especie con potencial acuícola.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en tres etapas: la primera incluyó la revisión y análisis de la información bibliográfica de la especie, recopilada de informes de residencias profesionales, tesis académicas y artículos publicados; referente a la biología reproductiva de la especie para la obtención de semilla, tasa de crecimiento, densidad de siembra y supervivencia, alimentación en cautiverio, sistemas de producción y calidad del agua requerida, así como el tratamiento poscosecha del producto. La segunda etapa consistió en proponer, en base a la revisión previa, un sistema de producción comercial estándar (SPCS) para el cultivo de caracol tegogolo, considerando todos los aspectos importantes para su cultivo. La última etapa consistió en la evaluación financiera del SPCS propuesto. Se calcularon los costos de inversión inicial, costos variables y fijos del sistema propuesto. También se elaboró una lista completa de infraestructura requerida, actividades operativas y materiales para simular el plan de producción y un presupuesto base específico para el SPCS. El rendimiento anual se calculó tomando la diferencia entre los ingresos por ventas esperadas y el costo. Se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es uno de los indicadores recomendados para analizar la viabilidad de proyectos de acuicultura (Rhodes et al. al., 2009; Watanabe et al., 2015). Así mismo, se calculó el valor actual neto del flujo de caja (VAN), que es la medida generalmente aceptada de la robustez económica de cualquier programa de inversión a largo plazo (Brealey et al., 2013).

Resultados y Discusión

1) Revisión y análisis de la información de la especie

Cabe señalar que la información disponible sobre el tegogolo es de naturaleza experimental, de la revisión y análisis de esta información se resume lo siguiente:

a) Biología reproductiva y obtención de semilla

El caracol tegogolo es una especie gonocórica, que no presenta un aparente dimorfismo sexual, cuya fertilización es interna y su desarrollo es ovíparo, la proporción de sexo para la reproducción es de 1:1. La madurez sexual se relaciona más con la talla que con la edad, se considera organismos adultos sexualmente maduros cuando alcanzan una talla promedio de 35.9 ± 3.2 mm (Carreón-Pallau et al., 2003).

Las masas ovígeras son grandes (en promedio de 23.12 mm de longitud, 16.13 mm de ancho y 7.42 mm de grosor), son colocadas por encima del agua en promedio 20 cm. y pueden albergar unos pocos cientos de huevos pequeños, con un diámetro de $1,9 \pm 0,03$ mm, su período de incubación es corto, de 1 a 3 semanas, dependiendo de la temperatura y la humedad ambiental (García-Ulloa et al., 2007). Presenta altos porcentajes de eclosión (83% en condiciones de laboratorio y 90% en el medio natural), dos a tres desoves en periodos de 30 días, y una fecundidad registrada variable de 90 crías (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006), 167.19 ± 40.9 crías (García-Ulloa et al., 2008) hasta 218 crías en promedio por hembra, en condiciones de laboratorio, y 245 en el campo (Osorio-Santamaría & García-García 1986; Giglio, 2019). Las crías nacen con la típica forma de tegogolo, ya que tienen un desarrollo directo, miden aproximadamente 3 mm e inician su alimentación exógena inmediatamente. Se reproducen artificialmente generalmente en sistemas con agua verde con intercambio de agua (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa et al., 2007, 2008; Mejía- Ramírez, 2018; Mejía- Ramírez, et al., 2020).

b) Sistemas de engorda de organismos

Se han evaluado diferentes sistemas de cultivo para la engorda de juveniles, de diferentes tipos y dimensiones, desde sistemas de agua verde con recambios periódicos de agua (Espinoza-Chávez & Martínez-Gerónimo, 2005; Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa et al., 2007, 2008; Mejía- Ramírez, et al., 2020), sistemas de recirculación (Vazquez et al., 2012), hasta sistemas de biofloc (Mejía-Ramírez, 2018). Es un organismo con altas tasas de supervivencia, en estos sistemas, que van desde $85 \pm 5\%$ (Mejía- Ramírez, et al., 2020), $86 \pm 13\%$ (Vazquez et al., 2012), 89.7% (Meyer-Willerer & Santos-Soto), hasta el 100% (García-Ulloa et al., 2007; Mejía- Ramírez, 2018)

Hernández-Vergara & Pérez-Rostro (2009), describen el desempeño productivo del tegogolo en estanques circulares y sistema de canales de flujo continuo a diferentes densidades: 70 y 140 org./m³, llegando a la conclusión de que ambos métodos pueden usarse para el cultivo de este organismo, reportando un 87% de supervivencia en estanques circulares, y 91% en los sistemas de flujo continuo.

Lintón (2019) probó que, el uso de sustratos de PVC aumentan la superficie de fijación de los tegogolos, permitiendo incrementar su densidad de siembra en un 26.5%.

c) Manejo de los organismos en cultivo

Esta especie presenta una alta resistencia al manejo, muestra un crecimiento rápido (Ruiz-Ramirez et al., 2005), tolera altas densidades, tiene la capacidad de resistir grandes variaciones ambientales (García-Trejo et al., 2014).

Existen varios reportes referentes a la densidad de siembra recomendada para su cultivo: Asiain & Olgúin (1985) reportan buenos resultados a una densidad de siembra de 22 org./L, Martínez-García (1989) reporta que con densidades de siembra de 50 a 69 org./m², con supervivencias de 83.3% y 100%, Hernández-Vergara & Pérez-Rostro (2009), describen un buen desempeño productivo del tegogolo a densidades: 70 y 140 org./m³. Recientemente diferentes estudios establecen densidades menores: de 0.5-2 org./L (García-Ulloa et al., 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez et al., 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, et al., 2020). Merino-Contreras et al. en prensa, determinaron una densidad de siembra adecuada para este organismos en 100 organismos por m². Contraponiendo la mayoría de los anteriores reportes, ya que se consedero la densidades en función del volumen de agua del estanque, tomando en cuenta que esta especie, no nada en la columna de agua, más bien es un organismo con hábito bentónico, que se asienta en el fondo y paredes del estanque, por lo que debe considerarse su densidad en base al número de organismos por metro cuadrado de superficie disponible.

Los organismos en cultivo son alimentados de 1 a 2 veces al día como lo señalan diferentes autores, con diferentes tasas de alimentación que van del 5 al 10% de su peso corporal o bien *ad libitum* (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa et al., 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez et al., 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, et al., 2020). Consideramos pertinente la alimentación a los organismos una vez al día, con una tasa de alimentación del 10% de su peso corporal en el primer mes, con una reducción posterior al 7.5%.

d) Calidad del agua y manejo sanitario

Presenta una alta resistencia a las enfermedades (Ruiz-Ramirez et al., 2005). Sin embargo la calidad del agua de los sistemas de producción debe ser correctamente manejada, ya sea con recambios periódicos de por lo menos el 20 % semanales, o bien implementando sistemas de recirculación con filtro biológico eficientes, que permita la remoción de los productos nitrogenados originados por las excretas de los organismos y el alimento no consumido. Los parámetros de la calidad del agua para la especie no se encuentran específicamente establecidos, sin embargo diferentes autores (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa et al., 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez et al., 2012; Mejía-

Ramírez, 2018; Mejía- Ramírez, et al., 2020), sugieren sean mantenidos en los rangos mencionados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Algunos parámetros de la calidad del agua sugeridos para el cultivo de tegogolo *P. patula catemacencis*.

Parámetro	Rango
Temperatura	25- 32 C°
Oxígeno disuelto	3- 6.7 mg/l.
pH	7-8.5
Amonio total	Menos de 1 mg/l
Dureza total	Mínimo 100 mg/l.

Cabe señalar que sus requerimientos en oxígeno disuelto no son altos, ya que se trata de una especie considerada anfibia, que puede subir a la superficie del estanque y respirar oxígeno atmosférico.

e) Tipo de alimento

El tegogolo se considera un organismo de hábitos herbívoros (Burlakova et al., 2009), aunque como también se adapta bien a comer proteína de origen animal, algunos autores lo consideran omnívoro. Acepta los vegetales de hoja verde como acelga, col, lechuga, alfalfa, apio, chaya, lirio acuático entre otros, consumiendo también sin problema piensos formulados (Vasquez et al., 2012). Se ha determinado que su crecimiento se puede optimizar mediante el uso de dietas comerciales ricas en proteínas (Ramnarine, 2004; Vázquez-Silva et al., 2012), con porcentajes equivalentes de proteínas animales y vegetales (Mendoza et al., 2002). Es importante mencionar que no existen dietas comerciales disponibles para esta especie de caracol; por tanto, una posible alternativa para su alimentación en cautividad son las dietas diseñadas para otras especies acuáticas como las empleadas para alimentar carpa, tilapia, bagre, trucha, camarón, pollo, etc. También se han probado dietas no convencionales como por ejemplo dietas preparadas a base de harina de biofloc, combinada con lechuga y moringa (Jiménez-García et al. 2013; Pérez-López 2019).

En diferentes estudios experimentales se propone un contenido de proteína dietética en la dieta de 25 a 40% (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa et al., 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez et al., 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía- Ramírez, et al., 2020. Lo que consideramos un desperdicio de proteína, ya que éste ingrediente, es el más costoso en la elaboración de piensos artificiales (Dong *et al.*, 2014). Y aunque actualmente no se tienen establecidos los requerimientos esenciales de proteína y de lípidos de la especie, por su naturaleza hervívora-omnívora se esperaría que sus requerimientos fueran bajos, alrededor del 15%, como lo determinó en un estudio preliminar Pérez-López 2019.

f) Cosecha y tratamiento post-cosecha

La NOM-041-PESC-2004, señala que la talla mínima de captura del caracol *P. patula catemacensis* es de 32 mm de longitud. Que sería la talla en la que se

cosecharían en cultivo. Una vez cosechados los caracoles son lavados con agua corriente y cepillo, pueden ser depurados en agua corriente y luz ultravioleta, posteriormente son colocados en agua hirviendo hasta su cocción. Posteriormente de forma manual, es retirado el opérculo y la concha para dejar solo el cuerpo de los caracoles. Se comercializan regularmente como caracoles sin cáscara hervidos conservados en hielo (Lorán-Núñez et al., 2005). O bien frescos o congelados enteros, ya que la eficiencia de la adherencia de su opérculo le permite sobrevivir largos períodos fuera del agua, facilitando su transporte en productos frescos a los centros comerciales (Ruíz-Ramírez et al., 2005).

g) Precio

Esta especie tiene aceptabilidad en el mercado y alcanza un alto precio (Van der Meer, 1997; García-Trejo et al., 2014). En el municipio de Catemaco, Ver., el precio del kilogramo de pulpa fluctúa entre \$180.00 y \$270.00, dependiendo de la temporada del año, llegando a incrementarse en temporada de baja producción hasta los \$400.00 (comunicación personal con pescadores de la Soc. cooperativa Tanaxpi de la Laguna de Catemaco, Ver, agosto 2019). Para efectos del análisis financiero se considerará el precio de \$250.00 el Kg.

II) Propuesta de un sistema de producción comercial estándar (SPCS)

El sistema de producción estándar para la producción comercial de tegogolo establece diferentes etapas del proceso de producción, con una duración global de 6 meses por ciclo de producción, considerando dos cosechas anuales del producto obtenido, que será la pulpa o carne de tegogolo desconchado y hervido empacado en frío para su comercialización. Los tiempos de cada una de las etapas del proceso se señalan en la Figura 1.



Figura 1.-Etapas y duración del proceso de la producción comercial del caracol tegogolo *P. patula catemacensis*.

El SPCS requiere un terreno de media hectárea para la producción y procesamiento de caracoles, incluyendo una laguna de oxidación para el tratamiento del agua residual. Las áreas de reproducción y crecimiento constarán de tanques circulares revestidos con Geo-membrana, con un sistema de aireación suministrado por un soplador de 2HP. El área de reproducción incluye 3 tanques con un diámetro de 8 m donde serán colocados en cada tanque 400 organismos adultos con una talla promedio de 35.9 ± 3.2 mm para su reproducción. Se consideraron los siguientes parámetros para el plan de producción: de las fresas obtenidos de la reproducción se considera una tasa de eclosión del 85%, a partir de un promedio de 200 crías por hembra al mes, una tasa de alimentación de los reproductores del 10% del peso corporal una vez al día. Este sistema de reproducción simulada puede producir alrededor de 120,000 crías cada tres meses. La zona de pre-engorda consta de 10 tanques de 500 l. Los parámetros considerados en esta etapa en el plan de producción fueron: una densidad de población de 100 organismos/m², alimentando a los organismos con alimento balanceado de engorda de pollo, con un porcentaje de proteína del 20 % y 5% de lípidos, con una tasa de alimentación del 10% al inicio, administrada en una ración por día, durante por 30 días. El sistema funcionaría con un sistema de recirculación que requiere una bomba sumergible, un filtro mecánico y un filtro biológico. La sección de engorda consta de 22 tanques de 6 m de diámetro. Los parámetros considerados en el plan de producción para esta etapa fueron: una densidad de población de 75 organismo/m², un programa escalonado con dos tanques de crecimiento por cohorte trimestral y tasas de alimentación, administrado la misma dieta que en la etapa anterior, en un 10% del peso corporal, hasta que las juveniles alcancen un gramo de peso, reduciendo a 7,5% del peso corporal el resto del tiempo, administrado una vez al día, estas especificaciones se resumen en el cuadro 2. El sistema propuesto es semejante a los utilizados para el cultivo de tilapia nilotica, incluso se puede proponer un bicultivo con esta especie, introduciendo a los caracoles preferentemente mayores de 1 cm de longitud, obteniéndose excelentes resultados. La presente propuesta es similar a la presentada por Mejía-Ramírez et al., 2020, difiriendo en las densidades de siembra, en este caso, se propone una mayor densidad de siembra y en la alimentación suministrada, ya que la dieta sugerida en el presente estudio (alimento balanceado de pollo de engorda), contiene menor cantidad de proteína (20%) y por consiguiente es más económica y más accesible que la dieta utilizada en la propuesta de Mejía-Ramírez et al., 2020.

Cuadro 2. Condiciones propuestas para el cultivo comercial de tegogolo *P. patula catemacensis*

Variable	Otros autores	Propuesta
Proporción de sexos para la reproducción	1:1	1:1
Densidad del stock de reproductores	0.4-1 org./L	50 org./m ²
Sistema de mantenimiento de reproductores	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación.	Tanques de geomembrana con 6 m de diámetro con recambio de agua y aireación.
Sistema de pre-engorda	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación, sistema de recirculación	Sistema de recirculación conformado con tanques de fibra de vidrio de 500 L., con filtro mecánico y biológico
Sistema de engorda	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación.	Tanques de geomembrana con 8 m de diámetro con recambio de agua y aireación
Alimentación (tipo de alimento y porcentaje de proteína cruda incluida)	Vegetales de hoja verde y dietas comerciales principalmente para tilapia, camarón, carpa, bagre, trucha, cianofíceas y harina de biofloc. De 25- 40%	Alimento balanceado para pollo de engorda 20%
Tasa y frecuencia de alimentación	Del 5 al 10%, <i>ad libitum</i> 1-2 veces al día	7.5- 10% 1 vez al día
Supervivencia	85-100%	85%
Temperatura	25-28 °C	25-32 °C
Oxígeno disuelto	4-6.7 mg/L	3-6 mg/L

La calidad del agua de los sistemas de producción será monitoreada semanalmente, para establecer los recambios de agua necesarios, para mantener los parámetros dentro de los rangos óptimos para la especie. Se realizarán biometrías mensuales (talla y peso de los organismos) de una muestra de la población, para constatar el crecimiento y el estado sanitario de los organismos, hasta que estos alcancen la talla comercial, aproximadamente 32 mm de longitud y 9 g. de peso, que será cuando se cosecharán.

III) Evaluación financiera del SPCS

El costo de inversión inicial para el SPCS propuesto en equipo e infraestructura es de alrededor de \$2,322 000.00. Los costos de operación fijos y variables estimados, que incluyen el alimento formulado, gasolina, energía (electricidad y gas), salarios, mano de obra, administración y mantenimiento de alrededor de \$677,500.00/año. El SPCS ha proyectado ventas de \$2,000000.00/año. El producto final consiste en caracoles sin cáscara hervidos en bolsas de plástico selladas al vacío de 1 kg, conservadas en hielo. Según el flujo de caja base, la inversión se puede recuperar en el tercer año de operación. Un valor actual neto VAN de \$1,987184.00 y una Tasa interna de retorno (TIR) del 26.32%, indican que el proyecto es factible. Un VAN positivo indica que el proyecto es deseable desde la perspectiva del inversor.

La evaluación financiera del sistema propuesto para tegogolo indica que el proyecto es financieramente factible. Como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Evaluación financiera del SPCS para el cultivo de tegogolo.

Concepto	Primer año	Años siguientes
Inversión	\$2,322 000.00	-
Total de Ingresos	\$2,000000.00	\$2,000000.00
Kg. de tegogolo producido	8 ton/año	8 ton/año
Precio del Kg.	\$250.00	\$250.00
Costos de operación	\$677,500.00	\$677,500.00
Utilidad	\$1,250 500.00	\$1,250 500.00
Utilidad después de inversión	-	\$1,322 500.00
Utilidad después de impuestos	\$1,071500.00	\$99,360.00
Punto de equilibrio	37.5%	37.5%
Valor actual neto (VAN)	\$1,987 184.00	\$ 2,322 000.00
Tasa interna de retorno (TIR)	26.32%	26.32%

Considerando esto, es rentable invertir en esta especie ahora y a mediano plazo (próximos 10 años) ya que, actualmente, la pesquería está en declive (CONAPESCA, 2016), sin signos de recuperación y la demanda está aumentando (Mejía-Ramírez, 2018). Sin embargo, hay que considerar que la viabilidad económica de cultivar *P. patula. catemacensis* solo ha sido evaluada por Mejía-Ramírez et al. 2020. La mayoría de los experimentos se realizaron a escala de laboratorio y no consideran los indicadores económicos que son necesarios para decidir si su cultivo es una opción viable. Para llevar una nueva especie a la producción, se necesitan inversiones y contar con una biotécnica de producción a escala piloto en primera estancia (Young y Muir, 1995) y las empresas de acuicultura son intrínsecamente riesgosas (Engle, 2007) por lo que se sugiere una mayor investigación al respecto.

Conclusión

Por su alta tasa de eclosión, aceptación de alimentos comerciales, tolerancia al cultivo en altas densidades, ausencia de una etapa larvaria, crecimiento rápido y alta tasa de supervivencia, el caracol endémico, *P. patula catemacensis* es un candidato adecuado para la acuicultura. El sistema de producción a pequeña escala propuesto fue diseñado para explotar el caracol “tegogolo” de manera sostenible mientras se reduce la presión sobre las poblaciones naturales. La evaluación financiera indica que es económicamente factible y rentable con un bajo riesgo, incluso su cultivo también podría tener ventajas sociales y ambientales, considerando que esta especie endémica se ha adaptado y distribuido en una amplia región del país, y de manera local favorecer a los pescadores del Lago de Catemaco, Ver. que pueden convertirse en productores acuícolas de esta importante especie.

Referencias

- Amaya, L. R. (1994). Efecto de la densidad en la reproducción y crecimiento del tegogolo (*Pomacea* sp.) en es- tanques de concreto. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico del Mar. Boca del Río, Veracruz. México. 49 pp.
- Asian & Olguín (1995) Evaluation of water spinach (*Ipomoea aquatica*) as feed for apple snail (*Pomacea patula*). *World Aquaculture* 95, Book of Abstracts. pp 51 -52.
- Baqueiro, E. (1994) Principales recursos malacológicos del Golfo de México. en: Instituto Nacional de Pesca (Ed.), *Pesquerías Relevantes de 936 J.P. Berry, O. Lind /Toxicon* 55 (2010) 930–938 México, Tomo II. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México, pp. 131-142.
- Brealey, R.A., Myers S.C. & Allen F. (2013). *Principles of corporate finance* (11th edn.). New York, NY: The McGraw-Hill/Irwin Series in Finance, Insurance and Real Estate.
- Carreon-Palau, A., Uria-Galicia E, Espinosa-Chavez F, Martinez- Jeronimo F. (2003). Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) (Mollusca, Caenogastropoda: Ampullariidae). *Rev Chil Hist Nat* 76: 665–680.
- Chen, J.Q, Haws M.C., Fong Q.S.W & Leung P.S. (2017). Economic Feasibility of producing Oysters using a small-scale Hawaiian Fishpond model. *Aquacult Rep* 5: 41–51.
- Dong, G., X. Zhu, Ren H., Nie B., Chen L., Li H, & Yan B.. (2014). Effects of oxidized fish oil intake on tissue lipid metabolism and fatty acid composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Research*. 45: 1867-1880.
- Engle, C. (2007). Investment and farm modeling for feasibility assessment and decision-making in aquaculture. In: Leung P, Lee CS, Bryen PJO (Eds.), *Species & System Selection for Sustainable Aquaculture*. 1st edn. USA: Blackwell Publishing.
- Espinoza-Chávez, F. & Martínez-Jerónimo F. (2005). Growth and fecundity of *Pomacea patula catemacensis* (Caenogastropoda: Ampulariidae) when fed on gel diets of *Scenedesmus incrassatulus* (Chlorophyceae). *The Veliger* 43: 213–217.
- García-Trejo, F., Hurtado-Gonzalez S., Soto-Zarazua G.M. & Gutierrez P.J. (2014). Development of freshwater native species with aquaculture potential. In: Hernandez-Vergara MP, Perez-Rostro CI (Eds.), *Sustainable aquaculture techniques*, Intechopen, <http://dx.doi.org/10.5772/57215>, available at <https://www.intechopen.com/books/sustainable-aquaculture-techniques>
- García-Ulloa, M., Gallo-García M.C, Rodríguez-González H., Góngora- Gómez A. & Ponce-Palafox J. (2008). Morphometric relationship of weight and length of cultured freshwater snail, *Pomacea patula* (Baker, 1922), at three different life stages. *J. World Aquacult. Soc.* 39: 842–846.

- García-Ulloa, M., Ramnarine I., Gallo-García M., Ponce-Palafox J. & Góngora-Gómez A. (2007). Spawning and hatching of the edible snail *Pomacea patula* (Baker 1922) (Gastropoda: Ampullaridae) in the laboratory. *J. World Aquacult. Soc.* 38: 50–52.
- Giglio, M. L. (2019). Estrategias reproductivas de moluscos gasterópodos. Caracterización bioquímica y toxicidad de los huevos de *Pomacea*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.
- Hernández-Vergara, M.P. & Pérez-Rostro C.I. (2009). Sustainable aquaculture techniques, Intechopen, <http://dx.doi.org/10.5772/57215>, available at <https://www.intechopen.com/books/sustainable-aquaculture-techniques>
- Linton Izquierdo, C. (2019). Evaluación de diferentes sustratos físicos para aumentar la superficie fijación del caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* durante su engorda. Tesis de Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río. 93 p.
- Lorán-Nuñez, R.M., Martínez-Izunza F.R., Valdéz-Guzmán A.J. & Gaspar-Dillanes M.T. (2005). Lago de CATEMACO. In: Gaspar-Dillanes MT, Aguilar-Montaño D (Eds.), *Pesquerías Continentales de México*, 1st Edition, Instituto Nacional de Pesca, 93–118.
- Mendoza, R., Aguilera M.C., Hernández M. J. & Cruz E. (2002). Elaboración de dietas artificiales para el cultivo del caracol manzana *Pomacea bridgesi*. *Revista Aquatic.* 16.
- Meyer-Willerer, A.O., Santos-Soto A. (2006). Temperature and light intensity affecting egg production and growth performance of the Apple Snail *Pomacea patula* (Baker, 1922). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10: 41–58.
- Mejía-Ramírez, M.A. (2018). Productive Performance and Bacterial Profile of Freshwater Snail *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922) Cultivated in Biofloc. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México
- Mejía-Ramírez, M.A., Valadez Rocha V., Pérez-Rostro C.I. (2020). Economic feasibility analysis of small-scale aquaculture of the endemic snail *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) from southeast Mexico. *Aquat. Living Resour.* 33: 2
- NOM-041-PESC-(2004). Available at: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1943/sagarpa/sagarpa.htm>
- Osorio-Santamaría, M. & García-García H.E. (1987) Aspectos reproductivos del caracol de agua dulce (*Pomacea patula catemacensis*) con observaciones en laboratorio y campo. Tesis Profesional, Universidad Veracruzana, Jalapa, Veracruz, México. 53 pp.
- Pérez-López J. (2019). Determinación del requerimiento de proteína para el crecimiento del caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* (Baker,

- 1922)". Tesis Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río. TNM/SEP. 89 p.
- Ramnarine, I.W. (2004). Quantitative protein requirements of the edible snail *Pomacea urceus* (Muller). *J World Aquacult Soc.* 35:253–256.
- Rhodes, R., Hanson T.R. & Dasgupta S. (2009). Economics and Business Management. In: New MB, Valenti JH, Tidwell LR, D'Abramo LR, Kutty MN (Eds.), *Freshwater Prawns: Biology and Management*. USA: John Wiley & Sons.
- Ruiz-Ramírez, R., Espinosa-Chávez F. & Martínez-Jerónimo F. (2005). Growth and reproduction of *Pomacea patula catemacensis* Baker, 1922 (Gastropoda: Ampullariidae) when fed *Calothrix* sp. (Cyanobacteria). *Journal of the world Aquaculture Society.* 36:1, 87-95.
- SEFIPLAN. (2018). Secretaria de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. Sistema de información municipal, 2-7.
- Sistema de información de Pesca y Acuicultura (SIPESCA) (2019). Recuperado el 11 de enero 2019 de Avisos de arribo 2018. <https://sipesca.conapesca.gob.mx/login.php>
- Vázquez, G., Castro T., Castro J., & Mendoza G. (2012). Effect commercial diets on growth, survival and chemical composition of the edible freshwater snail *Pomacea patula catemacensis*. *J Agric Technol* 8: 1901–1912.
- Watanabe, W.O., Dumas C.F. & Carroll P.M. (2015). Production economic analysis of black sea bass juveniles to support finfish mariculture grow out industry development in the southeastern US. *Aquacult Econ Manag* 19: 1–25

COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE PLANTAS TOXICAS PARA BOVINOS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES EN ESTELÍ, NICARAGUA

NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA¹, CARLOS GARCÍA ACEDO², ALICIA EUGENIA PUERTOVANNETTI ARROYO³, ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ⁴, MÓNICA BEATRIZ LÓPEZ HERNÁNDEZ⁵, JORGE LUIS GARCÍA LANZ⁶, BENITO BERNARDO DZIB CASTILLO⁷

Resumen

La intoxicación del ganado por el consumo de plantas tóxicas daña la economía del productor, y debe considerarse en el manejo del hato. Con ese objetivo se estudiaron en dos sistemas silvopastoriles tradicionales, uno con pastoreo en bosque seco caducifolio (Las Mesitas, LM) y otro en bosque mixto de pinos – encinos (Reserva Natural El Cerro Tomabú, CT), en Estelí, Nicaragua. Se observó durante un año, el comportamiento de consumo de plantas tóxicas por bovinos y se entrevistaron productores para determinar su conocimiento estas. Se identificaron 61 especies, de las cuales 42 se registraron en LM, donde el consumo máximo diario fue hasta 33 veces por animal (Abril), mientras que en CT, donde se identificaron 25 especies, el máximo fue de 35 veces (Noviembre). Los meses en que menor consumo se registró fueron Febrero para LM y Julio para CT. En LM el 60% de los productores no sabe nada sobre el tema, el 10% conoce más de una especie tóxica y el 30% conoce sólo una. En CT existe un 20% de los productores que no sabe, un 30% que sólo conoce una especie tóxica mientras el 50% conoce más de una. La alta diversidad de plantas toxicas detectadas en ambos sistemas y el desconocimiento de este problema por una proporción alta de los ganaderos merece un esfuerzo de capacitación en el futuro.

Palabras clave: Arvenses, intoxicaciones por plantas, ganadería tropical, sistemas silvopastoriles tradicionales, Estelí, Nicaragua.

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520. noel.gv@china.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

⁵ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

⁶ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

⁷ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

Abstract

The intoxication of cattle by the consumption of toxic plants damages the economy of the producer, and must be considered in the management of the herd. With this objective, they were studied in two traditional silvopastoral systems, one with grazing in dry deciduous forest (Las Mesitas, LM) and another in mixed pine-oak forest (El Cerro Tomabú Nature Reserve, CT), in Estelí, Nicaragua. The consumption behavior of toxic plants by cattle was observed for a year and producers were interviewed to determine their knowledge of these. 61 species were identified, of which 42 were recorded in LM, where the maximum daily consumption was up to 33 times per animal (April), while in CT, where 25 species were identified, the maximum was 35 times (November). The months in which the lowest consumption was recorded were February for LM and July for CT. In LM, 60% of the producers know nothing about the subject, 10% know more than one toxic species and 30% know only one. In CT there is 20% of producers who do not know, 30% who only know one toxic species while 50% know more than one. The high diversity of toxic plants detected in both systems and the ignorance of this problem by a high proportion of ranchers deserves a training effort in the future.

Keywords: Weeds, plant poisoning, tropical livestock, traditional silvopastoral systems, Estelí, Nicaragua.

Introducción

En Nicaragua, la ganadería bovina es un rubro económico importante. La actividad enfrenta problemas, que afectan negativamente los propósitos de la misma. Entre estos se encuentran los efectos tóxicos de ciertas plantas, que se agrava por la falta de conocimiento tanto a nivel taxonómico como sobre las sustancias tóxicas, los mecanismos de intoxicación, las épocas más críticas del año para intoxicaciones, sintomatología y diagnósticos. Con base en los daños que las plantas tóxicas han provocado a la ganadería; surge la necesidad de identificarlas, para transmitir estos conocimientos a los ganaderos, y es así que el objetivo del estudio ha sido identificar estas especies en zonas contrastantes desde el punto de vista ecológico, y el conocimiento que tienen los ganaderos que manejan vacunos en Estelí, Nicaragua.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las localidades de las Mesitas (LM) y la Reserva Forestal Cerro Tomabú (CT), en Estelí-Nicaragua. LM está ubicada en el Km. 164 de la carretera Panamericana, a una altura de 800–850 msnm, la temperatura oscila entre 22–24°C. respectivamente el tipo de suelo vertisol. El CT presenta bosques de robles y pinos, ubicado a 10 Km. al sur de Estelí y de 1000–1300 msnm, los suelos son rojos y ácidos y de topografía quebrada. La temperatura oscila entre 21–22°C. Se tomó una muestra de 10 animales por sistema, que fueron observados en su consumo e ingesta de plantas tóxicas durante treinta minutos, una vez por semana.

La observación se realizó entre las 7 y las 9 de la mañana, periodo de alimentación más activa y con mayor facilidad para la determinación visual de las plantas consumidas (García, 1998). La identificación de las especies vegetales se realizó a partir de muestras botánicas fértiles según el método propuesto por el Herbario Nacional de Nicaragua y el Herbario de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León (Flores, 2000). Se recolectaron las especies que el ganado consumió a lo largo de un año de estudio, se prensaron, secaron, montaron e identificaron, conformando la colección de plantas tóxicas del municipio de Estelí. Se aplicaron encuestas a 10 productores tanto en LM como en CT para así determinar el grado de conocimiento que estos tienen sobre plantas que causan problemas a sus animales. La información se obtuvo en personas cercanas a los sistemas en estudio y que tienen ganado bovino en cada localidad. El análisis consistió en una frecuencia de respuestas que a las preguntas realizadas sobre la cantidad de especies tóxicas que conocían.

Resultados y Discusión

En LM, el consumo más alto se dio en la estación seca. En junio se dio un alto consumo de plantas tóxicas por las vacas, que pudo ser inducida por la conjugación del efecto de sequía que se presentó en el periodo (abril-junio) con la canícula (julio-agosto). En el mes de febrero se dio una baja de consumo producto de la producción o fructificación de forraje de algunos árboles de ese ciclo. El mes con más alto consumo fue abril, debido a la escasez de vegetación causada por la sequía prolongada. Después se visualiza una baja de consumo en el mes de mayo, causada por las primeras lluvias del mes que favorecieron la producción otras de plantas forrajeras. Luego, al suspenderse las lluvias se vuelve a incrementar el consumo de tóxicas. El porcentaje de animales consumiendo plantas nocivas varía entre meses, aparentemente en relación inversas al contenido de humedad ambiental (Figura 1).

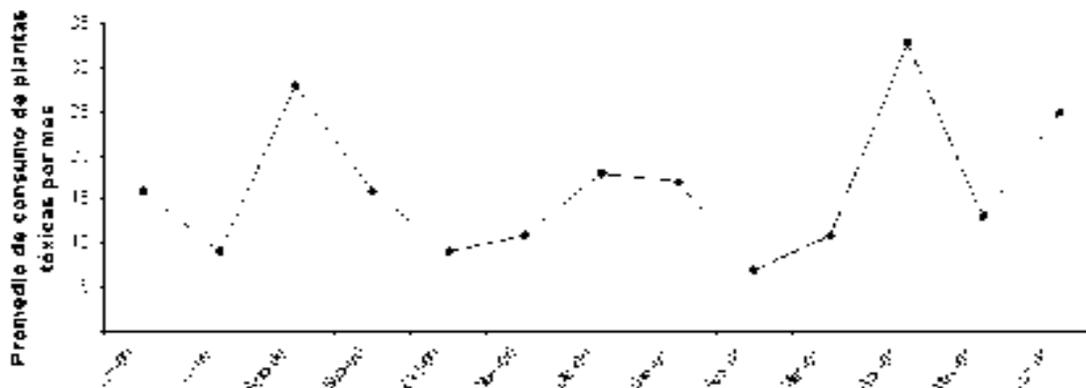


Figura 1. Comportamiento del consumo de plantas tóxicas por el ganado bovino a lo largo del año en las Mesitas, Estelí, Nicaragua.

En CT, el consumo anual de plantas tóxicas está directamente influenciado por estacionalidad de las lluvias así como también afecta el porcentaje de vacas que consumen plantas tóxicas por mes (figura 2). El mayor consumo se dio en los meses de noviembre y diciembre, aunque también fue relativamente alto entre enero y junio. El consumo de tóxicas fue incrementado nuevamente por el efecto de sequía, que se presentó durante el periodo de estudio y que agravó las condiciones normalmente predisponentes para el consumo de estas plantas durante la estación seca. La presencia de plantas tóxicas es un rasgo de los sistemas pecuarios en regiones tropicales y las especies descritas en los sistemas en Estelí, coinciden con aquellas que menciona González (1982) para México.

La dinámica de consumo es semejante a la reportada en otros estudios e incluso, en el caso de Moreno *et al.* (2010), el número de especies consumidas en Sonora, México (59) es muy próximo al registrado en Estelí, Nicaragua (61) y en ambos casos superan los reportes realizados por Reyes-Niño & Reyes-Pérez (2007) en distintos municipios de León, Nicaragua (27).

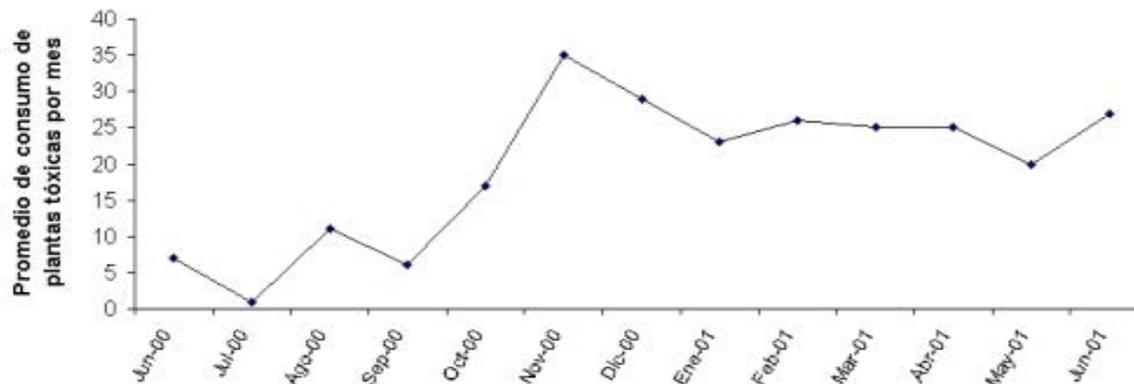


Figura 2. Comportamiento del consumo de plantas tóxicas por el ganado bovino a lo largo del año en la Reserva Natural Cerro Tomabú, Estelí, Nicaragua.

El conocimiento de las plantas tóxicas resulta muy bajo en Nicaragua comparado con el que Avendaño-Reyes & Flores-Gudiño (1999), reportan de un estudio etnográfico en Veracruz, México.

Conclusión

La diversidad de plantas tóxicas es alta en los dos sistemas silvopastoriles estudiados y estas son consumidas durante todo el año, en ambos ambientes. El conocimiento sobre estas plantas es muy limitado entre los productores de ganado en ambas zonas.

Referencias

- Avendaño-Reyes, S., & Flores-Gudiño, J.S. 1999. Registro de plantas tóxicas para ganado en el estado de Veracruz, México. *Veterinaria México* 30(1): 79-94.
- Flores, F. 2000. Gimnospermas, parásitas, rastreras y saprófitas de la Reserva Biológica de Indio-Maíz, Rio San Juan, Nicaragua. *Encuentro* 32(52): 87-96.
- García, E. 1998. Manual de pastos. 1ª.Ed. BITECSA, Managua, Nicaragua. 252 p.
- González, A. 1982. Plantas tóxicas para el ganado. 1ª.Ed. Limusa, México D.F, México. 273 p.
- Moreno, S.; Denogean, F.; Martín, M.; Ibarra, F., & Baldenegro, A. 2010. Efecto de las plantas tóxicas para el ganado sobre la producción pecuaria en Sonora. *Revista Mexicana de Agronegocios* 26: 179-191.
- Reyes-Niño, L.J.,& Reyes-Pérez, R.M. 2007. Plantas de potencial alimenticio y plantas tóxicas para el ganado bovino en los municipios del suroeste del departamento de León. Tesis Licenciatura en Biología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. León, León, Nicaragua. 115 p.

EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITRO-FOSFÓRICA EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAÍZ NATIVO CHAC NAL TEL

NOEL ANTONIO GONZÁLEZ VALDIVIA¹, ENRIQUE ARCOCHA GÓMEZ², MIGUEL ARCÁNGEL BURGOS CAMPOS³, ALICIA EUGENIA PUERTOVANNETTI ARROYO⁴

Resumen

La preservación del maíz criollo es fundamental en el patrimonio cultural del estado de Campeche, por ello el objetivo de este estudio ha sido describir la fenología, crecimiento y rendimiento de la variedad nativas Chac Nal Tel o gallito rojo (precoz) germoplasma disponible en el Laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable, del Instituto Tecnológico de Chiná, establecida de temporal con riego complementario, bajo tres niveles de fertilización nitro fosfórica: 100, 200 y 300 kg de fosfato diamónico o DAP (NPK,18-46-00) por hectárea. Los principales resultados demuestran que el Chac Nal Tel responde a la fertilización fosfórica incrementando únicamente en el número de mazorcas por hectárea, pero no en otras variables del crecimiento y rendimiento de follaje y grano, que no fueron afectados de manera significativa por el incremento en DAP adicionado al suelo.

Palabras clave: Germoplasma, conservación genética, fertilización vegetal, maíz nativo, Campeche

Abstract

The preservation of native maize is essential in the cultural heritage of the state of Campeche, therefore the objective of this study has been to describe the phenology, growth and yield of the native variety Chac Nal Tel or red cock (early) germplasm available in the Laboratory of Agroecology and Sustainable Organic Agriculture, of the Technological Institute of China, established seasonally with complementary irrigation, under three levels of nitro-phosphoric fertilization: 100, 200 and 300 kg of diammonium phosphate or DAP (NPK,18-46-00) per hectare . The main results show that Chac Nal Tel responds to phosphoric fertilization by increasing only the number of ears per hectare, but not in other growth variables and foliage and grain yield, which were not significantly affected by the increase in DBH. added to the ground.

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520. noel.gv@china.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Chiná, calle 22 entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, México. CP. 24520.

Keywords: Germplasm, genetic conservation, plant fertilization, native maize, Campeche

Introducción

La erosión genética que sufre el maíz (*Zea mays* L.) en Mesoamérica, de donde es originario, tiene causas diferentes, que conducen gradualmente a la pérdida de razas y variedades (González-Valdivia *et al.* 2016). En Campeche y la Península de Yucatán, México la situación es grave, particularmente para variedades nativas de ciclo precoz, pertenecientes a la raza Nal Tel (González-Valdivia *et al.* 2017). Estos germoplasmas poseen el potencial de escapar de los efectos de las sequías, debido a que alcanzan su madurez fisiológica en relativamente muy poco tiempo (60 a 75 días), atributo de resiliencia que es importante proteger frente al cambio climático, que induce a sequías severas frecuentes en la región (Estrada-Medina *et al.* 2016). Esta realidad y la necesidad de salvaguardar recursos genéticos para adaptar los sistemas productivos a la vulnerabilidad ambiental, indujo esta investigación, que tuvo como objetivo, además del rescate y multiplicación de la variedad de maíz Chac Nal Tel, estudiar los efectos que la modificación de dosis de fertilización nitrófosfórica tenían tanto en el crecimiento como en la producción de follaje y grano en la zona de Chiná, en el estado de Campeche.

Materiales y métodos

En la Unidad de Producción Rancho Xamantún, del Instituto Tecnológico de Chiná, bajo supervisión de investigadores del Laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable (LAAOS), se condujo un experimento diseñado en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos, tres probando el fertilizante comercial Fosfato Diamónico (DAP) con fórmula N-P-K 18-46-00 aplicado al suelo fraccionando 60% a la siembra y 40% a los 35 días después de la emergencia, en un área sembrada con la variedad de maíz nativo pigmentado precoz (60 días), Chac Nal Tel. Se mantuvo limpio de arvenses y se irrigó por goteo, de manera complementaria a la lluvia.

Se determinó el porcentaje de emergencia, altura y diámetro de planta, plantas cosechadas, mazorcas por planta, hileras por mazorca, granos por hilera, peso de granos a 14% de humedad, rendimiento, peso fresco y biomasa seca de plantas. Los datos fueron organizados en Excel (Microsoft®), verificando la normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnoff) y homocedasticidad (prueba de Levene), practicando análisis de varianza (ANAVA), al 95% de confianza, así como correlaciones de Pearson en SPSS v10 (Morrison 1999).

Resultados y discusión

La única variable que fue afectada por los distintos niveles de fertilización con DAP fue el número de mazorcas cosechadas por hectárea ($F = 7.501$, $p = 0.008$), de manera que se observaron promedios para esta variable que van desde las 47 mil mazorcas/ha cosechadas en el testigo sin fertilizar hasta las 68 mil mazorcas obtenidas bajo el nivel de 200 kg DAP/ha. Para todas las demás variables no se registraron variaciones significativas ($p > 0.05$). Los resultados para el crecimiento se describen en el Cuadro 1 y los referentes al rendimiento y sus componentes en el cuadro 2.

Cuadro 1. Variables del crecimiento de plantas de maíz Chac Nal Tel, cultivadas en la estación de lluvias (temporal), bajo distintas dosis de fosfato diamónico o DAP (18-46-00 N-P-K), en Rancho Xamantún, Chiná, Campeche, México.

DAP (18-46-00) kg/ha	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Ancho de hojas (cm)	Longitud de hoja (cm)
0	139.6 ± 27.3	2.76 ± 0.25	6.38 ± 0.20	125.55 ± 24.78
100	140.3 ± 24.6	2.85 ± 0.30	6.28 ± 0.49	118.80 ± 21.88
200	155.4 ± 22.2	2.97 ± 0.22	6.28 ± 0.29	132.68 ± 17.70
300	137.5 ± 34.5	2.93 ± 0.20	6.16 ± 0.73	124.90 ± 24.59

Cuadro 2. Variables del rendimiento en plantas de maíz Chac Nal Tel, cultivadas en la estación de lluvias (temporal), bajo distintas dosis de fosfato diamónico o DAP (18-46-00 N-P-K), en Rancho Xamantún, Chiná, Campeche, México.

DAP (18-46-00) kg/ha	Mazorcas cosechadas por hectárea	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso de mil granos (g)	Rendimiento por hectárea
0	68,889.00 ± 3,086.99	13.30 ± 0.58	28.53 ± 1.54	146.06 ± 5.44	3,814.08 ± 140.40
100	58,333.50 ± 7,021.67	13.75 ± 0.53	29.19 ± 3.06	139.30 ± 14.40	3,293.30 ± 786.26
200	54,166.50 ± 7,013.71	13.58 ± 0.85	31.96 ± 2.47	156.61 ± 1.57	3,229.08 ± 427.20
300	47,639.00 ± 5,992.88	13.35 ± 0.66	31.34 ± 2.55	149.22 ± 10.91	3,412.30 ± 784.42

La estabilidad varietal demostrada por Chac Nal tel está acorde a los criterios que definen la categoría de variedad (IBPGR, 1991) y la respuesta en rendimiento observada permite considerar que esta variedad, de la raza Nal Tel, evidencia la capacidad de resistir y adaptarse a la disminución de la humedad natural y el aumento de la temperatura que provoca en la zona el cambio climático. Esto representa una alternativa de adaptación del maíz nativo a esos cambios ambientales que, como han descrito Ruiz-Corral *et al.* (2011), ya se afectan al territorio mexicano. Aunque las diferencias no fueron significativas se observa que la amplitud de la variación es mayor en plantas expuestas a fertilización nitrógeno fosfórica y esto puede ser aprovechado en el mejoramiento genético siempre que se detecte y separen las plantas individuales que aparentan una mejor respuesta ante el fertilizante y verificando en ensayos posteriores si esta selección presenta

una respuesta consistente y mayor a la media de la variedad aquí estudiada con una menor variación en los valores observados en los componentes de rendimiento.

Conclusión

La respuesta al fosfato diamónico bajo las condiciones que se ha conducido el experimento, demuestra que no mejora el crecimiento ni se incrementa la productividad del maíz Chac Nal Tel. No obstante, deben considerarse importantes los rendimientos obtenidos por esta variedad, que aún con su ciclo corto alcanza rendimientos cercanos al promedio estatal, incluso cuando no se fertiliza el cultivo, disminuyendo así costos de producción e impactos ambientales. Las desviaciones estándar observadas en los componentes de rendimiento pueden representar oportunidades para la selección y mejora genética utilizando esta variedad nativa.

Referencias

- Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J.L., Peña-Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J.L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A.M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., & Zapata-Luna, R.L. 2016. La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua* 7(5): 151–165.
- González-Valdivia, N.A., Cetzal-Ix, W.; Basu, S.K., Pérez-Ramírez, I., Martínez-Puc, J.F., & Zandi, P. 2016. Conservation of the genetic diversity of local corn (*Zea mays* L.) in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae* 1: 71-84.
- González-Valdivia, N.A., Cetzal-Ix, W., Martínez-Puc, J.F., Soria-Fregoso, M.J., Burgos-Campos M.A., & Arcocha-Gómez E. 2017. Razas y variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México. 31 p.
- IBPGR. 1991. Descriptores para maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) / International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia. 88 p.
- Morrison, E. 1999. Introduction to SPSS. Washington D.C., EE.UU.: Center for Social Science Computation and Research, Universidad de Washington. Recuperado de http://julius.csscr.washington.edu/pdf/spss_old.pdf
- Ruíz Corral, J.A., Medina García, G., Ramírez Díaz, J.L., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Manríquez Olmos, J.D., Zarazúa Villaseñor, P., González Eguiarte, D.R., Díaz Padilla, G., & De la Mora Orozco, C. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 309-323.

ABORDAJE INTEGRAL DE LOS EFECTOS CAUSADOS POR MELOIDOGYNE SP. EN SOLANUM LYCOPERSICUM L.

STEFANI ALETSE MEZA ZAMORA¹, RAÚL DELGADO MACUIL², LAURA GARCÍA BARRERA³

Resumen

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el vegetal fresco o procesado más importante en el mundo después de la papa; el rendimiento y por ende el precio de los cultivos para consumo humano está en riesgo debido a la incidencia de plagas, condiciones desfavorables y agentes patógenos, uno de los problemas más severos es la presencia del nemátodo agallador de raíz *Meloidogyne* sp., con pérdidas mundiales anuales de 100 – 150 mil millones de dolares.

El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad nematocida de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) aplicado a jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en presencia de *Meloidogyne* sp. mediante el empleo de espectroscopia de infrarrojo medio. Se evaluó la capacidad nematocida in vitro de ocho BPCV en placas de tejido tisular, se colocaron las bacterias y los nemátodos durante una hora y se registró la tasa de mortalidad, al mismo tiempo se obtuvieron espectros del haz de hojas de plantas de jitomate híbridos Vikingo y V_427 infectados con nemátodos con un espectro Vertex 70 en la región del Infrarrojo Medio y se realizaron análisis de componentes principales (PCA). Se encontró que tres BPCV tuvieron tasas de mortalidad de entre 90 – 96.6%, además, en los PCA es posible diferenciar mediante espectroscopia a las plantas sanas y enfermas. El uso de BPCV como agentes nematocidas representa una opción eficaz y amigable con el ambiente y el uso de espectroscopia representa una alternativa confiable y rápida para la detección de patógenos en plantas.

Palabras clave: Jitomate/tomato, nemátodo/nematode, BPCV, espectroscopia/spectroscopy

Abstract

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is the most important fresh or processed vegetable in the world after the potato; yield and therefore the price of crops for human consumption is at risk due to the incidence of pests, unfavorable conditions and pathogens, one of the most severe problems is the presence of the root-knot nematode *Meloidogyne* sp., with losses annual worldwide of 100-150 billion dollars.

¹ Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac- Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. smezaz1000@alumno.ipn.mx

² Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac- Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México.

³ Instituto Politécnico Nacional (IPN). Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac- Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México.

The objective of this work was to determine the nematocidal capacity of plant growth promoting bacteria (GPGP) applied to tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the presence of *Meloidogyne* sp. using mid-infrared spectroscopy. The in vitro nematocidal capacity of eight BPCV in tissue plates was evaluated, the bacteria and nematodes were placed for one hour and the mortality rate was recorded, at the same time spectra of the leaf bundle of Viking hybrid tomato plants were obtained. and V_427 infected with nematodes with a Vertex 70 spectrum in the Mid-Infrared region and principal component analyzes (PCA) were performed. It was found that three BPCVs had mortality rates between 90 - 96.6%, in addition, in PCA it is possible to differentiate healthy and diseased plants by spectroscopy. The use of BPCV as nematocidal agents represents an effective and environmentally friendly option and the use of spectroscopy represents a reliable and fast alternative for the detection of pathogens in plants.

Keywords: Tomato/tomato, nematode/nematode, BPCV, spectroscopy/spectroscopy

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el vegetal fresco o procesado más importante en el mundo después de la papa (Blancard *et al.*, 2012; SIAP, 2017); México es el décimo productor de jitomate a nivel mundial, el valor de las exportaciones estimadas para los años 2024 y 2030 son de 3.54 y 5.8 millones de toneladas respectivamente (FAO, 2020). El rendimiento y por ende el precio de los cultivos para consumo humano está en riesgo debido a la incidencia de plagas, condiciones desfavorables y agentes patógenos, uno de los problemas más severos es la la presencia del nemátodo agallador de raíz *Meloidogyne* sp., con pérdidas mundiales anuales de 100 – 150 mil millones de dolares (SIAP, 2021). Entre las especies de nemátodos que atacan jitomate, las más importantes son *M. incognita* (Kofoid & White), *M. arenaria* (Neal) y *M. javanica* (Treub); las solanáceas parecen ser un huésped universal para muchos de estos nemátodos microscópicos. *Meloidogyne* es el más común y peligroso. En el jitomate causa graves pérdidas de cultivos en muchos países, tanto en cultivos de campo como protegidos, además ningún método de control es realmente efectivo durante el cultivo de jitomate (Blancard *et al.*, 2012; Oerke, 2006). Para ayudar a minimizar o mitigar los daños en plantas causados por fitopatógenos y las pérdidas causadas por éstos, se han desarrollado distintas técnicas que puedan detectar enfermedades en estadios tempranos. Una variedad de métodos son usados en la actualidad en la industria agrícola para detectar dichas enfermedades (Farber *et al.*, 2019). La espectroscopia vibracional de infrarrojo en la región de medición infrarrojo (MIR) de materiales biológicos se ha convertido en una herramienta versátil para la investigación en plantas, con potencial de desarrollo como sensor para aplicarse en cultivos (Baker *et al.*, 2014).

El objetivo de este trabajo es determinar la capacidad nematocida de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) aplicado a jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en presencia de *Meloidogyne* sp. mediante el empleo de espectroscopia de infrarrojo medio.

Materiales y Métodos

Se realizó la toma de muestras de raíz para obtener nemátodos, las raíces se tomaron de entre 5 y 30 cm de profundidad, se colocaron en bolsas de plástico cerradas, se mantuvieron en un ambiente fresco y se evitó el contacto directo con la luz.

La extracción de nemátodos se realizó tomando una cantidad conocida de raíz (g), se cortó en pedazos de 1 cm aproximadamente, se agregó hipoclorito de sodio al 5% para lavar, posteriormente se enjuagajó con agua y se colocó en el vaso de una licuadora con agua para molerlo (20 segundos). Se pasó la suspensión obtenida por un set de tamices con aperturas de: 850 μm , 150 μm , 44 μm y 25 μm . Los sedimentos contenidos en los tamices de 44 μm y 25 μm se recuperaron y homogeneizaron en una sola muestra, la muestra se colocó en tubos para centrifuga y se centrifugó por 4 minutos a 1,800 g. Se decantó y conservó solo el sedimento, posteriormente se resuspendió en una solución al 0.18% de sacarosa. Se centrifugó la muestra nuevamente durante 4 min a 1,800 g, se decantaron los tubos y se recuperó el sobrenadante en un tamiz de 25 μm de apertura, con ayuda de una piseta se enjuagajó el contenido del tamiz. En la solución resultante se obtuvieron juveniles y huevos (Carneiro et al., 2004). Posteriormente se realizó la extracción de ADN de nemátodos de la siguiente manera: se liofilizaron aproximadamente 6ml de la solución de extracción de nemátodos, posteriormente se prepararon tubos de 2 mL con perlas de 4 mm, se agregaron los nemátodos liofilizados y 400 μL de buffer CTAB 2%, se mezclaron y calentaron a 60 °C por 2 min, posteriormente se colocaron en hielo por 2 min., se agitaron vigorosamente en un vórtex por 10 min, se adicionaron 100 μL de buffer CTAB 2% con 4 μL de proteinasa K, se incubaron a 60 °C por 30 min y se agitaron en vórtex por 5 s. Se agregaron 500 μL de fenol:cloroformo 1:1 (v/v) y se agitaron vigorosamente en vórtex 15 s. Se centrifugaron a 12,500 rpm por 10 min, se recuperó el sobrenadante y se realizó un segundo lavado con 1 volumen de cloroformo, se recuperó el sobrenadante y se precipitó con 2 volúmenes de etanol, se incubó a 80 °C durante 20 min o toda la noche a 4 °C. Después de la incubación se centrifugó a 12,500 rpm por 10 min y se decantó el sobrenadante, se adicionó 1 volumen de etanol al 70 % y se agitó vigorosamente hasta que la pastilla se desprendió. Se centrifugó por 5 min a 12,500 rpm y se decantó el sobrenadante, se secó la pastilla y se resuspendió en 30 μL de agua grado molecular (Mondino et al., 2015; Randig et al., 2001; Gupta & Pandey, 2019).

Para el ensayo de actividad nematocida in vitro se utilizaron ocho bacterias: *Pseudomonas chlororaphis*, *Bacillus toyonensis*, *Ewingella americana*, *Bacillus methylotrophicus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus subtilis*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Bacillus megaterium*; las bacterias se crecieron en caldo nutritivo en agitación a 30°C toda la noche y se ajustó la densidad a 1×10^8 UFC; el ensayo se realizó en cajas de tejido tisular de 12 pozos, en cada pozo se colocó una solución con 30 nemátodos (J2) y las bacterias 1:1 v/v, se mezclaron y se dejaron incubar a temperatura ambiente durante una hora, la mortalidad de nemátodos J2 se evaluó en un microscopio estereoscópico tocando a los nemátodos con una aguja, los nemátodos que no respondieron con movimiento se consideraron muertos (Kang et al., 2018).

Con la finalidad de evaluar la producción de antibióticos por las bacterias se extrajo ADN de las bacterias y se realizaron reacciones en cadena de la polimerasa (PCR) con primers específicos para diferentes antibióticos (cuadro 1).

Cuadro 1. Lista de antibióticos evaluados en las bacterias.

Antibiótico	Primer	Secuencia	Gen	Producto (pb)
2,4-diacetilfloroglucinol	BPF2	ACATCGTGACCCGGTTTCATGATG	<i>phlD</i>	629
	BPR4	CCGCCGGTATGGAAGATGAAAAAGTC		
Fenazina	PHZ1	GGCGACATGGTCAACGG	<i>phzFA</i>	1408
	PHZ2	CGGCTGGCGGCGTATTC		
Pirrolnitrina	PRND1	GGGGCGGGCCGTGGTGATGGA	<i>prnD</i>	789
	PRND2	YCCCGCSGCCTGYCTGGTCTG		
Pioluteorina	PLTC1	AACAGATCGCCCCGGTACAGAACG	<i>pltC</i>	438
	PLTC2	AGGCCCGGACACTCAAGAAACTCG		
Fengicina	FENDF	GGCCCGTTCTCTAAATCCAT	<i>fenD</i>	269
	FENDR	GTCATGCTGACGAGAGCAAA		
Bacilomicina	BMYBF	GAATCCCGTTGTTCTCCAAA	<i>bmyB</i>	370
	BMYBR	GCGGGTATTGAATGCTTGTT		
Iturina A	ITUD1F	GATGCGATCTCCTTGATGT	<i>ituD</i>	647
	ITUD1R	ATCGTCATGTGCTGCTTGAG		
Sufactina	SRFAF	TCGGGACAGGAAGACATCAT	<i>srfAA</i>	201
	SRFAR	CCACTCAAACGGATAATCCTGA		

Para obtener los diferentes espectros se utilizó un Espectro Vertex 70, cada muestra se colocó sobre el cristal de seleniuro de zinc y se hizo incidir el haz de luz a través de ella.

Se analizaron los espectros crudos y los espectros a los cuales se les realizó un tratamiento matemático (PCA) con la finalidad de poder identificar las diferencias espectrales más significativas con el software Origin.

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan las BPCV utilizadas en este trabajo y la actividad nematocida de cada una (Cuadro 2).

Cuadro 2. Actividad nematocida de las BPCV sobre *Meloidogyne* sp. *Bacterias con las mortalidades más altas.

Bacteria	Mortalidad <i>Meloidogyne</i> sp. (%)
<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	90.0*
<i>Bacillus toyonensis</i>	48.6
<i>Ewingella americana</i>	53.8
<i>Bacillus methylotrophicus</i>	59.0
<i>Bacillus subtilis</i> (BsTA16)	52.6
<i>Bacillus subtilis</i> (BsMA26)	45.6
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	93.3*
<i>Bacillus megaterium</i>	96.7*

En el siguiente cuadro (cuadro 3) se presentan los resultados de los antibióticos evaluados en las bacterias mediante PCR.

Cuadro 3. Antibióticos evaluados en las BPCV. La "X" indica la presencia del gen del antibiótico.

Bacteria	Antibiótico	2,4-diacetilfloroglucinol	Fenazina	Pirrolinitrina	Pioluteorina	Fengicina	Bacilomicina	Iturina A	Surfactina
<i>Pseudomonas chlororaphis</i> (A)			X						
<i>Bacillus toyonensis</i> (B)			X						X
<i>Ewingella americana</i> (C)			X		X			X	
<i>Bacillus methylotrophicus</i> (BmetDA2) (D)								X	X
<i>Bacillus subtilis</i> (BsTA16) (E)			X						X
<i>Bacillus subtilis</i> (BsMA26) (F)						X			
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> (AcDB3) (G)									
<i>Bacillus megaterium</i> (BmMB9) (H)			X						

Kang et al., 2018 reportaron la mortalidad de juveniles de *Meloidogyne* sp. in vitro y en plantas de 53-60% por *Pseudomonas chlororaphis*, en este trabajo se reporta

una mortalidad superior, del 90%, esta bacteria además tiene el gen relacionado con la producción de fenazina, dicho antibiótico está relacionado con la disminución de la población de *M. incognita*, además de las ocho bacterias es la que tiene el porcentaje de mortalidad más alto.

Las distintas cepas de *Bacillus* tienen mortalidades de 45.6 al 96.7%, *B. toyonensis* 48.6%, *Bacillus methylotrophicus* 90%, *B. subtilis* (BsTA16) 52.6%, *Bacillus subtilis* (BsMA26) 45.6% y *B. megaterium* 96.7%, éste último tiene el porcentaje de mortalidad más alto de todas las bacterias evaluadas, las cepas de *Bacillus* se encontraron genes relacionados con la producción de fenazina, surfactina e iturina que están relacionados con la disminución de la eclosión de huevos de nemátodos y la muerte de juveniles en etapa J2, en el caso de *B. megaterium* se registró la presencia del gen *phzFA*, la fenazina ha sido directamente relacionada con la supresión del crecimiento micelial de hongos fitopatógenos como *Fusarium* (Kang et al., 2018), y otros autores (Kavitha et al., 2005) reportaron que la exposición de huevos de *M. incognita* a fenazina produce una disminución en la eclosión de huevos y la muerte de juveniles J2, esto indicaría que *B. megaterium* además de tener actividad nematocida tiene otras cualidades como BPCV; algunos autores (Huang et al., 2010) han reportado una mortalidad del 30-63% de dicha bacteria sobre *M. incognita*.

Para *Ewingella americana* se reportó una mortalidad de 53.8%, dicha mortalidad puede ser atribuida a la producción de fenazina, pioluteorina y/o iturina A.

En el caso de *Acinetobacter calcoaceticus* se registró una mortalidad de 93.3%, aún faltan más pruebas para tratar de elucidar qué causa la mortalidad de *Meloidogyne*.

En la siguiente figura se muestran los espectros de las hojas (haz) del híbrido V_427 (figura 1). En color rojo se observan los espectros de plantas infectadas con nemátodo y en los espectros con la línea negra se observan hojas de plantas infectadas con nemátodos; en la región de los enlaces C-O se observa una mayor intensidad en los picos de los espectros de las plantas sanas; en la región de las amidas es posible observar un pico entre los 1600-1700 cm^{-1} en los espectros con línea negra, que no se observa cuando las plantas están infectadas, es probable que la ausencia de dicho pico sea debido a la presencia del nemátodo en las raíces de las plantas infectadas.

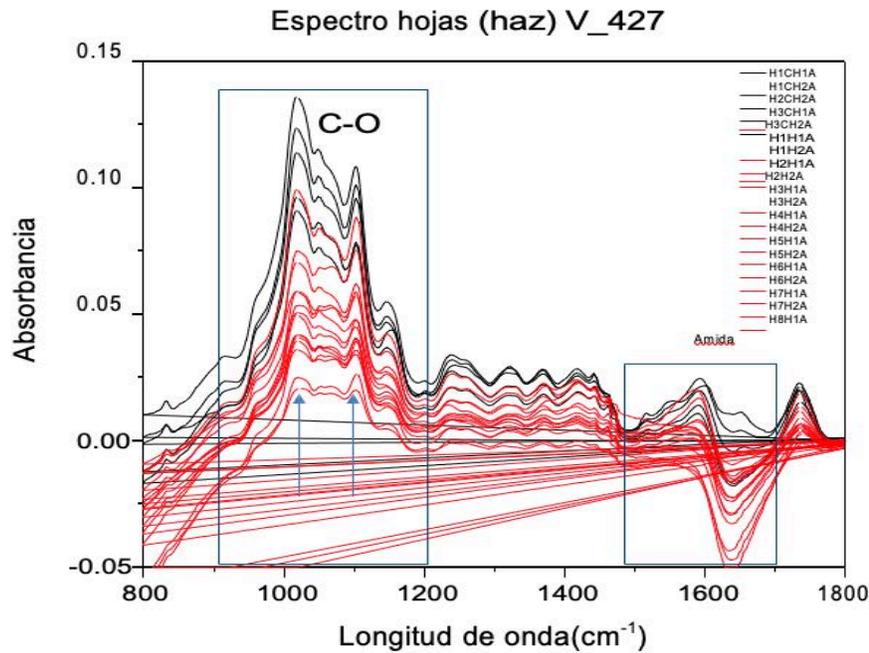


Figura 1. Espectro de hojas (haz) del híbrido V_417 en la región de 800-1800 cm⁻¹

En la siguiente figura se muestran los espectros de las hojas (haz) del híbrido Vikingo (figura 2).

Las diferencias en el espectro crudo del híbrido Vikingo no son tan evidentes, probablemente esto se deba a que es una especie resistente a la infección de nemátodos y aún no se observan daños significativos.

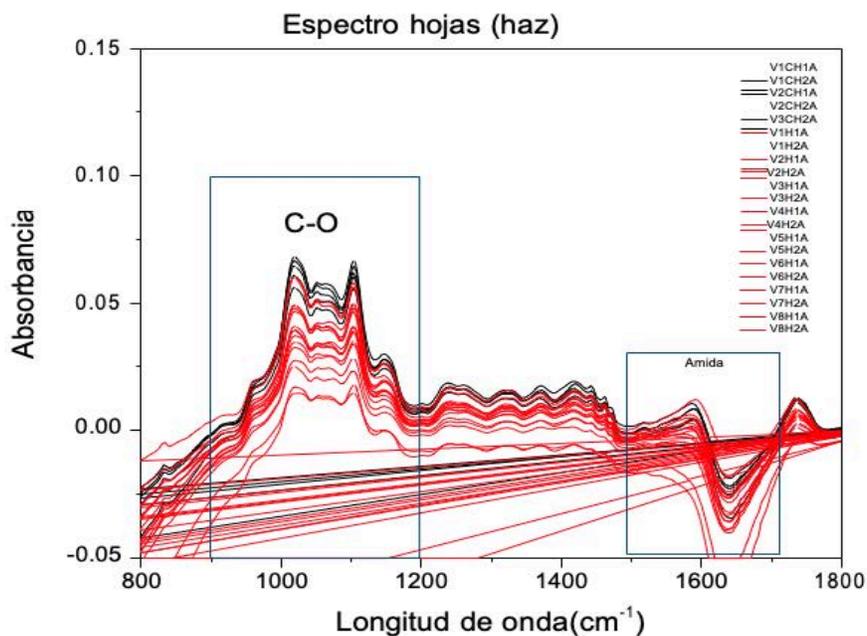


Figura 2. Espectro de hojas (haz) del híbrido Vikingo en la región de 800-1800 cm⁻¹

En la siguiente figura (figura 3) se presenta el PCA de hojas de plantas de jitomate V_427 sanas e infectadas con nemátodos.

Es posible observar una tendencia de agrupación entre plantas enfermas (círculos rojos) y plantas sanas (círculos negros). Las plantas sanas se agrupan hacia el lado positivo del primer componente que explica un 94.47% del análisis; de modo contrario, las plantas enfermas se agrupan hacia el lado negativo del mismo componente.

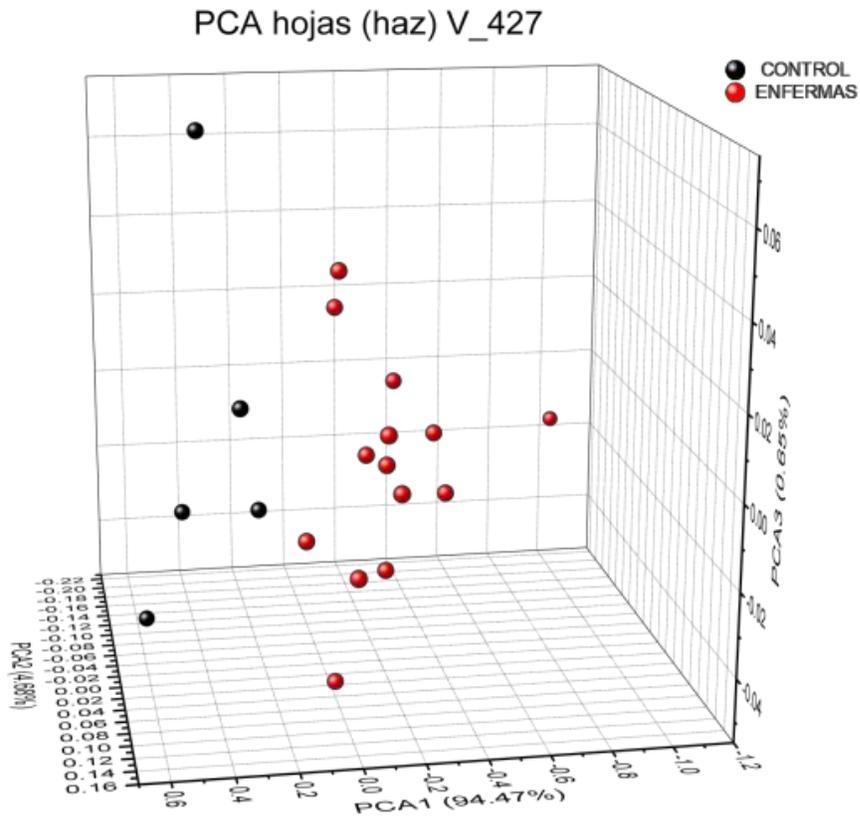


Figura 3. PCA de hojas (haz) de jitomate híbrido V_427

En la siguiente figura (figura 4) se presenta el PCA de hojas de plantas de jitomate Vikingo sanas e infectadas con nemátodos.

Aunque en el espectro crudo no se pudieron observar diferencias significativas, la tendencia de agrupación en el PCA de las hojas en el híbrido Vikingo es similar a la tendencia observada en V_427, es decir, es posible observar una tendencia de agrupación entre plantas enfermas (círculos rojos) y plantas sanas (círculos negros). Las plantas sanas se agrupan hacia el lado positivo del primer componente que explica un 91.16% del análisis; de modo contrario, las plantas enfermas se agrupan hacia el lado negativo del mismo componente.

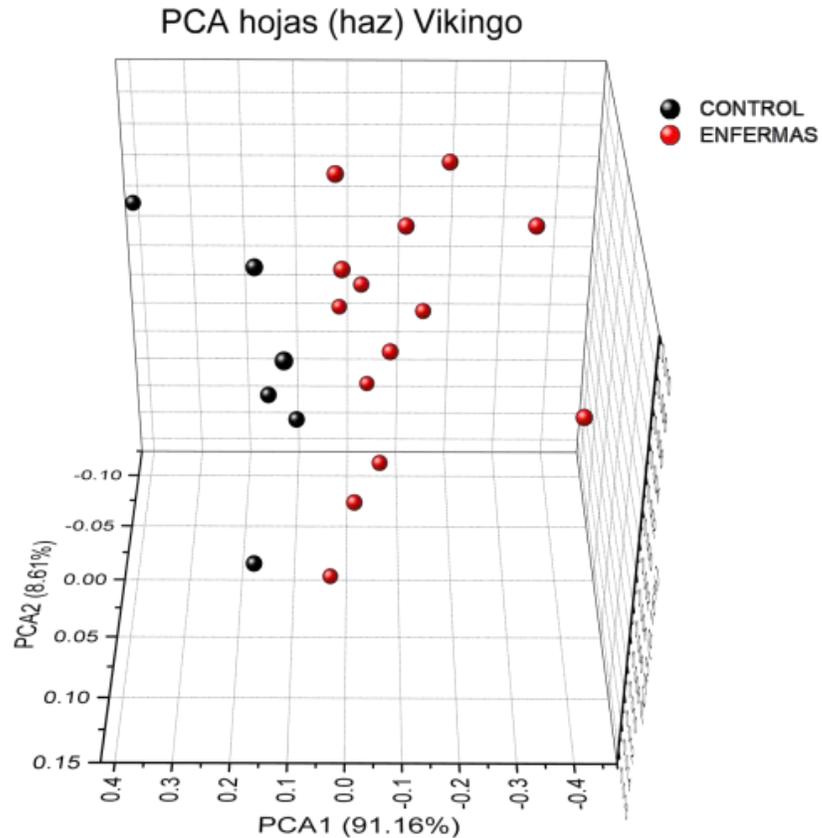


Figura 4. PCA de hojas (haz) de jitomate híbrido Vikingo

Conclusión

De las ocho bacterias evaluadas, tres tienen tasas de mortalidad sobre nemátodos superiores al 90%, esto significa que pudieran ser aplicadas con éxito para el control de *Meloidogyne sp.*

Es posible detectar la presencia de *Meloidogyne sp.* mediante espectroscopia de infrarrojo diferenciando entre plantas sanas y plantas infectadas con el nemátodo, esta técnica representaría un método confiable, seguro y rápido para la detección de este fitopatógeno comparado con otras técnicas.

Referencias

- Baker, M. J., Trevisan, J., Bassan, P., Bhargava, R., Butler, H. J., Dorling, K. M., Fielden, P. R., Fogarty, S. W., Fullwood, N. J., Heys, K. A., Hughes, C., Lasch, P., Martin-Hirsch, P. L., Obinaju, B., Sockalingum, G. D., Sulé-Suso, J., Strong, R. J., Walsh, M. J., Wood, B. R., ... Martin, F. L. (2014). Using Fourier transform IR spectroscopy to analyze biological materials. *Nature Protocols*, 9(8), 1771–1791. <https://doi.org/10.1038/nprot.2014.110>
- Blancard, Dominique Henri Laterrot, G. M. and T. C. (2012). The Tomato Plant and its Culture. *Tomato Diseases*, 17–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387737-6.50001-7>
- Carneiro, R. M. D. G., Tigano, M. S., Randig, O., Almeida, M. R. A., & Sarah, J. L. (2004). Identification and genetic diversity of *Meloidogyne* spp. (Tylenchida: Meloidogynidae) on coffee from Brazil, Central America and Hawaii. *Nematology*, 6(2), 287–298. <https://doi.org/10.1163/1568541041217942>
- FAO. (2020). FAOSTAT. Datos de Cultivos <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC/visualize>
- Farber, C., Mahnke, M., Sanchez, L., & Kurouski, D. (2019). Advanced spectroscopic techniques for plant disease diagnostics. A review. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 118, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.022>
- Gupta, S., & Pandey, S. (2019). ACC deaminase producing bacteria with multifarious plant growth promoting traits alleviates salinity stress in French Bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *Frontiers in Microbiology*, 10(JULY), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01506>
- Huang, Y., Xu, C. K., Ma, L., Zhang, K. Q., Duan, C. Q., & Mo, M. H. (2010). Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematocidal activity against *Meloidogyne incognita*. *European Journal of Plant*
- Kang, B. R., Anderson, A. J., & Kim, Y. C. (2018). Hydrogen cyanide produced by *Pseudomonas chlororaphis* O6 exhibits nematocidal activity against *Meloidogyne hapla*. *Plant Pathology Journal*, 34(1), 35–43. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.06.2017.0115>
- Mondino, E. A., Covacevich, F., Studdert, G. A., Pimentel, J. P., & Berbara, R. L. L. (2015). Extracting DNA of nematodes communities from Argentine pampas agricultural soils. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 691–697. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520130110>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

- Randig, O., Leroy, F., & Castagnone-Sereno, P. (2001). RAPD characterization of single females of the root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. *European Journal of Plant Pathology*, 107(6), 639–643. <https://doi.org/10.1023/A:1017936527466>
- SIAP. (2017). Jitomate: 3.3 millones de toneladas en 2016 | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gov.mx. <https://www.gob.mx/siap/articulos/jitomate-3-3-millones-de-toneladas-en-2016>
- SIAP. (2021). Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do

DISTRIBUCIÓN DE APLYSIIDA Y CEPHALASPIDEA (HETEROBRANCHIA) EN EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE

CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ¹, BELEM ANAHY ESTRELLA JORDÁN², LEONARDO ORTIZ
LOZANO³

Resumen

El Golfo de México y Mar Caribe son áreas en las cuales se ha documentado la presencia de múltiples especies de Heterobranquios (tradicionalmente llamados 'Opisthobranquios'). Sin embargo, existe un vacío en la información sobre la distribución de la mayoría de las de estas especies. En el presente estudio se generó una base de datos sobre la distribución de Heterobranquios de las órdenes Aplysiida y Cephalaspidea del Golfo de México y el Mar Caribe. Se recabaron todas las ocurrencias encontradas en Global Biodiversity Information Facility (GBIF). Se ubicaron geográficamente, mediante mapas realizados utilizando el programa ArcMap 10.3, un total de 4410 avistamientos de Heterobranquios en el área de estudio, de los cuales el orden Cephalaspidea tuvo un mayor número de ocurrencias con 3795, comparado con el orden Aplysiida con 615 ocurrencias. Se observó que 12 de las 18 familias del orden Cephalaspidea presentaron una distribución agregada mientras que los registros de las 6 familias restantes mostraron una distribución uniforme en el Golfo de México y el Mar Caribe. Respecto al orden Aplysiida, la familia Aplysiidae se distribuyó uniformemente, por el contrario, para la familia Akeridae, se observó una distribución agregada.

Palabras clave: Heterobranquios, Aplysiida, Cephalaspidea, Golfo de México, Mar Caribe.

Abstract

The Gulf of Mexico and the Caribbean Sea are areas in which the presence of multiple species of Heterobranchs (traditionally called 'Opisthobranchs') has been documented. However, there is a lack of information on the distribution of most of these species. In the present study, a database on the distribution of Heterobranchs of the orders Aplysiida and Cephalaspidea from the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea was generated. All occurrences found in the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) were collected. A total of 4410 sightings of Heterobranchs in the study area were geographically located, through maps made using the ArcMap

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz. citlalmina.mj07@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

³ Universidad Veracruzana/Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías (ICIMAP). Miguel Hidalgo 607, Río Jamapa, 94290 Boca del Río, Veracruz.

10.3 program, of which the order Cephalaspidea had a greater number of occurrences with 3795, compared to the order Aplysiida with 615 occurrences. It was observed that 12 of the 18 families of the order Cephalaspidea presented an aggregate distribution, while the records of the remaining 6 families showed a uniform distribution in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. Regarding the Aplysiida order, the Aplysiidae family was uniformly distributed, on the contrary, for the Akeridae family, an aggregate distribution was observed.

Keywords: Heterobranchs, Aplysiida, Cephalaspidea, Gulf of Mexico, Caribbean Sea.

Introducción

Los trabajos de distribución de especies bentónicas en el Golfo de México, han generado listados de especies que incluyen de manera general a la subclase Heterobranquia dentro del grupo de los Moluscos. Algunas investigaciones como las realizadas en 2010 por Ortigosa *et al.*, en la Península de Yucatán, en 2012 por Zamora-Silva y Ortigosa en el Sistema Arrecifal Veracruzano y en 2017 por Vicencio *et al.*, en el Sistema Arrecifal Tuxpan se han enfocado en esta subclase en particular. Hasta la fecha, no se tiene conocimiento de estudios que brinden una visión general de la distribución de los opistobranquios en el Golfo de México y el Mar Caribe.

La subclase Heterobranchia, anteriormente era conocida como Opistobranchia (Bouchet *et al.*, 2017), y está conformada por organismos pertenecientes al phyla Mollusca. La mayor parte de las especies de este grupo no presentan concha; aquellos organismos que si presentan una concha, lo hacen de manera interna o similar a la de algunos caracoles. Poseen hábitos alimenticios diversos, pudiéndose alimentar de opistobranquios de otras especies, corales, hidrozooos, esponjas, algas rojas, pardas y verdes, además de huevos de peces (Ortigosa-Gutiérrez, 2010).

Se ha registrado la presencia de los Heterobranquios en diversas zonas que abarcan desde las frías aguas del Antártico hasta las aguas tropicales, y pueden sobrevivir en ambientes marinos y salobres. Es posible encontrar estos organismos en todos los océanos y en profundidades que van desde las zonas intermareales hasta las grandes profundidades, aproximadamente a 3000 metros. (Wagele y Klussmann-Kolb 2005; Wagele y William 2000; Camacho *et al.*, 2005). La mayoría de las especies se desarrollan en diversos hábitats como arena, corales, esponjas rocas, algas e hidrozooarios, además pueden parasitar a otros invertebrados o vivir sobre sus huevecillos (Ortigosa-Gutiérrez, 2010).

Las órdenes de interés para el presente estudio, Cephalaspidea y Aplysiida, se determinaron por la similitud en sus características morfológicas, hábitos alimenticios y hábitats, además de que se han relacionado filogenéticamente como grupos hermanos (Grande *et al.*, 2004).

Orden Aplysiida

Dentro de la subclase Heterobranchia se encuentra el orden Aplysiida (anteriormente conocido como Anaspidea o Aplysiomorpha). A este grupo lo conforman alrededor de 80 especies de organismos, los cuales presentan morfología homogénea y son los de mayor tamaño dentro de los Heterobranquios (Bouchet *et al.*, 2017). Los organismos pertenecientes al orden Aplysiida presentan la región cefálica bien definida, en ella poseen un par de ojos, un par de tentáculos labiales anteriores y un par de rinóforos enrollados. La cabeza se encuentra unida al cuerpo por un cuello extensible. La masa visceral posee unas prolongaciones del manto, conocidos como parapodios, los cuales suelen estar plegados sobre la masa visceral, la cual es voluminosa. La concha se encuentra muy reducida, por lo que es frágil y se encuentra cubierta por un pliegue del manto; existen especies que carecen de concha. Son herbívoros, se alimentan en especial de algas Clorophyceas y se encuentran exclusivamente en aguas someras dentro de la plataforma continental (Thompson, 1976; Gosliner, 1992).

Orden Cephalaspidea

El orden Cephalaspidea se ha considerado por mucho tiempo como un grupo de transición entre los Prosobranquios y los demás Heterobranquios. Actualmente se tiene registradas un poco más de 800 especies, las cuales forman parte del grupo más primitivo entre los Heterobranquios (Bouchet *et al.*, 2017). Los organismos pertenecientes a esta orden son testáceos ya que la mayoría de las especies poseen concha interna y muy poco calcificada. Su cabeza presenta un escudo cefálico, no suele tener tentáculos u otras expansiones sensoriales, lo que le facilita al animal enterrarse en el sustrato blando. Cuentan con una cavidad paleal bien desarrollada, situada anterior o posteriormente. Los Cephalaspideos se alimentan tanto de algas filamentosas como de gusanos, bivalvos e incluso otros organismos de la misma especie (Mikkelsen, 2002; Wägele y Klussmann-Kolb, 2005).

El grupo de Heterobranquios cuenta con 6000 especies aproximadamente (Wägele y Klussmann-Kolb, 2005). En México, se han realizado pocos estudios en el Golfo de México, específicamente dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Zamora-Silva *et al.*, 2002; Zamora-Silva, 2003; Ortigosa-Gutiérrez, 2005). Además, se ha realizado un listado de especies de opistobranquios bentónicos que habitan la costa mexicana del Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Yucatán, en el que Ortigosa-Gutiérrez reporta al 2009, 118 especies.

Distribución biogeográfica

Se refiere al conjunto de zonas en donde una especie o taxón supraespecífico se encuentra, por lo que se delimita un área que es ocupada por dichos organismos. Lacoste y Salanon (1973) se refieren a ello como “*la relación estática que guardan los organismos de una especie o taxón con el área que ocupan*”. Esta distribución

es el resultado de los cambios que han sufrido a lo largo del tiempo tanto el clima como el relieve y el suelo, además de los mares, así como de la evolución, las relaciones interespecíficas y la dispersión de las especies, aunado a la presencia humana (Guisan y Zimmermann, 2000; Espinosa-Organista, *et al.*, 2002).

Es posible caracterizar un área de distribución de una especie según su ubicación geográfica, forma, tendencias de deformación, continuidad y sus barreras distribucionales. Por otra parte, se pueden encontrar coincidencias en las distribuciones en cuanto a tamaño, forma de las distribuciones, en sus disyunciones o discontinuidades al comparar la distribución de dos o más especies (Espinosa *et al.*, 2002). Pielou (1977) menciona que, tradicionalmente se han determinado tres patrones generales de distribución de especies: la distribución aleatoria, la distribución agregada y la distribución uniforme. Por su parte, la distribución aleatoria, indica que la probabilidad de encontrar a un individuo es la misma en todo el espacio, o bien, que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser encontrados en el espacio. La distribución agregada, significa que los individuos se agrupan formando aglomeraciones o parches, dejando algunas áreas relativamente desocupadas. Finalmente, la distribución uniforme implica que la distancia entre cada individuo son aproximadamente las mismas dentro de la población (Pielou, 1977).

La importancia del conocimiento de las áreas de distribución de las especies radica en la información que proporcionan sobre las condiciones ambientales que son capaces de soportar. Estas áreas de distribución, al combinarse, pueden considerarse como indicadoras de condiciones ambientales homogéneas o incluso pueden servir como unidades de descripción.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda documental de información sobre las ordenes Aplysiida y Cephalaspidea, se reunió información sobre el área de estudio y sobre trabajos realizados con anterioridad sobre el tema de estudio. Para esta investigación se delimitó la zona del Golfo de México que abarca desde la Península de Florida hasta la Península de Yucatán y el Mar Caribe que limita con las llamadas Antillas Mayores y Menores y que abarca desde México hasta Venezuela. Posteriormente se obtuvieron los registros de ocurrencia para ambas órdenes en el Golfo de México y Mar Caribe utilizando la base de datos de Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2019). A continuación, utilizando el programa ArcMap 10.3 se posicionaron los puntos de ocurrencias en el espacio geográfico de interés.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron los siguientes mapas que muestran las distribuciones de las órdenes Aplysiida y Cephalaspidea en el Golfo de México y Mar Caribe.

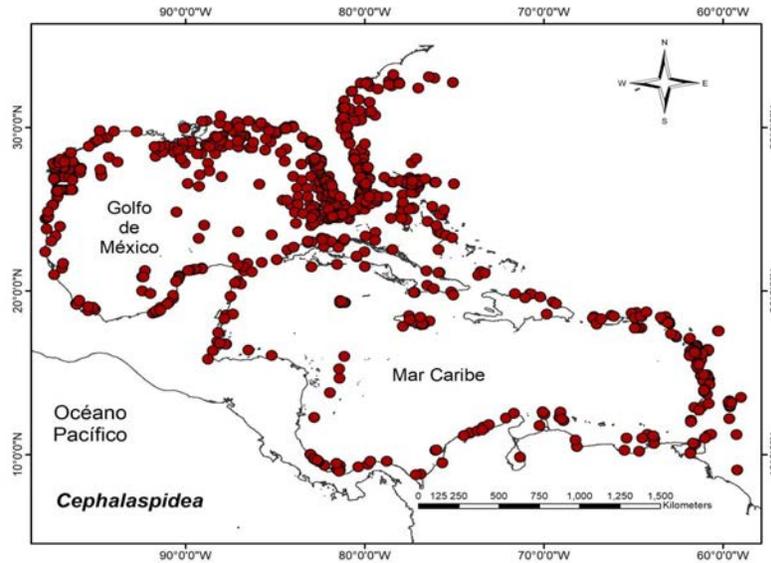
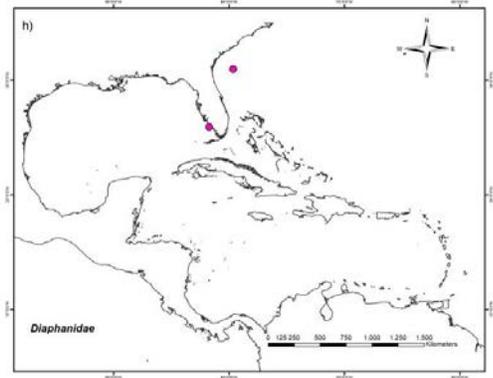
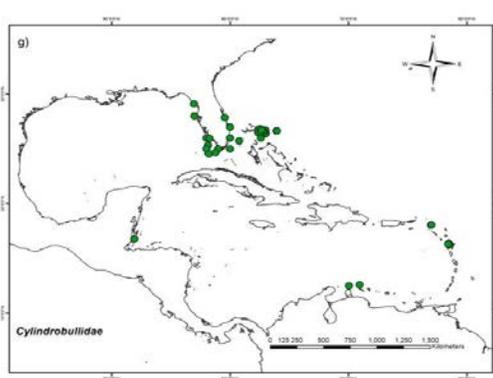
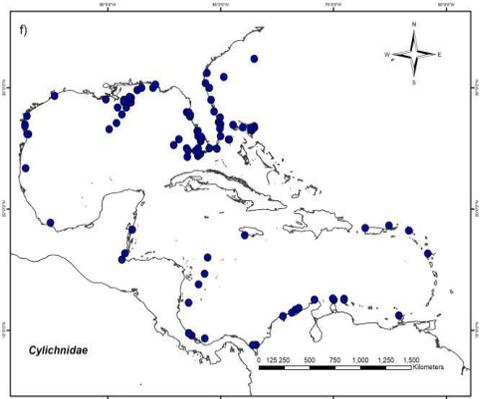
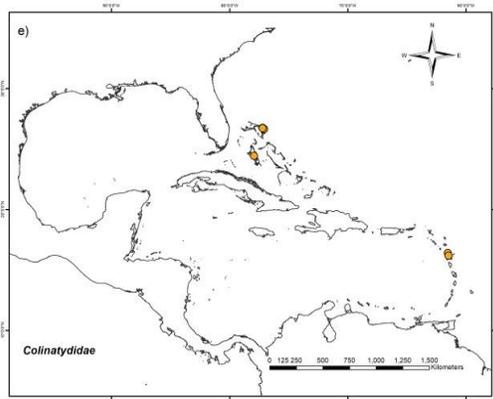
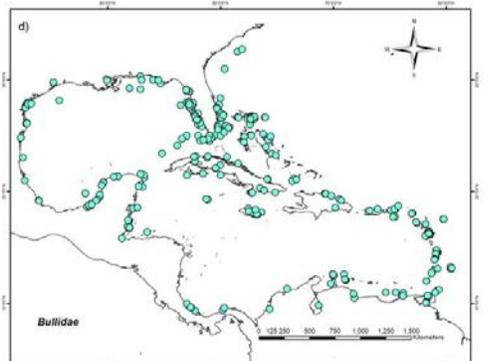
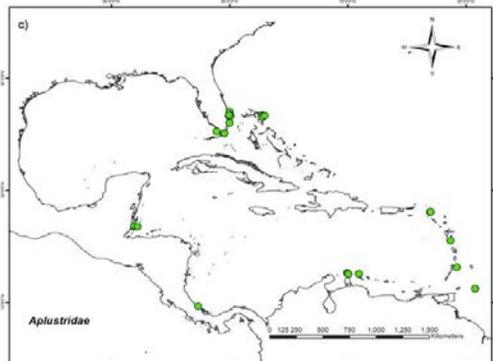
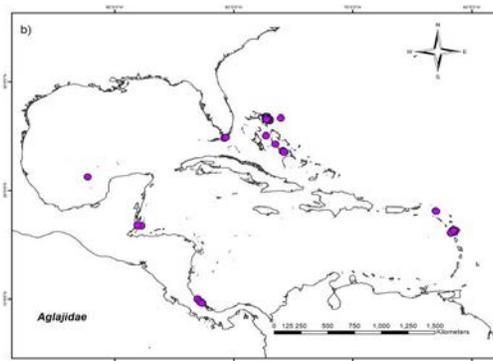
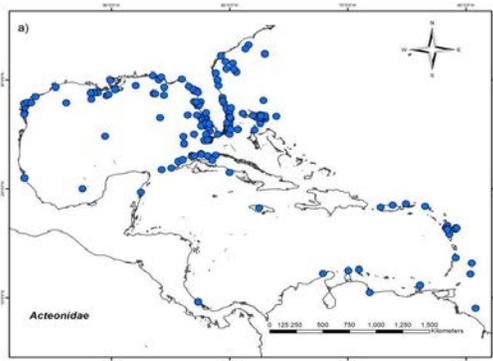


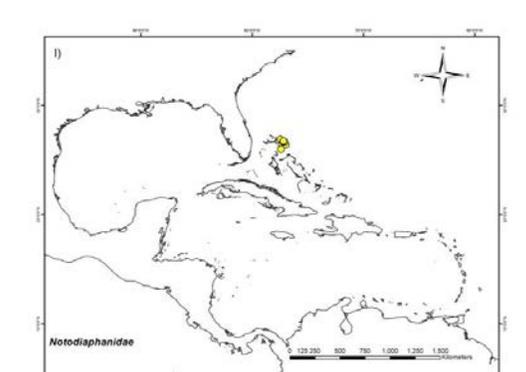
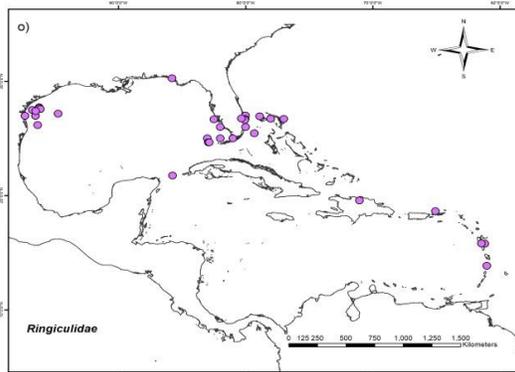
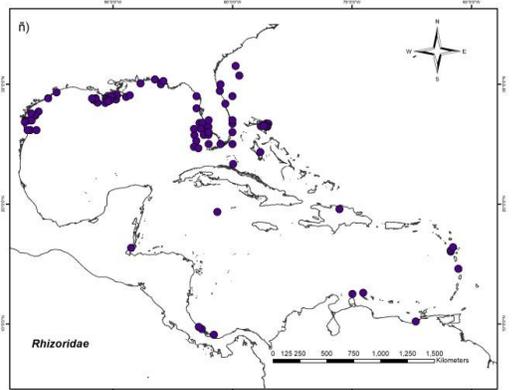
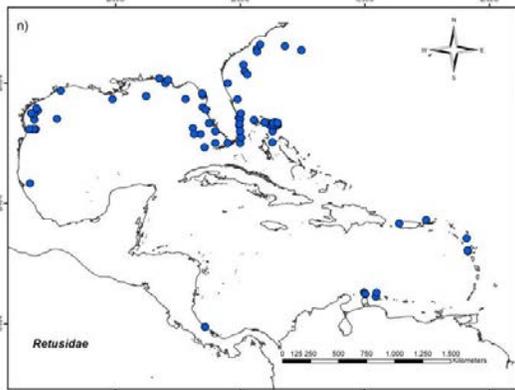
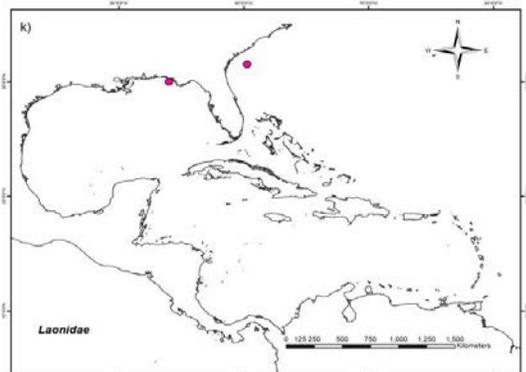
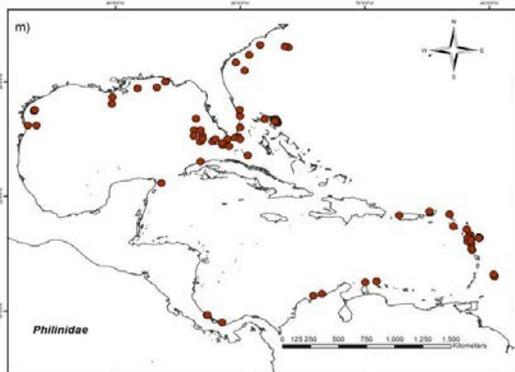
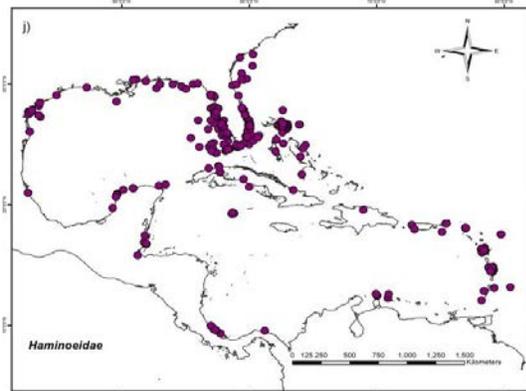
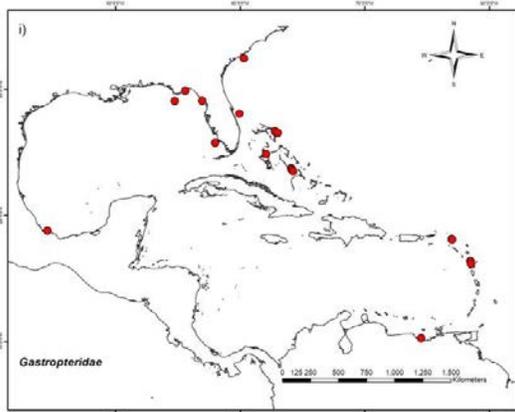
Figura 1. Distribución de la orden Cephalaspidea en el Golfo de México y Mar Caribe.

Se encontraron 3795 registros de ocurrencias de Heterobranquios del orden Cephalaspidea, de las cuales se identificaron 139 especies (Tabla 1, Figuras 1 y 2).

Tabla 1. Número de ocurrencias por familia de la orden Cephalaspidea.

Mapa (ver Figura 2)	Familia	Número de especies	Ocurrencias
a)	Acteonidae	24	375
b)	Aglajidae	14	154
c)	Aplustridae	5	68
d)	Bullidae	9	657
e)	Colinatydidae	1	14
f)	Cylichnidae	11	176
g)	Cylindrobullidae	2	52
h)	Diaphanidae	2	2
i)	Gastropteridae	3	25
j)	Haminoeidae	15	938
k)	Laonidae	1	2
l)	Notodiaphanidae	1	13
m)	Philineidae	8	115
n)	Retusidae	9	146
ñ)	Rhizoridae	7	213
o)	Ringiculidae	2	52
p)	Scaphandridae	9	194
q)	Tornatinidae	16	594





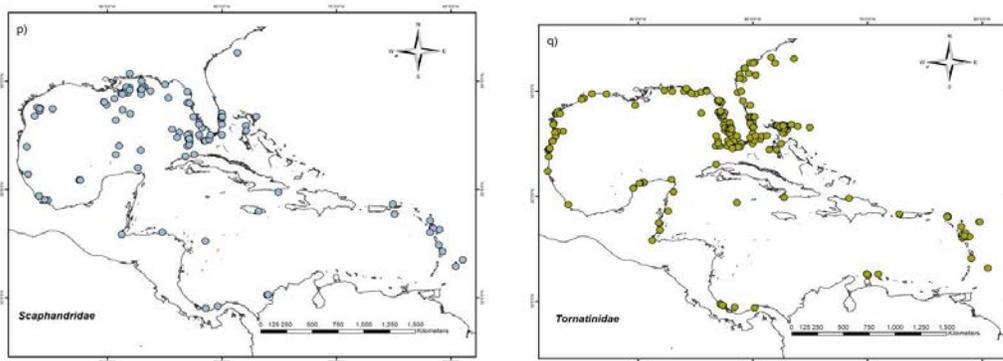


Figura 2. Distribución de Cephalaspidea por familia.

En los mapas correspondientes a las familias Acteonidae (a), Bullidae (b), Cylichnidae (f), Haminoeidae (j), Scaphandridae (p) y Tornatinidae (q) se observa una distribución uniforme a lo largo del Golfo de México y el Mar Caribe.

Las familias Philinidae (m), Retusidae (n), Rhizoridae (ñ) y Ringiculidae (o) presentan una distribución agregada mayormente en las Antillas Mayores, Antillas Menores y la parte norte del Golfo de México; otro grupo de familias que presentan este mismo tipo de distribución geográfica son Aglajidae (b), Aplustridae (c), Cylindrobullidae (g) y Gastropteridae (i), estas familias se encuentran mayormente en las Antillas Mayores, Antillas Menores, en la parte central del Golfo de México, así como el Mar Caribe en las costas de Belice y Costa Rica; además, podemos observar que las familias Diaphanidae (h) y Laonidae (k) se han registrado solo al este y oeste de la península de Florida; se han documentado avistamientos de individuos de la familia Colinatydididae (e) en las Antillas Mayores y Antillas Menores; finalmente la familia Notodiaphanidae (i) solo se ha registrado en la parte norte de las Islas Bahamas.

Con relación a la Orden Cephalaspidea, en el Mar Caribe, Grune en 2014 reportó la presencia de estos organismos en el Parque Nacional La Restinga, ubicado en la región central de la Isla de Margarita, Venezuela. Por su parte Ortea y Buske (2018), realizaron un inventario sistemático de 135 especies de babosas marinas, recolectadas durante la expedición Madibenthos-2016, del MNHN París, en la isla de Martinica (Madinida). En este inventario se incluyen 8 familias del orden Cephalaspidea y las 2 familias del orden Aplysiida. Otro listado actualizado al 2021 por parte de Fernández incluye 13 familias del orden Cephalaspidea y las 2 familias del orden Aplysiida, esto referente al Caribe Colombiano.

Para el Golfo de México, de igual manera que para el Mar Caribe, los trabajos de Ortigosa *et al.*, (2007, 2010, 2013) destacan por incluir listados de organismos del orden Cephalaspidea en el Corredor Arrecifal Mesoamericano. En las costas de

Cuba y las Bahamas son destacables los trabajos realizados por Ortea *et al.* (2008), en cuanto a la descripción de nuevas especies de este orden.

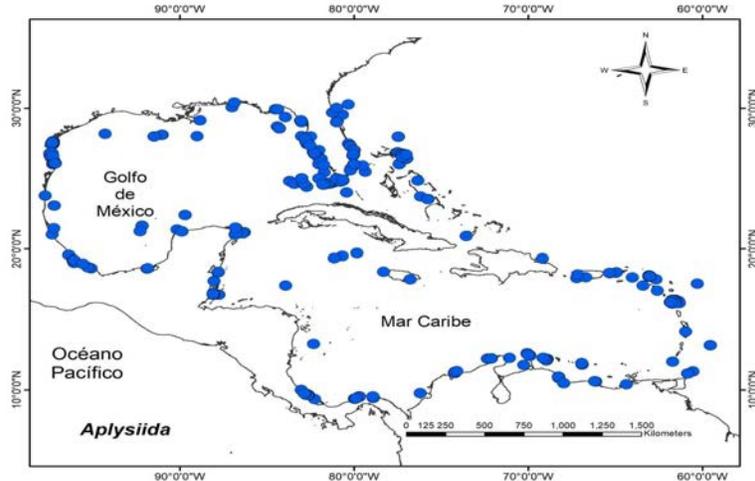


Figura 3. Distribución de la orden Aplysiida en el Golfo de México y Mar Caribe.

Se encontraron 615 registros de ocurrencias de Heterobranquios del orden Aplysiida, de las cuales se identificaron 18 especies en dos familias (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 2. Número de ocurrencias por familia de la orden Aplysiida.

Mapa Figura 4	Familia	Número de especies	Ocurrencias
r)	Akeridae	1	11
s)	Aplysiidae	17	604

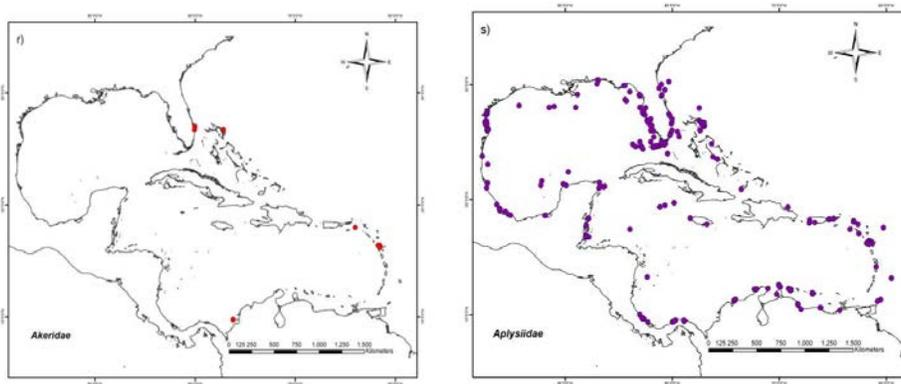


Figura 4. Distribución de Aplysiida por familia.

La familia Akeridae (r) presenta una distribución agregada, al este de la península de Florida, al norte de las Isla Bahamas, en las Antillas Menores y el Mar Caribe en las costas de Colombia. Por otra parte, se observa que la familia Aplysiidae (s) se distribuyen uniformemente en el Golfo de México y Mar Caribe.

Las ocurrencias del orden Aplysiida Golfo de México específicamente en el Sistema Arrecifal de Tuxpan, Veracruz concuerdan con lo establecido por Cruz-Francisco *et al.* en 2017, así mismo, las establecidas en el Sistema Arrecifal Veracruzano por Zamora y Ortigosa, y con los datos proporcionados por Camacho *et al.* (2014),

donde se mencionan las familias encontradas en el Mar caribe. A diferencia de otros estudios realizados como los de Zamora y Ortigosa (2012), donde se incluye una mayor diversidad de especies y familias. En el Banco de Campeche, situado al suroeste del Golfo de México y noroeste de la Península de Yucatán la familia más abundante que reportada por Ortigosa *et al.*, en 2013 fue Aplysiida, en este trabajo los hábitats estudiados aquí incluyen dos áreas diferentes, lagunas y arrecifes.

En este documento se optó por realizarlo sólo con las ordenes, Aplysiida y Cephalaspidea, debido a que el área de estudio es muy amplia en comparación de otros trabajos realizados. En los mapas obtenidos se puede observar que existe gran abundancia de Heterobranquios en el Golfo de México y Mar Caribe, por lo que esto contribuye al conocimiento y se da la iniciativa para continuar con las investigaciones, donde se incluya una mayor diversidad de organismos.

Conclusión

Se ubicaron geográficamente un total de 4410 avistamientos de Heterobranquios en el Golfo de México y Mar Caribe, de los cuales el orden Cephalaspidea tuvo un mayor número de ocurrencias con 3795, comparado con el orden Aplysiida con 615 ocurrencias. Del orden Cephalaspidea, las familias que tuvieron un mayor número de ocurrencias fueron Haminoeidae con 938, Bullidae con 657 y Tornatinidae con 594. Se observó que 12 de las 18 familias del orden Cephalaspidea presentan una distribución agregada mientras que los registros de las 6 familias restantes muestran una distribución uniforme en el Golfo de México y el Mar Caribe. Del orden Aplysiida, la familia con mayor número de avistamientos fue Aplysidae con 604, misma que presentó una distribución uniforme, contraria a la familia Akeridae, la cual presenta una distribución agregada. Como se puede observar en los mapas la mayor ocurrencia tanto del orden Cephalaspidea como del orden Aplysiida se encontró en la línea de costa tanto de las islas como del continente, cabe mencionar que las ocurrencias establecidas en el presente documento son recopiladas de la base de datos perteneciente a Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y que los esfuerzos de muestreo realizados determinan la incidencia de registros en ciertas zonas o de cierto organismo. Además, al contrastar los registros en el GBIF con la literatura, los avistamientos coinciden con lo reportado, por lo tanto, se concluye que este tipo de plataformas proveen datos confiables para la elaboración de mapas de distribución de especies. Finalmente, se sugiere realizar más estudios sobre el grupo Heterobranchia, con la finalidad de tener datos faunísticos actualizados para la toma de acciones de manejo y protección de vida silvestre.

Referencias

- Bouchet, P., Rocroi, J.P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M. y Strong, E.E. (2017). Clasificación revisada, nomenclador y tipificación de familias de gastrópodos y monoplacoforanos. *Malacologia* 61 (1-2): 1-526.
- Camacho, Gosliner y Valdez. (2005) Guía de campo de las babosas marinas del pacífico este tropical. California Academy of sciences. 8 p.
- Camacho, Y., Pola, M., Carmona, L., Padula, V., Villani, G., & Cervera, J. (2014) Diversity and distribution of the heterobranch sea slug fauna on the Caribbean of Costa Rica. *Cah. Biol. Mar.* 55: 109-127.
- Cruz-Francisco, Ortigosa, & González. (2017) Primeros registros de babosas marinas (Gastropoda: Heterobranchia) del Sistema Arrecifal Tuxpan, México, con ampliaciones de ámbito de distribución. *Biodiversity and Natural History* 3(1): 15-23.
- Espinosa-Organista, D., Morrone, J. J., Llorente-Bousquets, J., y Flores Villela, O. (s.f.). Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica.
- Fernández Pizarro, M. (2021-06-25.). Diversidad de opistobranquios (Mollusca: Gastropoda) del mar caribe colombiano: lista actualizada y perspectiva de futuras investigaciones. Facultad de Ciencias Básicas.
- Global Biodiversity Information Facility (01 de octubre de 2019). Ocurrencias. <https://www.gbif.org/occurrence/search>
- Gosliner, T. M. (1992). Biodiversity of tropical opisthobranch gastropod faunas. 702-709 in R. Richmond, ed., *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium*, Guam, Vol. 2. University of Guam Press, Mangilao.
- Grande, C., Templado, J., Cervera, L., Zardoya, R. (2004) Phylogenetic relationships among Opisthobranchia (Mollusca: Gastropoda) based on mitochondrial cox 1, trnV, and rrnL genes *Molecular Phylogenetics and Evolution* 33: 378-388
- Grune Löffler, S., Crescini, R., de Sisto, M., Velasquez, M., & Villalba, W. (2014). Opistobranquios del Parque Nacional Laguna de La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela.
- Guisan, A. y Zimmermann. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Lacoste, A. y Salanon, R. (1973). *Biogeografía*. Oikos-tau, S. A. Ediciones, Barcelona.
- Mikkelsen, P. M. (2002). Shelled opisthobranchs *Advances in Marine Biology* 42 [Molluscan Radiation Lesser Known Branches, A. J. Southward, ed.]: 67-136
- Ortea, J., & Buske, Y. (2018). Lista inicial ilustrada de las babosas marinas (Heterobranquios) de la expedición Madibenthos, realizada en 2016 en Martinica (Antillas Menores, mar Caribe). *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, 30, 67-102.

- Ortigosa-Gutiérrez J.D., Simões, N. y Calado, G. (2010). Gasterópodos opistobranquios. 2pp. In: Durán R. & M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp.
- Ortigosa, D., Simoes, N. y Calado, G. (2013). Seaslugs (Mollusca: Opisthobranchia) del Banco de Campeche, Península de Yucatán, México. *Thalassas* , 29 (1), 59-75.
- Pielou, E. C. (1977). *Mathematical ecology*. Wiley, New York. 385 p.
- Thompson, T.E. (1976) *Biology of Opisthobranch Molluscs*. Vol 1. Ray Society, London. 206 pp.
- Wägele, H., Klussmann-Kolb, A., (2005). Opisthobranchia (Mollusca, Gastropoda) - more than just slimy slugs. Shell reduction and its implications on defense and foraging, *Frontiers in Zoology*, 2: 1-18.
- Zamora, A. & Ortigosa, D. (2012), Nuevos registros de opistobranquios en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 359-369.

Partículas suspendidas en la cuenca baja del Río Jamapa, Veracruz

EYDDY PÉREZ LUGO¹, FABIOLA LANGO REYNOSO², DAVID SALAS MONREAL³, MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ⁴

Resumen

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) se encuentra expuesto a las descargas del Río Jamapa, el cual se localiza en el centro de la poligonal, representando un aporte de aproximadamente $1,670 \times 10^6$ m³ anuales. El objetivo de esta investigación consistió en determinar el impacto que genera la descarga del Río Jamapa sobre el PNSAV, a la cual se le atribuye la ausencia de arrecifes en la parte media de esta área natural protegida, debido al aporte de sólidos suspendidos. Se midieron los Sólidos Suspendidos Totales (SST) durante las tres temporadas estacionales presentes en la región (lluvias, nortes y estiaje) y el patrón de corrientes se obtuvo *in situ*. La recolección de muestras se realizó en 16 puntos de la desembocadura del Río Jamapa, Ver. Para el análisis de partículas suspendidas se trasladaron las muestras al laboratorio LIRA donde se analizaron mediante la NMX-034-SCFI-2015. El análisis estadístico se efectuó empleando Statistic mediante un ANOVA y un análisis de correlación entre los parámetros evaluados. Se comparo la variable evaluada en los puntos de muestreo con reportes en el Río Jamapa y cuerpos de agua cercanos como el Arroyo Moreno, el Estero de la Isla del Amor y las aguas marinas del PNSAV.

Palabras clave: descargas continentales, solidos suspendidos, eutrofización, productividad primaria.

Abstract

The Veracruz Reef System National Park (PNSAV) is exposed to discharges from the Jamapa River, which is located in the center of the traverse, representing a contribution of approximately $1,670 \times 10^6$ m³ per year. The objective of this research was to determine the impact generated by the discharge of the Jamapa River on the PNSAV, to which the absence of reefs in the middle part of this protected natural area is attributed, due to the contribution of suspended solids. Total Suspended

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (TecNM/ITBoca). Km 12 carretera Veracruz-Cordoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (TecNM/ITBoca). Km 12 carretera Veracruz-Cordoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.
fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx

³ Universidad Veracruzana/ Instituto de Ecología y Pesquerías (UV/ICIMAP) Miguel Hidalgo 617, Río Jamapa, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (TecNM/ITBoca). Km 12 carretera Veracruz-Cordoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.

Solids (TSS) were measured during the three seasons present in the region (rainy, north and dry) and the current pattern was obtained in situ. Samples were collected at 16 points at the mouth of the Jamapa River, Veracruz. For the analysis of suspended particles, the samples were taken to the LIRA laboratory where they were analyzed using NMX-034-SCFI-2015. The statistical analysis was carried out using Statistic through an ANOVA and a correlation analysis between the parameters evaluated. The variable evaluated at the sampling points was compared with reports in the Jamapa River and nearby bodies of water such as the Arroyo Moreno, the Estero de la Isla del Amor and the marine waters of the PNSAV.

Keywords: continental discharges, suspended solids, eutrophication, primary productivity.

Introducción

Los diferentes ambientes que conforman la zona costera son considerados como zonas de transición, ya que unen hábitats terrestres, dulceacuícolas y marinos que proporcionan funciones ecológicas importantes que incluyen la descomposición, reciclamiento y producción de nutrientes; regulando de esta forma los flujos de nutrientes, agua, partículas suspendidas y organismos de la tierra al océano y viceversa (Levin *et al.*, 2001). Algunos de los problemas de contaminación del agua tanto marina como dulce, son los aportes continuos de efluentes municipales, industriales y agrícolas, que afectan la calidad de este recurso en los ecosistemas acuáticos. La extracción excesiva del vital líquido para una mayor producción agrícola ocasiona erosión, salinización, agotamiento de acuíferos, agotamiento de nutrientes e intrusión de aguas marinas (Evaluación exhaustiva del Agua en Agricultura, 2007).

Las descargas de ríos y las aguas municipales e industriales en zonas costeras, se traducen en un ingreso de materia orgánica tanto disuelta como particulada (Hopkinson *et al.*, 1998). La utilización de esta materia orgánica en los sistemas acuáticos, está altamente relacionada con las bacterias y en algunos casos exceden a la productividad de la comunidad fitoplanctónica (del Giorgio *et al.*, 1997). El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un ecosistema formado por arrecifes e islas, donde hay variabilidades climáticas y descargas terrígenas de tres ríos cuyas plumas son modificadas en magnitud y dirección por las corrientes marinas, de la misma manera los parámetros hidrográficos de las aguas adyacentes a las descargas de ríos son influidos para generar gradientes de densidad, temperatura y salinidad (Robles, 2013). El PNSAV es uno de los pocos parques marinos de México y el mundo expuesto a efectos locales tan fuerte, tales como las descargas del Río Jamapa, el cual descarga $1,670 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ (Pemex, 1987), con grandes volúmenes de sedimentos los cuales no han sido aún cuantificados.

El Río Jamapa enfrenta serios problemas de contaminación, principalmente microbiológica, debido a las descargas municipales sin tratar o tiramientos deficientes de muchas localidades ubicadas a lo largo de su cauce (Palomarez, 2010). Aunque los arrecifes de coral se desarrollan a pesar de todas se desarrollan a pesar de todas las afectaciones naturales negativas y los impactos humanos, es importante entender como que los solidos suspendidos afectan las colonias de coral y esto tienen una relación con otros factores fisicoquímicos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La cuenca del Río Jamapa se encuentra ubicada entre los 18° 45' y 19° 14' latitud norte, y entre 95° 56' y 97° 17' longitud oeste (Conagua, 2005). Tiene un área aproximada de 3,912 km², distribuida totalmente dentro del estado de Veracruz. Nace a una elevación de 5,700 m en una zona limítrofe de los estados de Puebla y Veracruz (Florescano y Ortiz, 2010), producto del descongelamiento de un glaciar perteneciente al Pico de Orizaba. Esta cuenca hidrográfica pertenece a la Región hidrológica 28 Papaloapan de acuerdo a Florescano y Ortiz (2010). El río Jamapa está formado por dos ríos muy importantes, que en su confluencia se conocen como Cotaxtla y Jamapa. Fluye hacia el norte en terrenos planos cultivados, formando meandros y se desvía hacia el oriente donde fluye por el margen izquierdo del Arroyo Moreno y al margen derecho de la Laguna de Mandinga (*Figura 1*). Desembocando finalmente en el Golfo de México, en el municipio de Boca del Río, Veracruz (Florescano y Ortiz, 2010).



Figura 1. Cuenca del río Jamapa (izquierda) (Florescano y Ortiz, 2010), zona de estudio (derecha).

Muestreo en campo

Se obtuvieron muestras de agua en 16 estaciones, localizadas en la desembocadura del Río Jamapa (*Figura 2*). Dichas estaciones han sido seleccionadas de la siguiente manera, 6 de ellas se localizan en la “frontera” del sistema, es decir en el límite del área de estudio, 3 en las zonas de mezcla, donde el agua del Río Jamapa se mezcla con el agua de Arroyo Moreno, del estero de Isla del Amor o con aguas marinas del PNSAV y los 7 restantes están distribuidas dentro

del área de estudio. Los muestreos se realizaron durante las tres temporadas existentes en el PNSAV, lluvias, frentes fríos y estiaje (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008) con la finalidad de determinar la variación temporal de las variables medidas en la zona de estudio.

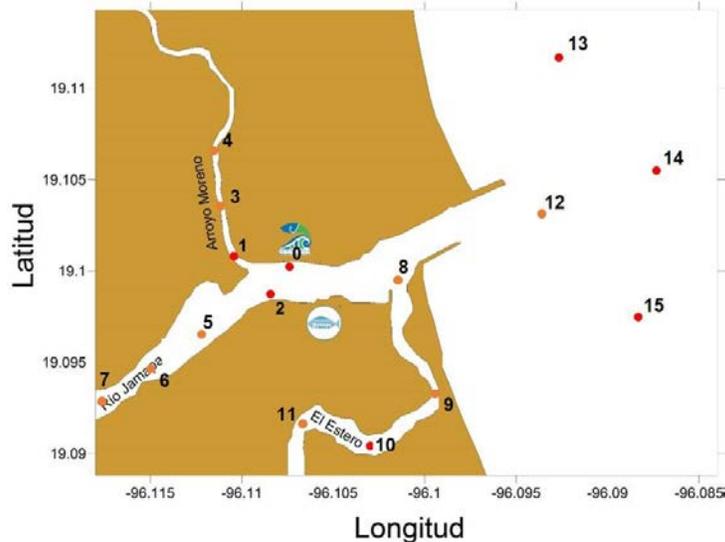


Figura 2. Estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Jamapa; Veracruz; México.

Recolección de muestras de Sólidos Suspendedos Totales (SST). Utilizando una botella de Van Dorn marca WILDSCO con capacidad de 2.2 litros se tomaron las muestras en la columna de agua desde la embarcación, obteniendo las muestras a dos profundidades, superficie (0.5 m de profundidad) y fondo (0.5 m del suelo marino), las muestras fueron colocadas en envases de plástico transparente de boca ancha, cierre hermético y con capacidad de 1L, preservando las muestras en una nevera con hielo para mantenerlas a una temperatura $<4^{\circ}\text{C}$ durante la transportación al Laboratorio Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA).

Patrón de corriente. Se utilizó un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP por sus siglas en inglés), Workhorse de marca RD instruments (RDI) de 300-kHz para medir la magnitud y dirección de las corrientes. El equipo fue instalado en la parte inferior de una embarcación a 0.5 m bajo la superficie de agua y se configuró para que registrara los datos cada 0.5 m por debajo del instrumento. El primer dato se obtuvo a los 0.5 m de distancia del equipo con la finalidad de evitar la interferencia con las burbujas de aire. A esta distancia se le conoce como distancia de blanqueo y su función es disminuir el ruido provocado por el movimiento de la embarcación, la cual navegó a 2 m s^{-1} con el fin de optimizar la toma de datos con el ADCP.

Los datos del patrón de corrientes se geoposicionaron con un GPS Garmin Map 60 CSX con una resolución de 50 cm, el cual fue conectado a la computadora y sincronizado con el ADCP. La frecuencia del ADCP fue promediada cada segundo, y las velocidades divididas en dos componentes principales: u (zonal, eje x) y v (meridional, eje y) (Robles, 2013).

El análisis estadístico se realizó empleando el software Statistic, se aplicó un ANOVA (Análisis de Varianza) de un sólo factor para cada una de las variables evaluadas, para el contraste de los datos se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se realizó un ANOVA de dos factores: estaciones y puntos; igualmente un ANOVA de dos factores: estaciones y profundidad.. Los gráficos se realizaron en el Software Surfer 8.

Resultados y Discusión

Los 16 puntos de muestreo se distribuyeron en la desembocadura del Río Jamapa próximo a la plataforma continental del Golfo de México. Se identificaron cuatro zonas en el área de estudio: la zona del Río Jamapa, la zona de mezcla del Arroyo Moreno con el Río Jamapa, la zona de mezcla del Estero de la Isla del Amor con el agua del Río Jamapa, y la zona de mezcla de aguas marinas del PNSAV con el agua del Río Jamapa (Figura 2).

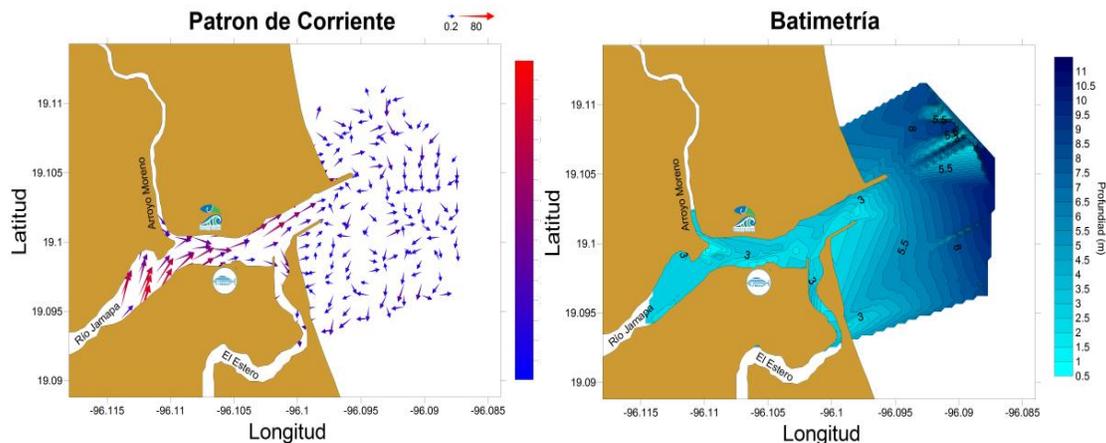


Figura 3. Patrón de corrientes y batimetría del área de estudio agosto 2016.

Para las zonas identificables en el área de estudio se obtuvieron variaciones entre los Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las tres estaciones temporales imperantes en el área de estudio. Se muestran las variaciones de las variables entre cada uno de los puntos y estaciones en los gráficos siguientes.

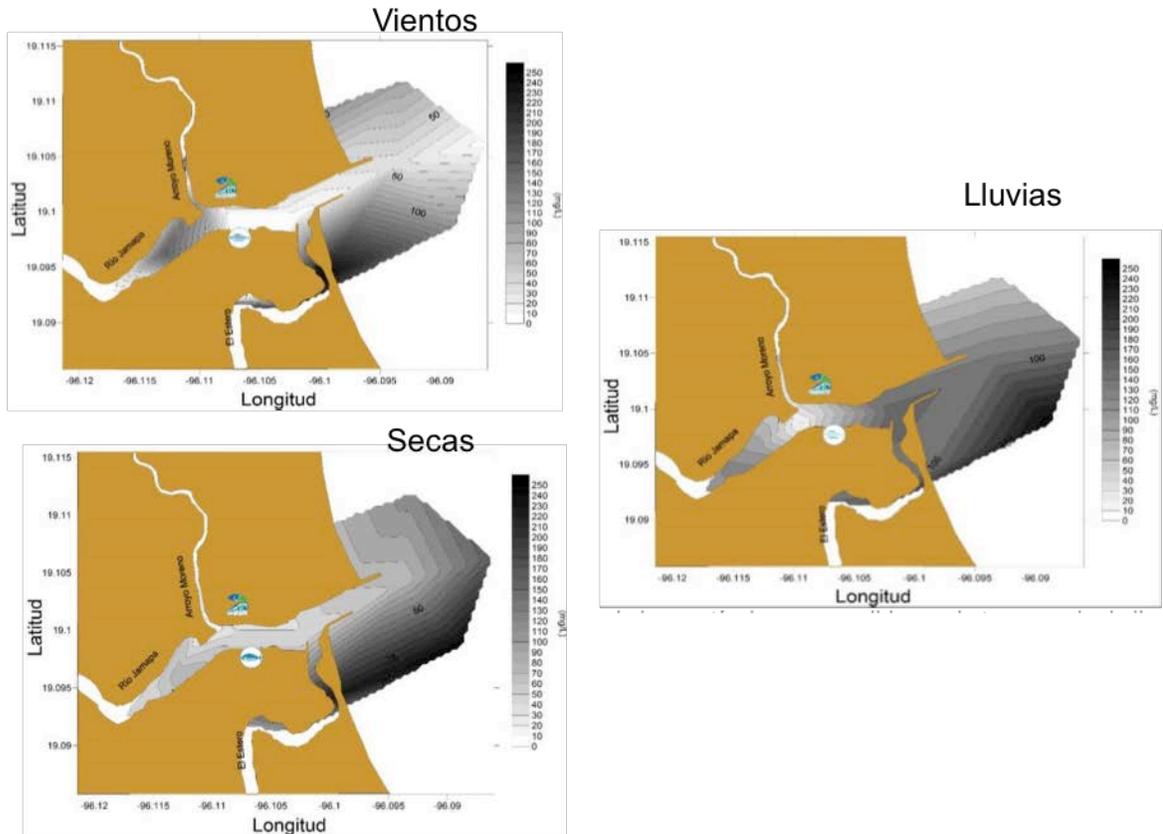


Figura 4. Comportamiento de las Sólidos Suspendedos Totales (SST) en las tres temporadas viento, secas y lluvias, en agosto 2016.

Para la variación de SST (Sólidos Suspendedos Totales) en los 16 puntos evaluados, se realizó un ANOVA de un sólo factor. Las partículas suspendidas presentaron diferencias significativas entre cada punto ($p < 0.05$), se empleó la prueba de Tukey. Se observa el siguiente patrón de manera descendente para los puntos: $10 > 11 > 16 > 6 > 14 > 5 > 15 > 13 > 12 > 7 > 9 > 2 > 3 > 8 > 1 > 4$. Los tres valores mayores se encuentran en puntos localizados en zonas de mezcla: punto 10 y punto 11 en el estero de Isla del Amor y punto 16 en la desembocadura del Río Jamapa entre la zona de mezcla con el agua marina del PNSAV (*Grafico 3*).

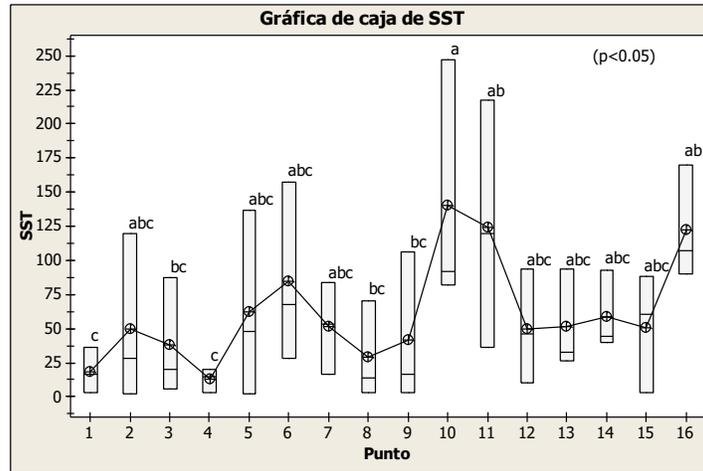


Figura 5. Variación de Sólidos suspendidos Totales (SST) en los puntos de muestreo mediante ANOVA de un solo factor. Letras distintas indican diferencias significativas para la prueba de Tukey (nivel de Significancia $p < 0.05$). Valores de SST en mgL^{-1} .

Para SST (Sólidos Suspendidos Totales) en puntos evaluados y estaciones, se realizó un ANOVA de dos factores. Las partículas suspendidas presentaron una variación entre cada una de las estaciones y puntos ($p < 0.05$). Se observa una variación entre cada uno de los puntos por estaciones; por puntos no existen grandes diferencias entre sí, en forma general el volumen de partículas suspendidas se expresa de manera descendente: estiaje > lluvias > vientos (*Grafico 7*).

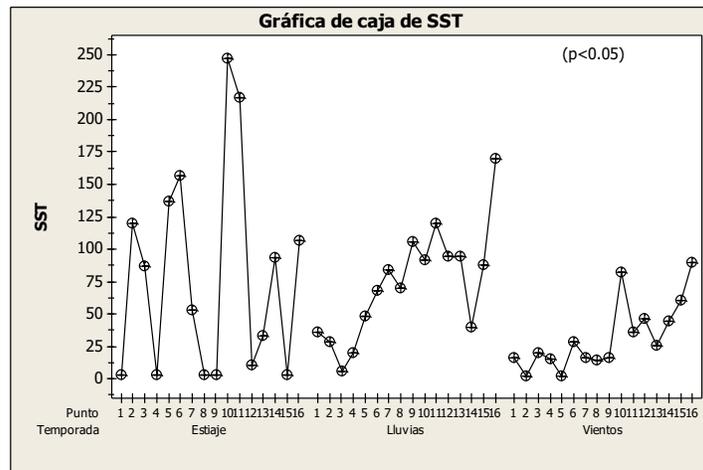


Figura 6. Sólidos Suspendidos Totales (SST) mediante ANOVA de dos facs: puntos evaluados y estaciones (nivel de significancia para interacción entre dos factores $p < 0.005$). Valores de SST en mgL^{-1} .

La correlación entre SST y puntos presentó un valor bajo, la interrelación entre ambos factores se cataloga deficiente ($R^2 = 0.0922$) ($p < 0.05$) (*Grafico 12*).

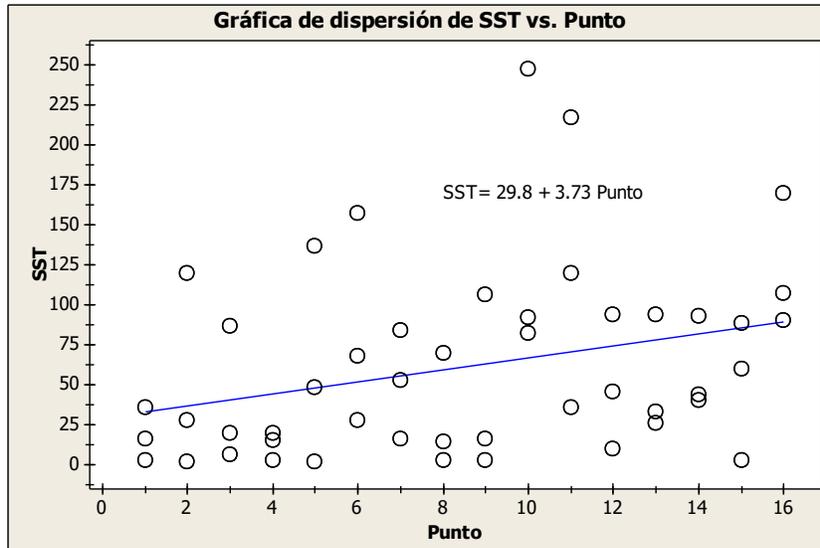


Figura 7 Correlación entre Sólidos Suspendedos Totales (SST) y los puntos evaluados. Valores de SST en mgL⁻¹, R²=0.0922 (nivel de significancia p<0.05).

La interacción entre valores medios de partículas suspendidas para estaciones y puntos presentó: estiaje>lluvias>vientos (*Grafico 15*).

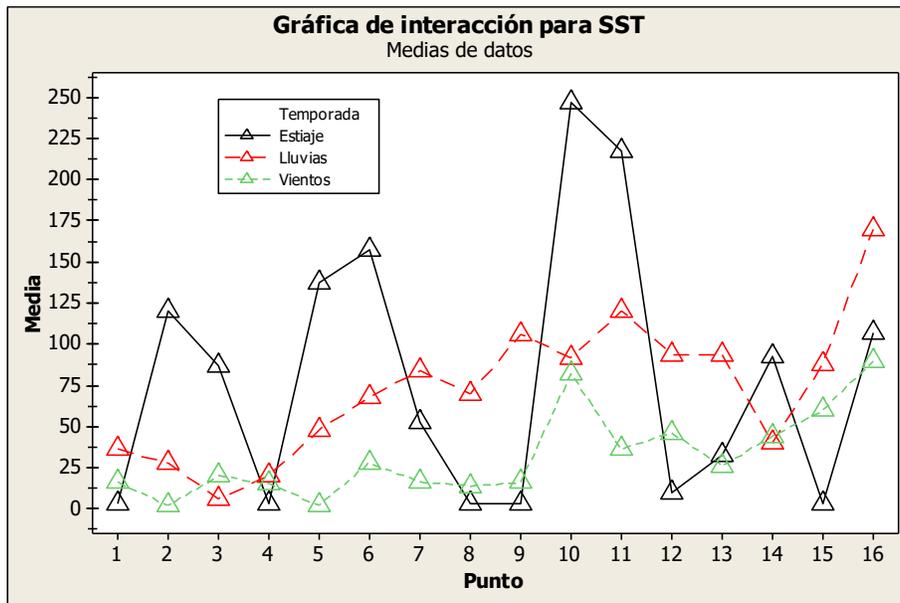


Figura 8. Interacción para Sólidos Suspendedos Totales (SST) en puntos evaluados y temporadas. Valores SST en mgL⁻¹.

Se muestran en la figura los efectos principales para la variación en general de los Sólidos Suspendedos Totales (SST) en puntos evaluados y estaciones. Para la variación de partículas suspendidas se observa un patrón en forma descendente por estaciones: estiaje>lluvias>vientos, y por puntos en forma descendente: 10>11>16>6>5>14>15>13>7>12>2>9>3>8>1>4. Los mayores volúmenes de

partículas suspendidas se obtuvieron en la zona de mezcla del Río Jamapa con el agua del estero de Isla del Amor (punto 10 y punto 11), zona de mezcla del Río Jamapa con aguas marinas del PNSAV (punto 16), Río Jamapa (punto 6) (*Grafico 18*).

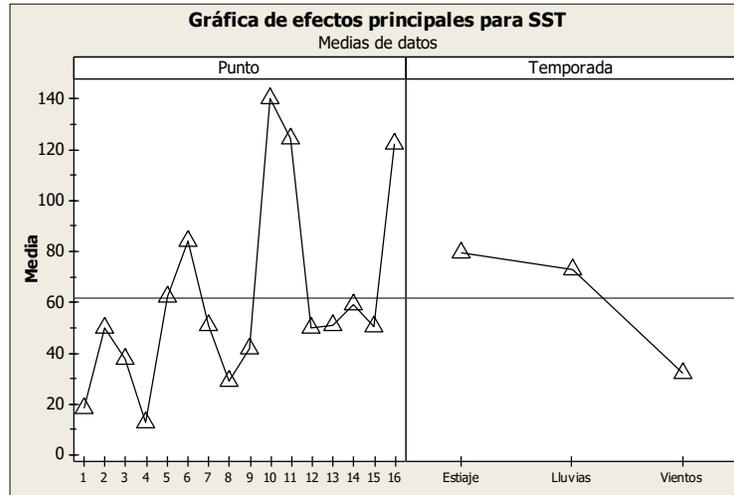


Figura 9. Efectos principales para Sólidos Suspendidos Totales (SST) en puntos evaluados y temporadas. Valores SST en mgL⁻¹.

El Río Jamapa aporta una diversa gama de sustancias nutritivas y contaminantes al mar y en consecuencia al PNSAV, encontrándose las partículas suspendidas, salinidad, en la zona de transición como sucede con la desembocadura del río en cuestión y en el PNSAV (Celis-Hernández et al., 2017; Salas-Monreal et al., 2018). Dada la ubicación del Río Jamapa, se reconoce que ejerce una influencia al PNSAV en función de sustancias que limitan el crecimiento del sistema arrecifal en cuestión (Carreón-Palau et al., 2018), causante de impactos como las enfermedades coralinas (Rivera-Ortega, 2015).

Los mayores volúmenes de partículas suspendidas correspondieron a la zona del estero de la Isla del Amor. Ambas variables involucradas en zonas de actividades antropogénicas como son el Arrollo Moreno y el estero de la Isla del Amor con impactos al agua, dirigidos al Río Jamapa y PNSAV como sitios finales (Pérez-Ruiz et al., 2011; Valenzuela et al., 2018). Las concentraciones de las partículas suspendidas (SST), el valor promedio obtenido (61.52 ± 56.98 en mg L⁻¹) supera un valor máximo en el Río Jamapa (22.77 en mg L⁻¹) (Palomarez, 2010).

El patrón de corrientes en el PNSAV responde a las estaciones, al presentarse en invierno una tendencia de corrientes del Río Jamapa hacia el sur en dirección a la zona sur ubicada en Antón Lizardo y en verano una tendencia hacia el norte en dirección a la zona norte ubicada en Boca del Río (Avendaño-Álvarez, 2013; Riverón-Enzástiga et al., 2016). Complementando lo mencionado, se puede describir el patrón de corrientes reportado por Ramírez-Macías et al. (2018) originados por actividades de dragado en el Nuevo Puerto de Veracruz.

Los valores obtenidos de las variables evaluadas en el presente estudio se encontraron en condiciones similares a López-Hernández et al. (2015) en el Sistema Lagunar de Mandinga, humedal enlazado al Río Jamapa mediante el estero de la Isla del Amor.

Conclusion

El papel del Río Jamapa destaca al contemplar los aportes en su desembocadura en Boca del Río y la cercanía al PNSAV (Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano) en interpretación de impactos positivos y negativos mediante nutrientes y contaminantes.

El patrón de corrientes de la desembocadura del Río Jamapa responde a las variaciones que ejercen las tres temporadas estacionales imperantes.

El presente estudio es de los primeros en presentar el rol ejercido por la contaminación en el Río Jamapa en un enfoque hidrográfico y de efectos por el patrón de corrientes en la descarga del Río Jamapa.

Se presentaron diferencias significativas en las partículas suspendidas entre las tres temporadas (estiaje, lluvias y vientos). Obteniéndose en general las mayores variaciones temporales en estiaje.

Los volúmenes de partículas suspendidas presentaron diferencias significativas entre cada uno de los puntos de muestreo, correspondiendo las dos mayores concentraciones entre los puntos ubicados en la zona de mezcla del estero de Isla del Amor.

La cuantificación de partículas suspendidas destaca por los valores mayores en las zonas de mezcla: para los puntos 10 y 11 en la zona de mezcla con el estero de Isla del Amor y el punto 16 en la desembocadura del Río Jamapa entre la zona de mezcla con el agua marina del PNSAV en las tres temporadas estacionales: estiaje, lluvias y vientos.

El hecho de evaluar variables, en particular de partículas suspendidas, salinidad, temperatura, entre otras, recae en las afectaciones que pueden provocar a un ecosistema marino como sucede con el PNSAV, siendo un sistema arrecifal con requerimientos muy particulares para su subsistencia y encontrándose las variables evaluadas entre los factores que pueden alterarlo.

Por lo mencionado en la literatura existente y lo analizado en el presente estudio, el PNSAV es un sistema arrecifal con una resiliencia considerable al presentar una relación estrecha con un puerto marino (Puerto de Veracruz), un río que lo impacta directamente (Río Jamapa) y una zona conurbada con un alto crecimiento demográfico (Zona Conurbada Veracruz-Boca del Río-Medellín de Bravo).

Entre el Río Jamapa y PNSAV existe la relación entre el río en cuestión que separa al sistema arrecifal en dos grupos arrecifales (grupo norte y grupo sur), observándose en la parte central de la poligonal del sistema arrecifal, la no existencia de arrecifes por las condiciones no tan favorables para la existencia de

arrecifes coralinos.

La variabilidad de partículas suspendidas cuantificables deriva tanto de fuentes naturales y antrópicas en la región de la cuenca baja del Río Jamapa y la costa, dado que se considera al mar el receptáculo final de toda actividad económica y natural.

Así mismo, la variación de la salinidad en el PNSAV en una perspectiva regional es influenciada principalmente por la desembocadura de tres ríos: Río La Antigua al norte, Río Papaloapan al sur y Río Jamapa al centro. En la zona de estudio, se corresponde la influencia principal por el Río Jamapa y en menor medida por cuerpos de agua como el Río Grande, arroyo Giote, entre otros.

El hecho de evaluar el estuario del Río Jamapa es por la influencia que pueden provocar las actividades desarrolladas en la cuenca alta y media del Río Jamapa, y lo que el crecimiento demográfico y las descargas de contaminantes en toda la cuenca pueden afectar al estuario y por consiguiente a sus servicios ambientales.

LOS ACUÍFEROS COSTEROS E INSULARES DEL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO. UN DETERMINANTE ECOLÓGICO IGNORADO.

VIRGILIO ARENAS FUENTES¹, ALEJANDRO MUÑOZ ALDAPE²

Resumen

El propósito de este artículo es mostrar la importancia de identificar los parámetros de relevantes de los acuíferos costeros y los insulares asociados al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Durante los dos últimos años se ha venido estudiando las características hidrodinámicas del SAV con el objeto de identificar la mejor ubicación de módulos de arrecifes artificiales tipo Reef Balls. Por ello, ha resultado importante evaluar la interacción agua-sedimento donde los aportes de los acuíferos costeros tienen relevancia. En el proceso evaluativo se analizó la presencia de acuíferos insulares formados por agua meteórica, acumulada durante el periodo de lluvias y la importancia del acuífero costero del río Jamapa-Cotaxtla. La información internacional que se revisa muestra que estos procesos son muy relevantes para la ecología, la evolución, la condición ambiental de los arrecifes costeros.

Palabras clave: Arrecifes de coral, Acuíferos Costeros, Coastal Aquifers, Submarine Groundwater Discharge.

Abstract

The purpose of this article is to show the importance of identifying the relevant parameters of the coastal and insular aquifers associated with the Veracruz Reef System (SAV). During the last two years, the hydrodynamic characteristics of the SAV have been studied in order to identify the best location for Reef Balls-type artificial reef modules. For this reason, it has been important to evaluate the water-sediment interaction where the contributions of the coastal aquifers are relevant. In the evaluation process, the presence of insular aquifers formed by meteoric water, accumulated during the rainy season, and the importance of the coastal aquifer of the Jamapa-Cotaxtla river were analyzed. The international information reviewed shows that these processes are highly relevant to the ecology, evolution, and environmental condition of coastal reefs.

Keywords: Coral reefs, Coastal Aquifers, Coastal Aquifers, Submarine Groundwater Discharge.

¹ Universidad Veracruzana. Av Hidalgo no 616. C:P 94294. Boca del Río, Veracruz. varenas@uv.mx

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Km 12 Carretera Veracruz-Córdoba, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz.

Introducción

En las zonas costeras, como las zonas urbanas de Veracruz-Boca del Río-Alvarado, la descarga de agua subterránea (SGD por sus siglas en inglés) en el fondo marino, derivado de los Acuíferos Costeros (AC) que tienen un nivel freático superior al nivel relativo del mar. Ocurre de una manera compleja ya que obedece a determinantes que interactúan; la presión hidráulica depende para expresarse aportando agua y sus contenidos en el fondo del mar adyacente, del nivel del campo freático y de la geología subterránea; en consecuencia es influenciada por las mareas, las tormentas y huracanes; la modificación del contexto por obras y actividades, como rompientes, etc. alteran, promoviendo o disminuyendo estos aportes. La calidad de los aportes SGD difieren substancialmente en sus contenidos de aquellos volúmenes aportados por los ríos en sus estuarios ya que recogen lo que se filtra de las cuencas cuando son usadas para riego, cultivos, etc. En las ciudades costeras la calidad del agua es determinante de la calidad del agua SGD. La ubicación de los sitios de descarga, la cuantía y calidad, la dirección del flujo (Urish y McKenna, 2004). Una revisión del tema a nivel mundial ha sido elaborada por Metcalif (2020).

Sobre la importancia en ecosistemas arrecifales se han publicado artículos que evalúan metodologías y resultados en diversas partes del mundo, Blanco et al. (2011) revisan el tema en arrecifes coralinos bordeantes en Okinawa, Japón. Las metodologías a emplear para evaluar SGD y su importancia son datos de salinidad, radioactivos naturales, métodos de GPR que permiten evaluar la extensión y naturaleza de los AC. El tema de la SGD y los acuíferos costeros ha sido revisado recientemente (Taniguchi M. et al. 2019) en cuanto a metodologías de evaluación, elementos geofísicos y geoquímicos determinantes y las magnitudes del proceso a nivel mundial. Destacan la información sobre estos flujos en las zonas arrecifales de la Gran Barrera Australiana. Recientemente se ha prestado mayor atención al tema debido a su magnitud y relevancia en el ciclo del carbono. La combinación de métodos provee una mayor información considerando distintos tipos de fondos y sedimentos.

Materiales y Métodos

En nuestro estudio se realizaron mediciones con ADCP y CTD en toda la columna de agua en estaciones oceanográficas a lo largo de SAV durante un periodo de dos años; se puso énfasis en las mediciones cercanas al fondo; se hicieron mediciones de Oxígeno Disuelto y N. Se diseñó y plantó un Seepage Meter, medidor de flujo procedente del piso marino en las cercanías del Manglar de Isla Verde. Se realizaron mediciones de variación con MiniCTDs en periodos de varios días, cada 15 minutos, en dos localidades selectas donde se ubican los Reef Balls en la etapa inicial. Se ubicaron estos MiniCTDs (Star-ODDI) inmediatamente sobre el fondo y a 80 cm del mismo. Los procesos analíticos son aún iniciales.

Aquí, en esta presentación, se hace énfasis en las metodologías que se emplean a nivel internacional para la detección, evaluación y muestreo de SGD para subrayar su importancia; y, se presenta la propuesta de un Crucero de Investigación a realizarse en el 2022 en el Sur del Golfo de México a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM.

Tomando en consideración los objetivos de esta propuesta debe referirse al ejercicio de comparación metodológico para evaluar SGD y Acuíferos costeros mediante isotopos, geofísica y geoquímica llevado a cabo por la IAEA- UNESCO en los Arrecifes de la Isla Mauricio en el Océano Índico (Povinec et al 2012). El uso de UAV con sensores multi-espectro e infrarrojo permite localizar evidencias de SGD desde la superficie.

La instrumentación geo-eléctrica (Goelectric-Streamer) consiste en un conjunto de electrodos arrastrados que estiman la conductividad eléctrica de las aguas del subsuelo (Manheim et al 2004) y que permiten determinar la salinidad, profundidad, extensión y volumen de los acuíferos. Se usa en combinación con el Multibeam, de la ecosonda de penetración TOPAS PS 18, para evaluar la estructura del subsuelo. El radón como radioactivo natural ha sido usado exitosamente para cuantificar los volúmenes de agua aportados, disueltos en el mar de acuerdo con la Web of Sciences, 2019, más del 40% de artículos sobre SGD (2015-2019) lo han empleado; la ventaja del radón es que permite mediciones cuantitativas automáticas, de los volúmenes incorporados al mar, y monitoreo de las variaciones en espacio y tiempo. El acoplamiento de esta técnica con mediciones de CO2 mostró ser efectiva en los arrecifes australianos (Santos et al 2012).

En este sentido es conveniente ilustrar con las figuras del texto de Makoto et al (2019) que muestra la interacción entre las técnicas de medición, los determinantes geofísicos a estudiar, las magnitudes y sus efectos.

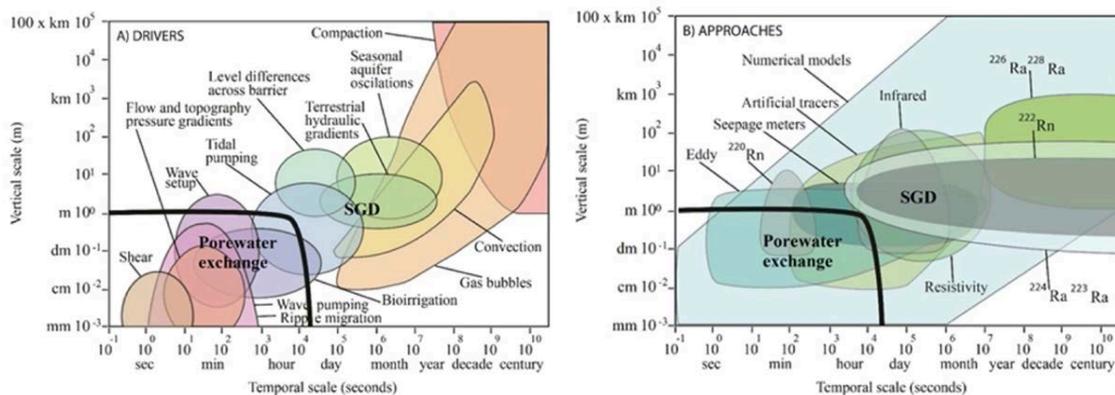


Figura 1. Tomado de Makoto et al (2019).

La revisión de Post et al (2011) sobre el fenómeno de la SGD es útil para considerar su importancia a nivel local se ilustra a continuación en la figura 1.

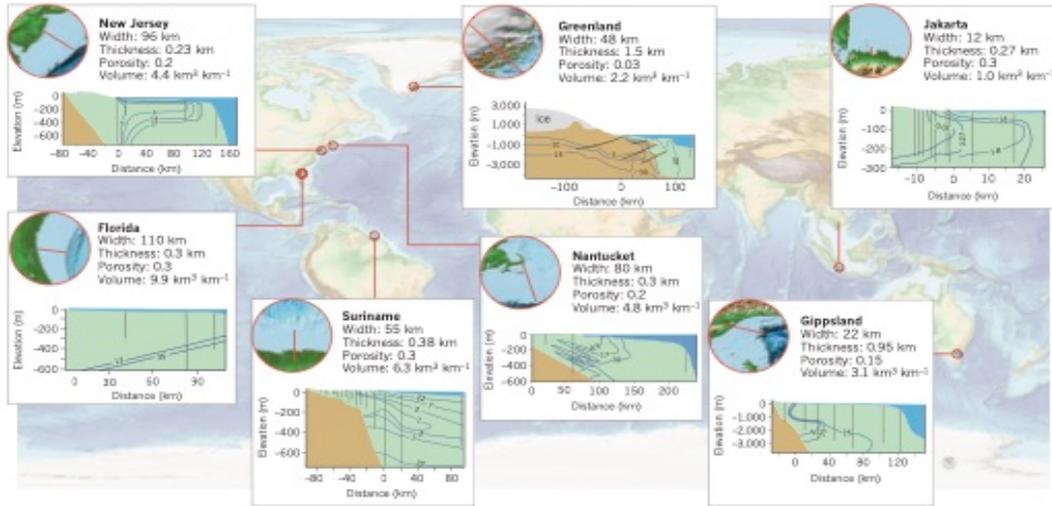


Figura 2. Revisión Global de las mediciones principales de acuíferos y su interacción en diversas partes del mundo. Tomado de Post *et al* (2013).

Resultados y Discusión

Arenas V *et al* (2020) presentaron en el GSA Annual Meeting 2020, una revisión sobre la interconectividad tierra-mar de los acuíferos costeros y su importancia para el origen y evolución de los arrecifes de coral. Kachadourian-Marras *et al*, en 2020 revisa de una manera global las aguas subterráneas en México y muestra la importancia de las zonas de descarga en el Sur del Golfo de México (recuadro Figura 1). Se presentan los resultados de Neri, 2019 (figura 3).

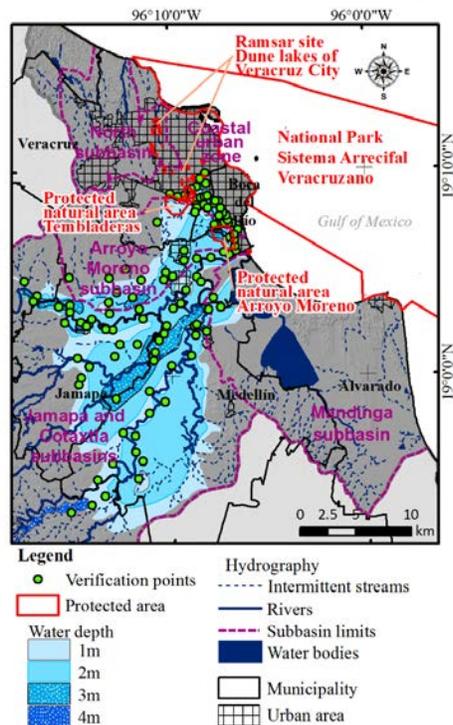


Figura 3. Se presentan las características del Acuífero de Rio Jamapa-Cotaxtla (Neri, 2019).

La zona del acuífero costero del Rio Jamapa-Cotaxtla que se forma en la zona conurbada Veracruz-Boca del Rio ha sido estudiada en detalle por Neri et al, 2019, con 31 piezómetros, mostrando que el nivel del manto freático sube estacionalmente un promedio de 1.3 m ocasionado inundaciones y flujos y manteniendo el remanente de las lagunas interdunarias en la zona conurbada. La información obtenida en el SAV mediante el monitoreo mensual con CTD muestra la presencia de SGD en el sistema Arrecifal Veracruzano. Sobresalen localidades donde aparentemente el proceso es mas extendido, en particular entre Isla de Sacrificios y la costa. En estas localidades están reportados sitios de “burbujeaderos” por los pescadores de la región, que corresponde a sitios donde el metano, gas, sale de los sedimentos debido a su generación por los procesos microbianos anaeróbicos. Esto se ilustra con el mapa de la figura 4.

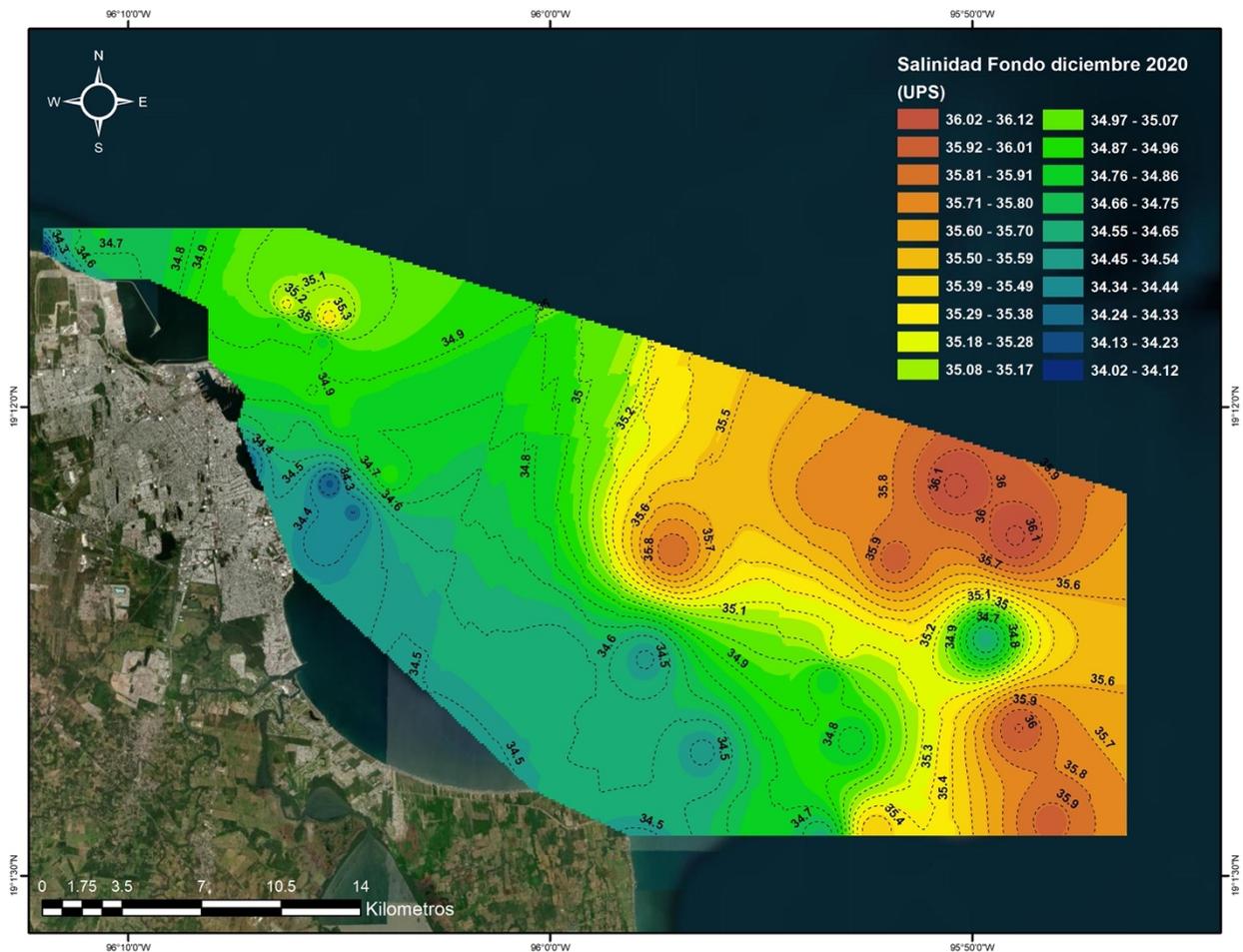


Figura 4. Se muestran los resultados de monitoreo de la salinidad del SAV.

Se han obtenido muestras de agua, mediante nucleadores especializados, en zonas de playa costera donde la disminución de la salinidad a menos de 20 cm es evidente. En diversos cayos y en particular en las islas del SAV es evidente la presencia de acuíferos locales procedentes de las aguas de lluvia.

En la superficie de la Isla Verde, donde se encuentra una zona de manglar, se ha identificado que el agua acumulada es salobre, es decir que su salinidad es menor a la marina, por lo tanto, pudiera haber una descarga que se extiende sobre la laguna arrecifal y resulta determinante de la ubicación y condición de los pastos marinos. De hecho, se considera que estos elementos del ecosistema son indicadores de la presencia de SGD. La condición de la laguna del manglar de Isla Verde se ve determinado diariamente por procesos naturales como mareas y oleaje pero también por el paso diario de barcos de carga que entran al puerto a través del canal de navegación. Hernández y Arenas (en prensa).



Figura 5. Fotografía de Dron de la Isla Verde donde se observa un limitado bosque de manglar y un escurrimiento de agua dulce en el extremo sur de la Isla (Hernández y Arenas).

Conclusión.

Las condiciones hidrográficas de las cuencas de Veracruz y en particular las del río Jamapa-Cotaxtla determinan la formación de un acuífero costero que contribuye con volúmenes de agua y sus contenidos mediante aportes subterráneos a determinar la ecología costera.

Los aportes varían en su ubicación, extensión y dinámica de acuerdo a los condiciones oceanográficas, la geología litoral y la transformación del hábitat urbano.

Estos aportes de SGD pueden contener cantidades significativas de nutrientes que pueden ser determinantes de centros de productividad.

Los aportes de SGD pueden contener también aportes de microbiológicos procedentes de aguas contaminadas urbanas.

Los aportes SGD pueden tener una importancia significativa en el contexto del flujo del CO₂ y ser relevantes en los parámetros del Cambio Climático y la condición de los arrecifes de coral.

El manejo del agua desde las cuencas hacia las zonas costeras adquiere un elemento significativo asociado a los flujos subterráneos al medio marino que aportan contaminantes de diversas índoles.

Referencias

- Arenas V et al 2020. Origin and evolution of Coral Reefs: Onshore and Offshore-Freshwater connectivity. GSA Annual Meeting Connects Online – 2020.CT161. Near-Shore and Offshore Freshwater Systems: Insights from Geological, Geophysical, Field, and Modeling Studies.
- Ariel C. Blanco et al, 2011. Estimation of nearshore groundwater discharge and its potential effects on a fringing coral reef. *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011) 770–785.
- Hernández J. L. y V. Arenas. Eds (En prensa). *Ecología y el Antropoceno en Isla Verde. Un elemento del Ecosistema Arrecifal Veracruzano*. Prensa UV.
- Kachadourian-Marras et al 2020. Characterization of surface evidence of groundwater flow Systems in Continental Mexico. *Water*. *Water* 2020, 12, 2459; doi:10.3390/12092459.
- Makoto Taniguchi, et al. 2019. Submarine Groundwater Discharge: Updates on Its Measurement Techniques, Geophysical Drivers, Magnitudes, and Effects. 2019. *Frontiers in Environmental Science*, *Frontiers*, 2019, 7, 10.3389/fenvs.2019.00141 . hal- 02307804.
- Micallef, A. et al. 2020. 3D characterisation and quantification of an offshore freshened groundwater system in the Canterbury Bight. *Nat. Commun.* 11, (2020).
- Neri-Flores, I. et al. 2019. Groundwater and river flooding: The importance of wetlands in coastal zones. *J. Coast. Res.* 2019, 92, 44–54.
- Post V. et al. 2013. Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. *Nature*. 504. DOI 10.1038.
- Povinec P. et al . 2012. Isotopic, geophysical and biogeochemical investigation of submarine groundwater discharge: IAEA-UNESCO intercomparison exercise at Mauritius Island. *Journal of Environmental Radioactivity* 104 (2012) 24e45.