TECNOLOGÍA
TECNOLOGÍA

INNOVACIÓN



TECNOLOGÍA

INNOVACIÓN

ENERGÍA

INNOVACIÓN TECNOLOGÍA

INNOVACIÓN

TECNOLOGÍA

ENERGÍA

INNOVACIÓN

INNOVACIÓN

TECNOLOGÍA

ENERGÍA

INNOVACIÓN

ENERGÍA

TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

ALCANCES DE ACCIONES SOSTENIBLES DE ENERGÍA TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DESARROLLO PRODUCTIVO REGIONAL EN MÉXICO

TECNOLOGÍA

TECNOLOGÍA

ENERGÍA

TECNOLOGÍA

INNOVACIÓN

ENERGÍA INNOVACIÓN

ENERGÍA

TECNOLOGÍA

INNOVACION

TECNOLOGÍA

INNOVACIÓN

ENERGÍA

ENERGÍA

ENERGÍA

INNOVACIÓN

TECNOLOGÍA

TECNOLOGÍA ENERGÍA

COORDINADORES

Lenin Martínez Pérez Jorge Rebollo Meza Domingo Román Guillén Rosario del Carmen Suárez Jiménez José Gilberto Torres Torres

Tecnología e Innovación. Alcances de acciones sostenibles de Energía, Tecnologías de la Información y Desarrollo Productivo Regional en México

UTTAB

Tecnología e Innovación. Alcances de acciones sostenibles de Energía, Tecnologías de la Información y Desarrollo Productivo Regional en México. Coordinadores, Lenin Martínez Pérez, Jorge Rebollo Meza, Domingo Román Guillén, Rosario del Carmen Suárez Jiménez y José Gilberto Torres Torres. --Primera edición. -- Villahermosa, Centro, Tabasco: Universidad Tecnológica de Tabasco. 2024.

209 páginas: Ilustraciones.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo. ISBN digital: 978-607-26747-0-7
Primera edición, 2024
D. R. © Universidad Tecnológica de Tabasco
Carretera, Villahermosa-Teapa
Km. 14.6, Parrilla II, Tabasco. C.P. 86288
Villahermosa, Centro, Tabasco. www.uttab.mx

Las opiniones expresadas en el presente libro son de exclusiva responsabilidad de cada uno de los autores que participaron y no necesariamente representan la opinión de la UTTAB. Queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Se autoriza su reproducción parcial siempre y cuando se cite a la fuente.

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un Comité Científico Interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes Instituciones de México-India-Francia instaurado para tal fin.

Las denominaciones empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican de parte de la UTTAB, juicio alguno sobre la delimitación de fronteras o límites y la mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la UTTAB los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Coordinadores: Lenin Martínez Pérez, Jorge Rebollo Meza, Domingo Román Guillén, Rosario del Carmen Suárez Jiménez y José Gilberto Torres Torres.

Diseño Editorial: Baldemar Fabián Hernández Pérez.

Responsable de la edición: Universidad Tecnológica de Tabasco.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

Comité Científico

Tecnología e Innovación. Alcances de acciones sostenibles de Energía, Tecnologías de la Información y Desarrollo Productivo Regional en México, es una obra colectiva creada por un equipo de profesionales, quienes cuidaron el nivel y la pertinencia de los contenidos, lineamientos y estructuras establecidas por la Editorial Universidad Tecnológica de Tabasco.

Fue dictaminada con arbitraje a doble ciego por un Comité Científico Interinstitucional Francia-India-México, integrado por especialistas en el tema.

Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dictaminador Francia

Dr. Armando Izquierdo Colorado

Jefe de Proyectos de Procesos Catalíticos de la empresa Khimod (París, Francia).

Dictaminador India

Dr. Srinivas Godavarthi

Universidad de Andhra

Profesor del Programa Investigadoras e Investigadores por México (CONAHCYT), adscripto a la División Académica de Ciencias Básicas de la UJAT.

Dictaminadores México

Dr. Juan Carlos Arévalo Pérez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Adib Abiu Silahua Pavón

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Aida Dinorah García Álvarez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Víctor Hugo Robles Francia

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Mtra. Laura González González

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Mtra. Laura Elena Herrera Jiménez

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Dra. Adriana Mariela de la Cruz Caballero

Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe).

ÍNDICE

PRÓLOGO
CAPÍTULO I
LOS MANGLARES DE TABASCO. RETOS DEL DESARROLLO SUSTENTABLE ANTE LOS IMPACTOS AMBIENTALES1
Sofía Ruiz Liévano, Fabiola Lizama Pérez, Lucia Sandoval Núñez
CAPÍTULO II
NORMATIVIDAD DE ECONOMÍA CIRCULAR EN MÉXICO APLICABLE AL SECTOR DE ALIMENTOS Y BEBIDAS2
Guilvic Germán García Jiménez, Erika Guadalupe May Guillermo, Jorge Velasco Castellanos
CAPÍTULO III
EFECTO DEL HIDROCARBURO EN LA FERTILIDAD DEL SUELO Y LA FASE VEGETATIVA DEL PHASEOLUS VULGARIS L3
Daniel Gutiérrez Ramos, Beatriz Adriana Alegría-Hernández, Eduardo Torres Aguilar
CAPÍTULO IV
ANÁLISIS PROSPECTIVO DE NANOPARTÍCULAS USADAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN5
Gabriel Ramón Hernández, Elsa Emilia Uicab Córdova, Ángel de Jesús González Acencio
CAPÍTULO V
PERSPECTIVAS DE LA FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON RECORTES DE PERFORACIÓN EN TABASCO7
Jorge Luis Soberano Montuy, Elsa Emilia Uicab Córdova, Marcos Andrés Jiménez Moreno
CAPÍTULO VI
EFECTOS DE LA NANOPARTÍCULA EN DISPOSITIVOS ENERGÉTICOS9
Ignacio de Jesús Gómez Rosales, Guillermo Ibañez Duharte, Imer López Grijalva
CAPÍTULO VII
OXIDACIÓN FOTOCATÁLITICA SOLAR DE SILDENAFIL UTILIZANDO TIO ₂ DOPADO CON AG10
Luis Ángel Magaña Gallegos, Juan Carlos Arévalo Pérez, José Gilberto Torres Torres
CAPÍTULO VIII
ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN BALANCÁN, EFECTO DEL SUBSIDIO FEDERAL12
Julia Patricia Macossav Padilla. Salustino Abreu Jiménez. Martín Gerardo Martínez Valdés

CAPITULO IX
ANÁLISIS PROXIMAL DE GALLETAS ELABORADAS CON HARINA DE CASTAÑA, HARINA DE MAÍZ Y POLVO DE CASCARILLA DE CACAO135
Juan Carlos Aguilar Arpaiz, Jesús Guadalupe Ovando Silván, Fanny Adabel González Alejo
CAPÍTULO X
APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO DE TABASCO148
Mireya Martínez Rodríguez, Citlali Guadalupe Hernández Hernández, Candelaria Pérez Sánchez, Mary Carmen Rodríguez Suárez y Rosario del Carmen Suárez Jiménez
CAPÍTULO XI
DESARROLLO Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN QUESO CREMA UNTABLE A BASE DE LECHE DE BÚFALA (<i>BUBALUS BUBALIS</i>)160
Franco Lucio Ruiz Santiago, Irma López Álvarez, Rafael García Jiménez, Josafat Alberto Hernández Becerra
CAPÍTULO XII
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EL CONTROL DE DATOS EN UN SISTEMA DE ACUAPONÍA170
Oscar Medina Espinosa, Antonio Picasso Fuentes, Alejandro Rivas Rivera, Alberto Baruc Vázquez Vargas
CAPÍTULO XIII
DESARROLLO DE UN RECORRIDO VIRTUAL DEL HOTEL TABASCO INN
Karina Guadalupe Calcáneo Martínez, Ana Aurora Guerrero González, Martha Ofelia Jiménez Velázquez
CAPÍTULO XIV
IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN EL DISEÑO DE APLICACIÓN MÓVIL EN EL TURISMO SOSTENIBLE PARA TABASCO197
Domingo Román Guillén, Rosario del Carmen Suárez Jiménez, Aida Dinorah García Álvarez, Jorge Rebollo Meza, Lenin Martínez Pérez

PRÓLOGO

Se ha mencionado en diferentes foros académicos como en reuniones de organismos y corporativos nacionales e internacionales, que la innovación y el cambio en el siglo XXI se explican por el empleo intensivo de las tecnologías de la información y la comunicación, las cuales están transformando la economía global, las cadenas de suministro, así como la forma de organizar los procesos productivos de las empresas.

Por eso mismo, los mercados de trabajo están siendo desarticulados por una transformación sin precedentes impulsada por la innovación tecnológica, la transición a la energía verde y una reestructuración de las cadenas de valor que conectan la producción con el consumo, obligando a las organizaciones y a la industria a transitar en un mundo volátil, confuso, ambiguo e incierto por los cambios que se suceden día a día. En todo ello no se debe perder de vista una variable fundamental, la sostenibilidad, que debe ser tomada en cuenta para asegurar un equilibrio entre la creación de riqueza por parte de los agentes económicos y la sociedad y la conservación del medio ambiente y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. Esto significa examinar la manera en que las naciones y las industrias podrían aprovechar los nuevos conjuntos de técnicas, el know-how y la economía circular para lograr una producción más limpia, eficaz y competitiva con el fin de conjuntar el crecimiento económico con acciones sociales responsables y humanistas para reducir el riesgo que representa el cambio climático.

En este contexto, la presente obra expone desde una perspectiva interdisciplinaria diferentes proyectos e investigaciones que tienen el propósito de mostrar los resultados y alcances de acciones sostenibles en energía renovable, tecnologías de la información, agricultura sostenible y biotecnología para el desarrollo productivo regional en nuestro país y en toda la geografía nacional.

En la primera parte se presentan trabajos relacionados con la industria del petróleo y el impacto que ésta provoca en las zonas donde se localizan los manglares, así como el efecto del hidrocarburo en la fertilidad del suelo y la fase vegetativa de semillas y hortalizas de alto

consumo como la alubia o frijol, entre muchos otros cultivos. En materia de medio ambiente se muestra la importancia de la economía circular aplicable al sector de alimentos y bebidas como estrategia para un desarrollo sostenible en la región sureste de México.

En la segunda parte se encuentran investigaciones que se articulan en torno a las energías renovables y el desarrollo de nanomateriales. La importancia del tema es en sí mismo relevante, ya que la nanotecnología posibilita un mosaico de beneficios como la obtención de materiales más livianos y fuertes para la fabricación de aerogeneradores y transformar la energía eólica en electricidad; en la agricultura, para producir biocombustibles que son una de las principales alternativas para mitigar el impacto del cambio climático. Los llamados nano-recubrimientos que se aplican para prevenir la corrosión de los equipos, y los nanocompuestos que permiten mejorar la resistencia de maquinaria perforadora usada en geotermia; asimismo, el uso de nanopartículas en los fluidos de perforación para mejorar la permeabilidad y reducir la pérdida de agua (Alagöz, 2021). La nanotecnología, como una disciplina en constante avance, permite crear nuevos componentes para ser aplicados en diversos campos, como la medicina, la energía limpia, la agricultura, la genómica, la ingeniería y la ciencia de la computación.

En la tercera parte de la obra, los trabajos hacen referencia a la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible. En este sentido se presentan proyectos de biotecnología para el desarrollo sustentable en el sector agroalimentario de Tabasco; el análisis de la producción agrícola y alimentos elaborados con harina de castaña, harina de maíz y polvo de cascarilla de cacao; el avance y evaluación sensorial de yogur y queso crema a base de leche de búfala (Bubalus bubalis). Resalta el proyecto de alerta temprana para el control de datos en un sistema de acuaponía. La acuaponía integra dos métodos de cultivo: la acuacultura, que involucra el cultivo de especies acuáticas, y la hidroponía para la producción de cultivos vegetales con base en soluciones nutritivas. En suma, los distintos documentos de los investigadores permiten confirmar lo expresado por los especialistas acerca de que la biotecnología busca resolver los desafíos ambientales a través de la biorremediación, la

producción de energía renovable, la agricultura sostenible y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Finalmente, la parte última del libro, pero no menos importante, tiene como hilo conductor el uso adecuado de las tecnologías de la información y la comunicación como soporte del desarrollo turístico sostenible. La ONU (s/f) identifica al turismo como actividad sostenible cuando se garantiza el uso óptimo de los recursos medioambientales y se ayuda a conservar los recursos naturales y la diversidad biológica. Con esta perspectiva los turistas de las principales regiones del mundo utilizan una amplia gama de herramientas tecnológicas, por lo que los recursos multimedia se están convirtiendo en un aspecto clave para la promoción del turismo y minimizar el impacto ambiental. Los viajeros pueden obtener información por medio de imágenes aéreas y de satélite en segunda o tercera dimensión (Rodríguez, 2018) e incluso hacer recorridos virtuales de hoteles, centros turísticos, restaurantes y lugares históricos de México y de diferentes naciones.

De esta manera, el vínculo entre tecnología e innovación conjuntamente con acciones en materia de uso de energías renovables, la producción agrícola sostenible, la protección de los manglares y otros ecosistemas adyacentes a la industria petrolera; la creación de nuevos materiales para el tratamiento de suelos, sedimentos y desperdicios sólidos y un sector turístico que implementa un uso correcto de la tecnología en pro de los recursos medioambientales, debe convertirse en un nuevo paradigma para la humanidad, mediante una estrategia que posibilite establecer un sistema que promueva un crecimiento económico inclusivo, que coadyuve a los esfuerzos de disminuir el impacto del cambio climático y atender, al mismo tiempo, otros retos relativos a la sostenibilidad y al desarrollo productivo regional y local en nuestro país.

Tecnología e Innovación. Alcances de acciones sostenibles de Energía, Tecnologías de la Información y Desarrollo Productivo Regional en México.

Lenin Martínez Pérez
Jorge Rebollo Meza
Domingo Román Guillén
Rosario del Carmen Suárez Jiménez
José Gilberto Torres Torres

Capítulo I

LOS MANGLARES DE TABASCO. RETOS DEL DESARROLLO SUSTENTABLE ANTE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Sofía Ruiz Liévano

https://orcid.org/0000-0001-7507-8740 sofiaruiztabasco@hotmail.com

Fabiola Lizama Pérez

https://orcid.org/0000-0001-8193-7759 flizama.tc@uttab.edu.mx

Lucia Sandoval Núñez

https://orcid.org/0000-0003-0803-6035 luciasandoval1@hotmail.com

RESUMEN

El Estado de Tabasco posee una biodiversidad de flora y fauna con características propias y únicas como son los manglares, estos ecosistemas brindan beneficios ambientales considerados de importancia vital, del mismo modo son sensibles a los problemas ocasionados por la actividad humana. La investigación se aborda desde la teoría del desarrollo sustentable: naturaleza, sociedad y economía. Se explica la importancia de los manglares en el medio ambiente, se elabora una tabla comparativa que explica el lugar, el tipo de mangle y porcentaje de estos, los resultados son interesantes, ya que se contrastan los datos obtenidos por el INEGI con diversas fuentes; los resultados obtenidos dan cuenta de la falta de información al respecto, y en este sentido, la importancia de proteger estos ecosistemas. Se explica el impacto ambiental que ocasiona el derrame de hidrocarburo en estos ecosistemas; se presenta el caso de los Bitzales en Macuspana y muerte de los manatíes, para ello se presentan resultados del Diagnóstico sobre mortandad de especies acuáticas en los Bitzales; Macuspana, Tabasco a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales cuyos resultados no son concluyentes para explicar la problemática ocasionada por la contaminación del rio y la muerte los manatíes.

Palabras Clave: Desarrollo sustentable, impacto ambiental, manglares

Introducción

Tabasco se encuentra entre los primeros lugares en extensión de humedales del país, sitios con biodiversidad, belleza y atracción turística. De acuerdo con la clasificación de los humedales, se destacan los manglares costeros y lagunares, en Tabasco existen cuatro sitios prioritarios en el Golfo de México: Laguna el Yucateco; la Victoria, Centla; Laguna la Palma y Laguna de Mecoacán - Julivá - Santa Anita. Estos manglares costeros, proporcionan una amplia gama de servicios ambientales, como base del desarrollo sustentable. Se destacan los sitios prioritarios de manglares en los cuerpos lagunares, estos hábitats enfrentan problemáticas como el cambio climático, Liévano (2019, p. 209), la pérdida de este tipo de socio ecosistemas por el alto impacto derivado del crecimiento poblacional acelerado, acciones que, suponen un mayor riesgo a sufrir desastres ecológicos desde la desforestación hasta el derrame de hidrocarburo. El objetivo de este trabajo es en una primera parte, destacar la importancia de los servicios ambientales que brindan los manglares con el enfoque de las dimensiones de la sustentabilidad, se explican los tipos que existen en Tabasco, en un segundo momento se explica el impacto ambiental por derrame de hidrocarburos en el ecosistema, se expone el caso de la contaminación de la zona de Bitzales, donde también coexisten los manglares y los manatíes.

DESARROLLO

Beneficios ambientales de los manglares

De acuerdo con López, *et al.*, "los manglares son ecosistemas que se encuentran en las regiones costeras tropicales y subtropicales del mundo, y se localizan en las zonas intermareales en donde ocurre la mezcla de agua dulce con el agua del mar, como las desembocaduras de ríos, lagunas costeras, bahías y estuarios" (2022) estos ecosistemas brindan infinidad de servicios ambientales, además de tener características propias que los hace irremplazables, de acuerdo con Rodríguez et al. (2013), quienes elaboraron un estudio

sobre los manglares de México, señalan que son hábitats de especies de tipo permanente y temporales de "moluscos, cangrejos, jaibas, langostinos, camarones, erizos, insectos, peces, aves, mamíferos, bromelias, orquídeas, bejucos" (p. 17). Además, la investigación refiere alguno de los grandes beneficios:

Es un ecosistema altamente productivo, que genera una gran cantidad de nutrientes que son exportados por las mareas a las aguas marinas, donde son aprovechados por pastos marinos, arrecifes de coral y una gran variedad de peces. Es un ecosistema que depende en buena medida de factores externos de gran escala, como las corrientes oceánicas, la conexión con el mar, afluentes de agua dulce, el clima y los cambios en la cobertura y usos del suelo a nivel de paisaje. Son hábitat de diferentes etapas de especies de fauna marina. Son hábitat de aves migratorias y de grupos de reproducción...Son barreras naturales de protección que retienen la erosión causada por vientos y mareas, ayudando así a mantener la línea de costa y a sostener la arena sobre las playas. En aquellos sitios en donde los manglares se han mantenido, el impacto de fenómenos naturales, como ciclones y tsunamis, ha sido menor al de aquellos sitios en donde se destruyeron o no existen estas barreras naturales. Disminuyen el impacto del acarreo de sedimentos y contaminantes por las corrientes de agua de ríos y arroyos sobre los arrecifes de coral. Son zonas de protección, crianza y desove de especies comerciales como peces (bagre, lisa, mojarra, pargo, robalo, sábalo, etc.), camarones, cangrejos, langostinos y moluscos. La pesquería del camarón, una de las más importantes en México, existe gracias a la gran cantidad de lagunas costeras que albergan importantes humedales, como áreas de manglar y marismas, en donde se refugian las post larvas de camarón y se desarrollan durante varios meses hasta alcanzar sus fases juveniles, momento en el cual migran al mar para completar su ciclo de vida. Funcionan como filtros biológicos en la retención y procesamiento de algunos fertilizantes utilizados en la agricultura, en la filtración de agua y abastecimiento de mantos freáticos. Son sumideros de bióxido de carbono y captura de gases de efecto invernadero. Proporcionan materiales de la construcción de viviendas rurales, fabricación de cercos para delimitar terrenos o para el confinamiento de animales domésticos. Se utilizan en la industria de la construcción como puntales para las cimbras; producción de leña y carbón por las comunidades rurales como materiales para la fabricación de artes de pesca como los tapos, en la elaboración de espigas y puntales para la locomoción de pequeñas embarcaciones en zonas someras de las lagunas costeras y los esteros...Son zona de desarrollo de la creciente industria asociada al ecoturismo, avistamiento de aves migratorias, vida silvestre y paisajes. (Rodríguez, et al., p.18) siguiendo los beneficios de estos ecosistemas, también son importantes en la mitigación de las inundaciones por sus propias características, William Mitsch y James Gosselink señalan que aportan nutrientes a las lagunas y forman refugios donde se desarrollan los juveniles de peces, crustáceos, entre otros; son sumideros importantes de carbono; almacenan agua y ayudan a regular las inundaciones, además funcionan como escudos protectores contra las tormentas y las mareas Moreno (2012, p.8). Lo anterior, es una pequeña muestra de los grandes beneficios aportados por los manglares, en este punto, se puede afirmar, con base a la teoría del desarrollo sustentable que se pueden alinear los tres ejes fundamentales: la naturaleza o medioambiente, la sociedad y la función económica, privilegiando desde luego, al medioambiente. Es decir, cualquier actividad debe ser con base a preservar el ecosistema de manglares.

Siguiendo los beneficios de estos ecosistemas, también son importantes en la mitigación de las inundaciones por sus propias características, William *Mitsch* y *James Gosselink* señalan que aportan nutrientes a las lagunas y forman refugios donde se desarrollan los juveniles de peces, crustáceos, entre otros; son sumideros importantes de carbono; almacenan agua y ayudan a regular las inundaciones, además funcionan como escudos protectores contra las tormentas y las mareas Moreno (2012, p.8). Lo anterior, es una pequeña muestra de los grandes beneficios aportados por los manglares, en este punto, se puede afirmar, con base a la teoría del desarrollo sustentable que se pueden alinear los tres ejes fundamentales: la naturaleza o medioambiente, la sociedad y la función económica, privilegiando desde luego, al medioambiente. Es decir, cualquier actividad debe ser con base a preservar el ecosistema de manglares.

Tipo de manglares

Los manglares de México representan el 5% del total mundial y colocan a nuestro país en el cuarto lugar de los 125 países y territorios que poseen este ecosistema. En el mundo se reportan alrededor de 70 especies de manglar, agrupadas en diferentes familias y géneros. Indonesia y Australia reportan 45 y 40 especies respectivamente, mientras que Brasil, solamente ocho y México seis:

- Mangle rojo (Rhizophora mangle)
- Mangle blanco (Laguncularia racemosa)
- Mangle prieto (Avicennia germinans) y el mangle botoncillo (Conocarpus erectus),
- Mangle Bicolor (Avicennia bicolor)
- Mangle Caballero (Rhizophora harrisonii)

Por otra parte, en el Compendio de Información Geográfica Municipal 2010 de Tabasco el INEGI (2010) elaboró un informe por cada uno de los 17 municipios, donde detalla el tipo de vegetación y el porcentaje, los datos se contrastaron con diversas fuentes que se señalan en la Tabla 1 y se observa la omisión de datos del INEGI respecto a la presencia del mangle como en los casos de Balancán, Cunduacán, Emiliano Zapata, Jalapa, Tacotalpa, Teapa y Tenosique, es decir casi la mitad de los 17 municipios del estado, y en este aspecto, se debe contar con información y conocimientos fidedignos con la finalidad de proteger y preservar la vegetación manglar dado que en México las especies de mangle rojo, prieto, blanco y botoncillo están bajo la categoría de amenazadas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT, 2010, p.2).

Tabla 1. Tipos de manglares principales en los cuerpos lagunares de Tabasco.

Municipio	Cuerpos lagunares	Tipo de manglar predominante	Datos del INEGI vegetación manglar
Balancán	Cascadas de Reforma Rio San Pedro	Rojo	
Cárdenas	Sistema lagunar Carmen- Pajonal-Machona,	Blanco negro y rojo	4.86%
Centla	Pantanos de Centla	Negro, rojo, blanco y botoncillo	13.46%
Centro	Cuencas la Sierra, Pichucalco y		0.19%
	rio Mezcalapa	Rojo	

Comalcalco	Sistema Lagunar Carmen-	Blanco, negro y rojo	3.46%
Comarcarco	Pajonal-Machona	Bianco, negro y rojo	3.40%
Cunduacán	Sistema lagunar Carmen- Pajonal-Machona,	Blanco, negro y rojo	
Emiliano Zapata	Rio Usumacinta	Rojo	
Huimanguillo	Rio San Pedro	Rojo	1.78%
Jalapa	Río de la Sierra	Blanco	
Jalpa de Méndez	Úrsulo Galván	Rojo, negro y blanco	5.64%
Jonuta	Pantanos de Centla	Negro, rojo, blanco y botoncillo	0.92%
Macuspana	Pantanos de Centla	Negro rojo blanco y botoncillo	
Nacajuca	Cantemó, la Ramada, Desagüe y Pucté	Rojo negro y blanco	1.98%
Paraíso	Laguna Mecoacán	Negro, rojo y blanco	25.28%
Tacotalpa	Río Tacotalpa	Blanco	
Teapa	Río Puyacatengo	Blanco	
Tenosique	Rio San Pedro	Rojo	

Nota. Elaboración propia con datos del CONABIO (2016), CONABIO (s/f), *Google Maps* (2023) y los Compendios de Información Geográfica Municipal de los 17 municipios del estado de Tabasco INEGI (2010)

Como muestra la Tabla 1, el estado es rico en manglares, se considera la segunda entidad en importancia de Humedales específicamente manglares, con cuatro cuencas lagunares importantes:

- 1. Estero del Rio Tonalá- Laguna el Yucateco
- 2. La Victoria, Centla
- 3. Laguna la Palma
- 4. Lagunas Mecoacán Julivá Santa Anita (CONABIO, 2016)

No olvidar que los humedales "confieren beneficios y bienes ambientales que deben ser conservados y potencializados" Rivera, (2010), por eso es importante proteger estos ecosistemas.

Impacto ambiental por derrame de hidrocarburo en los manglares

El derrame de hidrocarburo en suelos es uno de los problemas ambientales más grandes en México. El estado de Tabasco ocupa el primer lugar en este rubro; diversos estudios muestran esta problemática ambiental que impacta o afecta grandes áreas de la planicie (Liévano, 2022, p.146). Estos derrames afectan los suelos cambiando sus características biológicas y son consecuencia de diversas actividades, tales como, la exploración y refinación; el robo de combustible; la falta de mantenimiento a los ductos y el almacenamiento de los hidrocarburos.

En el caso específico de estos derrames de hidrocarburos, se afecta la flora, fauna, microorganismos y su fertilidad, el crecimiento de las plantas, así como la existencia y sobrevivencia de los animales que se alimentan de éstas; en el ámbito social se ven afectados los sistemas de producción, la salud, la economía y las formas de vida de las poblaciones Cavazos, et al. (2014) señala que "debido a los efectos de estos compuestos, los cuales son tóxicos para los humanos [mutagénicos y carcinogénicos y para los seres vivos en sus diversas formas microflora, mesofauna y fauna]. (p. 540) cuando ya existe la contaminación por hidrocarburos en estos ecosistemas, de acuerdo con Chan, et al., (2021) a través de un proceso de remediación que conlleva también un procedimiento se puede "ayudar a recuperar ambientes contaminados" (p.25). Al respecto existen estudios que han dado resultados positivos, aunque lo ideal es proteger y evitar a toda costa este tipo de afectaciones.

Impacto ecológico por contaminación del ecosistema. Caso Bitzales en Macuspana Tabasco, México

Como se explica en la introducción de este trabajo, los manglares brindan servicios ambientales acorde con el desarrollo sustentable, alberga especies nativas del país, como el manatí de acuerdo con el Programa de Acción para la Conservación de la especie: Manatí de las Antillas — *Trichechus manatus* — (SEMARNAT, 2020), ésta señala que la mayor población de manatíes se encuentra en Tabasco, debido a la gran cantidad de afluentes, ríos, zonas lagunares que se interconectan y conforman el hábitat de estos organismos; con

presencia principalmente en los Pantanos de Centla, y la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta. (2020, p. 24).

Los manatíes habitan en los manglares, son especies longevas, resistentes a enfermedades, considerados centinelas ideales; de acuerdo con Mojica, et al. estas características pueden ser indicadores de cómo se encuentra el agua, y los posibles efectos de una lesión relacionada con los humanos. (2014) Sin embargo, en los últimos años la población de manatíes ha sufrido altos índices de mortandad en la zona de los Bitzales; la problemática surgió a la opinión pública entre abril y mayo 2018, cuando pobladores de la comunidad denunciaron la muerte de al menos 30 ejemplares de manatíes sin razón aparente; en este caso particular, la presión social motivó a que diversas instituciones crearan comisiones para elaborar el *Diagnóstico sobre mortandad de especies acuáticas en los Bitzales; Macuspana, Tabasco*, (SEMARNAT, 2018) y el *Reporte final atención de contingencia de manatíes en Tabasco*, (PROFEPA, 2018), documentos que dan cuenta de los diversos factores que ocasionaron la muerte de los organismos. En los antecedentes del fenómeno en el informe se explica que: Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. Revista Forestal del Perú, 36(1), 22-46.

"El 18 de mayo del 2018, se dio a conocer la aparición de dos cadáveres de manatíes en avanzado estado de descomposición en el Arroyo Maluco, en el Ejido Nabor Carrillo, Macuspana, mismos que fueron verificados por la PROFEPA y se les dio destino final.

Posteriormente, los días 28 de mayo y 1 de junio, aparecieron otros 3 ejemplares muertos en dicha zona, por lo que se procedió a la atención del hallazgo.

En primera instancia se comenzaron a realizar recorridos prospectivos para identificar la aparición de nuevos cadáveres, además tratar de identificar las posibles causas que pudieron incidir en los sucesos" (PROFEPA, 2018, p. 5).

Entre las posibles causas o posibles hallazgos los expertos señalan diversos factores:

• La especie: época de celo, enfermedades propias.

- El sitio: desecación, posibles fuentes de contaminación, por descargas, metales pesados. Hidrocarburos, agroquímicos, florecimientos algales nocivos, etc.
- Ambientales: aumento en la temperatura, poca precipitación pluvial.
- Actividades antropogénicas: pesca, golpes con embarcaciones. (PROFEPA, 2018, p.
 5).

Posteriormente, analizaron el agua para determinar la calidad, toxicidad, sedimentos, vegetación; realizaron necropsias a los cadáveres y estudios de patología, toxicología, bacteriología y virología de los organismos muertos, con los siguientes resultados:

- De los análisis de laboratorio se determinó que las concentraciones de contaminantes se encontraron en concentraciones inferiores al límite de posible afectación.
- En las necropsias y toma de muestras no se encontró ningún resultado contundente a presencia de patógenos o la identificación de algún agente causal. (PROFEPA, 2018)

En cuanto al *Diagnóstico sobre mortandad de especies acuáticas en los Bitzales; Macuspana, Tabasco,*

"En el contexto de la mortandad de manatíes que comenzó en los Bitzales (Macuspana) en el mes de mayo de 2018 que se mantiene a la fecha, a principios de julio pasado pescadores de la zona presentaron resultados de análisis de laboratorio realizados por el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz. Con ese reporte se adujo la presencia de altas concentraciones de metales pesados (Cadmio, Plomo y Aluminio) en la columna de agua cuyo origen o fuente no se especificó.

Los medios magnificaron la nota y eso generó la percepción de un problema agudo de contaminación ambiental por actividades petroleras, versión que, ante la falta de un diagnóstico certero y contundente, puede derivar en movimientos sociales que reclamen daños y afectaciones a Pemex, en una zona que ha permanecido hasta ahora al margen de esas expresiones.

Actualmente no se ha definido con precisión los factores responsables de la mortandad de mamíferos marinos en los Bitzales, por lo que se procedió a desarrollar

un diagnóstico alternativo para este problema con base en indicadores medio ambientales más precisos. Así se planteó la posibilidad de que enfrentemos el primer caso de mortandad masiva de especies acuáticas por un florecimiento algal nocivo" (Hascanful Algal Bloom) (SEMARNAT, 2018).

En el texto, se pueden observar dos puntos importantes: en el primero, se descarta que las muertes de los organismos se originen por actividades relacionadas con PEMEX; el segundo punto afirma que "no se ha definido con precisión los factores responsables", finalmente concluyen que:

- 1. Los indicadores visuales de florecimientos permiten presumir que sí ocurrió un florecimiento de algas cianofíceas.
- Diversos indicadores como son daños en raíces expuestas de árboles y condiciones de las zonas foliares del lirio acuático manifiestan síntomas de exposición a altas concentraciones de compuestos irritantes o tóxicos.
- 3. Los indicadores físico-químicos obtenidos vía análisis de calidad del agua indicaron la presencia de algas cianofíceas en abundancia.
- Se verificaron en los puntos de muestreo, altos niveles de turbiedad, temperaturas elevadas del agua, presencia de espumas y una fuerte coloración verde pastosa (SEMARNAT, 2018).

Es decir, hallaron el agua altamente contaminada, sin saber exactamente las causas de esta contaminación, no obstante, el Gobierno del estado de Tabasco el 15 de septiembre de ese año, emitió una declaratoria para la atención inmediata de la problemática sanitaria, ecológica y social ocasionada por fenómenos hidrometeorológicos y sanitario-ecológicos, en los municipios de Macuspana, Jonuta y Centla, el documento señala que:

"Después de recibir en diversas instancias de los tres órdenes de gobierno, federal, estatal y municipal, reportes de vecinos de diversas comunidades de los municipios de Centla, Macuspana y Jonuta, respecto a que, en diferentes cuerpos de agua, como son los pantanos de Centla y las cuencas de los ríos Bitzal y Maluco, habían venido apareciendo restos de manatíes (*Trichechus manatus*), así como de otras diferentes

especies de peces y reptiles. Posteriormente, se empezaron a recibir también quejas y noticias de afectaciones de diversa índole a la salud de pobladores de esas zonas. De inmediato, las dependencias responsables de Salud y de Protección al Medio Ambiente del Gobierno del estado, con el apoyo de organismos como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente (PROFEPA) y la empresa productiva del estado Petróleos Mexicanos (PEMEX), y la asistencia de instituciones de educación superior, se avocaron a realizar diferentes estudios y pruebas para determinar las causas probables de tales afectaciones, sin que hasta la fecha exista un resultado definitivo y concluyente que explique dichos fenómenos" (DOF, 2018).

En el mismo considerando se explican los daños que tienen registrados a la salud, derivado de esta problemática:

- Las infecciones respiratorias agudas, que representan el 17%, con 259 de los casos; 41 Declaratoria para la atención inmediata de la problemática sanitaria, ecológica y social publicada en el Periódico Oficial, 6ta época, suplemento 7933, 15 de septiembre de 2018.
- Las infecciones de vías urinarias, representando el 15%, con 223 casos;
- Las dermatitis, que representan el 12%, con 194 casos.
- Mientras que el resto son casos de diversos padecimientos (DOF, 2018).

Esta población abarca varios municipios, se dedica mayormente a la actividad pesquera y ganadera, "por lo que la degradación del agua de los ríos está afectando su principal fuente de ingresos. Además, el abastecimiento de agua para cubrir sus necesidades básicas sanitarias," esta problemática se complica y se agrava, pues no se ha esclarecido la causa que la ocasiona, aunque los especialistas determinan que es ocasionada por la oxidación de las algas.

Por otro lado, la Senadora Mónica Fernández Balboa del Grupo Parlamentario de Morena denunció en el SENADO (2018) que:

"En la zona conocida como los Bitzales ubicada en el estado de Tabasco, la contaminación está afectando la salud y la economía de sus habitantes además del deterioro de la fauna y flora en los municipios de Centro, Centla y Macuspana; en particular a la especie protegida de manatíes"

La legisladora presentó en el Senado de la República un punto de acuerdo donde solicita al titular de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA), Carlos Salvador de Regules Ruiz-Funes, informe de lo realizado por Pemex en la zona. También sobre la situación de las instalaciones y trabajos realizados por esa empresa, el impacto sanitario y ambiental que ha generado su actividad en la zona y las acciones tomadas para atenderlo. De igual forma conocer, las acciones que han llevado a cabo para resarcir afectaciones y los resultados de estas (SENADO, 2018).

La Senadora refiere contar con información directa de los pobladores "Pemex ingresó a distintas secciones de los Bitzales, en donde se realizaron canales artificiales a través de los terrenos. (Al parecer propiedad privada) para posteriormente romper los márgenes del rio y provocar inundación permanente en dichos canales. Al momento de llevar a cabo la modificación al cauce natural del río, no se cuidaron las obras de contención ambiental a las orillas de los canales artificiales. Además, no contaron con los permisos correspondientes para ello." Por lo que seguidamente solicitó la suspensión de las actividades de las obras petroleras en la zona de los Bitzales porque afectan la salud y economía de los habitantes de la región, además de la conservación de la flora y fauna de Tabasco.

Por otro lado, de acuerdo con Núñez, *et al.*, la población de la zona mencionada reconoce que el río está contaminado, de acuerdo con entrevistas aplicadas a los pobladores y delegados de la Primera y Segunda Sección de Bitzales estos refieren que "A partir del 15 o 20 de mayo que fueron las primeras afectaciones que empezaron a morir los primeros manatís desde esa fecha hacia acá pues ya ve cuanto tiempo tenemos ya casi va como para 6 meses o algo así" (2021, p. 1432).

MÉTODO

Revisión de literatura y análisis teórico conceptual, el método cuantitativo y cualitativo en el análisis de los datos del INEGI, con otras fuentes señaladas en el trabajo. Se realiza un análisis comparativo y el método de estudio de caso, para ejemplificar la problemática.

CONCLUSIONES

Del análisis metodológico de este trabajo se destaca la importancia que representan los manglares de Tabasco, un reto para el desarrollo sustentable, un indicador de los problemas que se derivan por la contaminación ambiental, la explotación de los recursos naturales, el descuido de los ductos de hidrocarburos entre otros, se debe reconocer que cada vez existe más información al respecto, se deben actualizar los datos al respecto; el desarrollo sustentable es un tema actual y se está trabajando, sin embargo, la desforestación y los grandes problemas ambientales avanzan a pasos agigantados, lo contrario a la investigación y la cultura ambiental cuyo esfuerzo es valioso, pero no suficiente.

PROPUESTAS

Uno de los desafíos considerados para este trabajo, es la falta de datos recientes respecto a la población del mangle, el tipo de mangle y los lugares específicos, los datos están dispersos e incompletos de acuerdo con esta investigación.

Es un reto elaborar un catálogo de manglares, para identificar estrategias de conservación, rehabilitación o remediación de estos espacios, sin embargo, la pregunta que salta en esta investigación es ¿cómo proteger, remediar o conservar lo que no se conoce?.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cavazos, J., Pérez, B., y Mauricio, A. (2014). Afectaciones y consecuencias de los derrames de hidrocarburos en suelos agrícolas de Acatzingo, Puebla, México. Agricultura, sociedad y desarrollo, 11(4), 539-550.
- CONABIO. (2016). Atlas Naturaleza y sociedad, https://goo.su/NSE8szh
- CONABIO. (s/f). Sitios prioritarios de Manglar en Tabasco, https://goo.su/Wu3c0O6
- Chan, J. G., Cach, M. J., y López, M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. Revista Forestal del Perú, 36(1), 22-46.
- DOF. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://goo.sw/2Efftq
- DOF. (2018). Declaratoria para la atención inmediata de la problemática sanitaria, ecológica y social publicada en el Periódico Oficial, 6ta época, suplemento 7933, 15 de septiembre de 2018.
- Google Maps. (2023). Estado de Tabasco, https://goo.su/9UZbUj
- INEGI, Balancán. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Balancán, Tabasco clave geoestadística 27001, https://goo.su/ZRhrUZR
- INEGI, Cárdenas. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Cárdenas, Tabasco clave geoestadística 27002, https://goo.su/LvEfVj8
- INEGI, Centla. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Centla, Tabasco clave geoestadística 27003, https://goo.su/rGUhUK
- INEGI, Centro. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Centro, Tabasco clave geoestadística 27004, https://goo.su/xpaM3r0
- INEGI, Comalcalco. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Comalcalco, Tabasco clave geoestadística 27005, https://goo.sw/gIk2ueA

- INEGI, Cunduacán. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Cunduacán, Tabasco clave geoestadística 27006, https://goo.sw/e2YU
- INEGI, Emiliano Zapata. (2010) Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Emiliano Zapata, Tabasco clave geoestadística 27007, https://goo.sw/z6Mf
- INEGI, Huimanguillo. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos <h, Tabasco clave geoestadística 27008, https://goo.su/lijDs
- INEGI, Jalapa. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Jalapa, Tabasco clave geoestadística 27009, https://goo.su/yg8VPlL
- INEGI, Jalpa de Méndez. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Jalpa de Méndez, Tabasco clave geoestadística 27010, https://goo.su/NvwidwK
- INEGI, Jonuta. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Jonuta, Tabasco clave geoestadística 27011, https://goo.su/NvwidwK
- INEGI, Macuspana. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Macuspana, Tabasco clave geoestadística 27012, https://goo.sw/Jbzs5Hv
- INEGI, Nacajuca. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Nacajuca, Tabasco clave geoestadística 27013, https://goo.sw/UcYZ
- INEGI, Paraíso. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Paraíso, Tabasco clave geoestadística 27014, https://goo.sw/4GzW8C
- INEGI, Tacotalpa. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tacotalpa, Tabasco clave geoestadística 27015, https://goo.su/w0tyMMj
- INEGI, Teapa. (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Teapa, Tabasco clave geoestadística 27016, https://goo.su/k6Rc

- INEGI, Tenosique. (2010) Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tabasco clave geoestadística 27017, https://goo.sw/CPlU
- Ruiz, S. (2019). Desafíos del cambio climático en Tabasco, México. Barataria. Revista Castellano-Manchega De Ciencias Sociales, (26), 207–224. https://doi.org/10.20932/barataria.v0i26.405
- Liévano, S. R. (2022). La responsabilidad del daño ambiental por derrame de hidrocarburos en suelos en Tabasco, México. Revista Ciencias y Humanidades, (14), 135-160.
- López, J., Vázquez G., Alvarado, S., Burelo C., García, J. y Vásquez, V. (2022). El manglar que el tiempo olvido, Instituto Nacional de Ecología, CONAHCYT, https://goo.su/PKAw3
- Mojica, B. H., Arévalo, K., González, F. A., y Murillo, J. (2014). Caracterización de la calidad del agua en sitios de preferencia del manatí antillano (Trichechus manatus) en la ciénaga de Paredes, Magdalena Medio, Santander, Colombia. Biota Colombiana, 15(1), 174-187.
- Moreno, E., Zavala, J., Martínez, R. y Vázquez, A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Laguna La Palma, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F. https://goo.sw/334mjZ
- Moreno, P. (2012). Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad. Cuadernos de Divulgación Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Núñez, L. S., Gómez, V. R. P., y Olán, E. V. (2021). Influencia de la contaminación ambiental en la calidad de vida de la población los Bitzales. Ecos sociales, 9(25
- Rivera, C. A., Zapata, A. M., Pérez, D., Morales, Y., Ovalle, H., y Álvarez, J. P. (2010). Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). Acta biológica colombiana, 15(1), 145-166
- Rodríguez, M. T., Troche, C., Vázquez, A. D., Márquez, J. D., Vázquez, B., Valderrama, L., y Galindo, C. (2013). Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México DF, 128.
- PROFEPA. (2018). Reporte final, atención de contingencia de manatíes en Tabasco https://goo.su/JHMIY
- SEMARNAT. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres

- SEMARNAT. (2018). Diagnóstico sobre mortandad de especies acuáticas en los Bitzales; Macuspana, Tabasco. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales https://goo.su/WDcO29y
- SEMARNAT. (2020). Programa de Acción para la Conservación de la Especie Manatí de las Antillas (Trichechus manatus manatus). SEMARNAT/CONANP, https://goo.sw/UTFnkT
- SENADO. (2018). Boletín del Senado de la República Mexicana 6 de noviembre de 2018, https://goo.su/UzbQ77

Capítulo II

NORMATIVIDAD DE ECONOMÍA CIRCULAR EN MÉXICO APLICABLE AL SECTOR DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

Guilvic Germán García Jiménez

https://orcid.org/0009 0002 0355 6357 Guilvic19@gmail.com

Erika Guadalupe May Guillermo

https://orcid.org/0000-0001-5403-9849 tutoresamon@mail.com

Jorge Velasco Castellanos

https://orcid.org/0000-0002-6034-6199 velcas725@gmail.com

RESUMEN

La economía circular es un enfoque que busca minimizar el desperdicio y promover la reutilización y el reciclaje de recursos para lograr un desarrollo sostenible, por tanto, es importante que cada país cuente con una normatividad que apoye este rubro. El propósito de este estudio es identificar la normatividad de economía circular en México aplicable al sector de alimentos y bebidas. Para llevar a cabo el estudio, se hizo una revisión de documentos oficiales en páginas web del gobierno federal y estatal relacionados con la circularidad en el sector de alimentos y bebidas. Los resultados muestran que a nivel federal existe una regulación estricta para propiciar la circularidad, identificada como Ley General de Economía Circular y que de manera particular los estados de Quintana Roo, Querétaro y la Ciudad de México también han promulgado una ley estatal para fomentar una economía más competitiva utilizando los recursos sin causar degradación ambiental y manteniendo el éxito de los negocios. Entonces, la normatividad en México aplicable en materia de economía circular en el sector de alimentos y bebidas ha propiciado procesos de reciclaje y gestión de residuos, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la protección del medio ambiente. Si bien

estas leyes han sido implementadas en algunos estados de la República Mexicana, aún se requiere que otras entidades se sumen a los esfuerzos por gestionar de manera adecuada los desechos generados por este sector.

Palabras clave: Normatividad, Economía circular, alimentos y bebidas.

Introducción

México produce más de 44 millones de toneladas de residuos anualmente, de los cuales aproximadamente el 90% se dispone en sitios abiertos o en vertederos, la mayoría de los cuales están mal gestionados o no cumplen con las normas (Parlamento Europeo, 2023).

El gobierno mexicano planea desarrollar la economía circular, promoviendo un uso más eficiente de los recursos, una reducción de la generación de residuos y una mayor utilización, mediante el fortalecimiento de las cadenas productivas locales, la creación de nuevas empresas (Gobierno de México, 2023). Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, el 9,10% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea (UE) proceden del uso de procesos y productos industriales, mientras que la gestión de residuos supone el 3,32% (Parlamento Europeo, 2023).

Ley General de Economía Circular es un marco legal que asegura un esquema regulatorio general que permite al Estado mexicano utilizar sus recursos naturales, económicos y humanos de manera efectiva y sustentable facilitando la transición a una economía circular (Monreal, 2019). En México, la "Ley General de Economía Circular" (LGEC) nace con la finalidad de garantizar que el valor de los productos y materiales mantengan vigencia en el ciclo económico, reduciendo al mismo tiempo la generación de residuos (López et al., 2022).

El 17 de noviembre de 2021, el Pleno del Senado de la República aprobó el proyecto de Decreto que aprueba una Ley General de Economía Circular (Larrios, 2022). La economía circular es un modelo económico que busca reducir el desperdicio de recursos y la contaminación. En este sentido, el sector de alimentos y bebidas es un importante generador de residuos, por tanto, es necesario que las empresas de este sector conozcan la normativa aplicable a la economía circular para que puedan reducir su impacto ambiental, de manera

significativa. Con base a estas consideraciones, el objetivo del presente trabajo es identificar la normatividad de economía circular en México aplicable al sector de alimentos y bebidas.

Justificación

La Confederación Patronal de la República de México (COPARMEX) garantiza que la Ley de Economía Circular contribuirá significativamente con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (Bahena, 2023).

El sector de alimentos y bebidas es uno de los principales generadores de residuos en México, la normatividad de economía circular aplicable al sector de alimentos y bebidas tiene que establecer obligaciones para las empresas del sector de alimentos y bebidas para reducir, reutilizar y reciclar los residuos generados en sus actividades y promover la implementación de prácticas circulares en el sector de alimentos y bebidas.

La implementación de esta normatividad requiere el compromiso de todos los actores involucrados, incluyendo el gobierno, las empresas y los consumidores. El gobierno federal puede apoyar la implementación de esta normatividad mediante la promoción de la economía circular y la provisión de incentivos para las empresas que adopten prácticas circulares. La implementación de la normatividad de economía circular en el sector de alimentos y bebidas es una oportunidad para reducir los residuos generados, mejorar la eficiencia de los recursos utilizados y contribuir a la protección del medio ambiente.

La Ley General de Economía Circular establece que las empresas del sector de alimentos y bebidas deben adoptar medidas para reducir, reutilizar y reciclar los residuos generados en sus actividades, estos residuos pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, contaminando la naturaleza. Es por ello por lo que se realizará un estudio que contribuya al conocimiento de las leyes de economía circular en el sector de alimentos y bebidas. Además, los resultados del estudio pueden ser utilizados para promover la implementación de nuevas leyes en diversas entidades del país, ya que actualmente solo tres estados han propuesto sus propias leyes.

DESARROLLO

Definición de Economía circular

La Economía Circular (EC) es la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, con el objetivo de rediseñarlos y reintegrarlos para preservar el valor y la vida útil de los productos asociados el mayor tiempo posible (Instituto Belisario Domínguez, 2023).

Una economía circular es reparable y regenerativa, tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales con la máxima utilidad y valor en todo momento, este modelo económico apunta a desacoplar el desarrollo económico global del consumo finito de recursos (Foro Economía Circular, 2021).

La economía circular (EC) es un sistema que pretende reducir, reciclar y reutilizar todo lo que se desecha, aprovechando los recursos y dándole una segunda vida. Muchas empresas operan según el modelo de producción que prevalecerá (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [BBVA], 2023). La EC es un sistema de uso de recursos que tiene en cuenta la reducción de elementos, reduciendo la producción al mínimo necesario y utilizando productos en la medida necesaria, es decir, elementos que requieren reutilización (Procuraduría Federal del Consumidor, 2021).

Importancia de Economía circular

La importancia de la economía circular es el de conservar un zona de influencia auténtica en el ecosistema y neutralizar la carga y la explotación del ambiente, sin contagiar el medio ambiente con la reutilización y la minimización del desperdicio (Clima de Cambios, 2019). En una economía circular, la recolección y el reciclaje de residuos permite la reutilización de materiales dentro de la cadena de suministros, lo que ayuda a minimizar las pérdidas ambientales (Sandoval et al., 2023).

La economía circular tiene en cuenta los procesos involucrados en el desarrollo de productos, desde la fabricación hasta la selección de materiales. Las empresas comprometidas con la economía circular se esfuerzan por maximizar el rendimiento de sus tecnologías digitales (García, 2021).

Beneficios y Principios de la Economía Circular

A través de medidas como la reducción de residuos, el diseño ecológico y la reutilización, las empresas ahorran costos, ofrecen a los consumidores productos más duraderos e innovadores, mejorando el ahorro financiero, lo que conducirá a una mejor calidad (Parlamento Europeo, 2023).

La economía circular se centra en la utilidad más que en el consumo. Por tanto, los elementos de cada ciclo se utilizan, recuperan y restauran en un sistema mucho más eficiente que en las economías industriales tradicionales (Ecolec Fundación, 2018). La transición hacia una economía más circular reducirá el impacto medioambiental, mejorará la seguridad del suministro de materias primas, aumentará el crecimiento económico en un 0,5% adicional del PIB) y creará empleo alrededor de 700.000 trabajos con beneficios como UE para 2030 (Parlamento Europeo, 2023).

La Economía Circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un acuerdo de 2015 en el que todos los estados y gobiernos miembros de las Naciones Unidas se comprometieron a abordar los problemas sociales, económicos y ambientales derivados de la globalización (LEANpio, 2022).

Los 17 ODS para 2030 no enumeran explícitamente temas importantes. Un ejemplo de esta crítica es la economía circular, en particular el ecodiseño, que es un facilitador del nuevo paradigma (Ecoembes, 2021). Por ello, existen aspectos vinculados con los ODS propuestos por la ONU, como el objetivo 7 Energía asequible y no contaminante, 8 Trabajo decente y crecimiento económico, 9 Industria, innovación e infraestructura, 12 Producción y consumo responsable, 13 Acción por el clima (Foro Economía Circular, 2021). Aunque también la economía circular está siendo parte implícita en diversos ODS, como el 11 Ciudades sostenibles, 15 Vida de ecosistemas terrestres, aunque también tiene una relación muy directa con el 17 que promueve las alianzas para lograr los objetivos (Ecoembes, 2021).

Cuando estos objetivos se analizan utilizando los ODS mencionados anteriormente, resulta más fácil visualizar la conexión con la circularidad. Donde existe circularidad, el ecodiseño también existe como una herramienta importante. Además de los ODS mencionados anteriormente (7, 9, 11, 12, 13, 17), la creciente necesidad de ecodiseño requerirá más creatividad y capacidad de las personas para producir trabajos de alta calidad y con mayor valor añadido (Ecoembes, 2021). Entre los principales del ODS el 12 incluye el uso de energías renovables y la sustitución de residuos por energía biodegradable o fácilmente reciclable (LEANpio, 2022).

Si bien la economía circular cumple con varios objetivos de los ODS, continuar desarrollando estrategias para mejorar la economía circular requiere un análisis exhaustivo de sus vulnerabilidades, ampliando así el alcance del logro de los ODS y un mayor desarrollo (Familia por los ODS, 2021).

MÉTODO

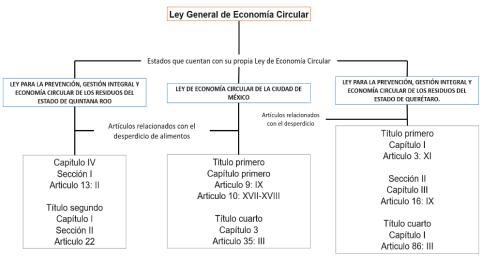
La metodología empleada para esta investigación fue de tipo cualitativa y documental por medio de la revisión de documentos oficiales en páginas web del gobierno federal y estatal publicado por la Gaceta del Senado, Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU), Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) y el Congreso del Estado de Quintana Roo, entre otros relacionados con la circularidad en el sector de alimentos y bebidas. El período de búsqueda comprendió documentos publicados del año 2018 al 2023 y las palabras que se emplearon para dicha búsqueda fueron: Normativa, Economía circular, México, Alimentos y Bebidas, normatividad de economía circular México.

RESULTADOS

Con base en la revisión de literatura se identificó que en México existe la Ley General de Economía Circular que rige en todo el país y que actualmente solo tres estados han implementado su propia ley a nivel estatal, siendo estos el Estado de Quintana Roo, Querétaro y la Ciudad de México. En el caso de las entidades federativas de Querétaro y Quintana Roo cuentan una ley denominada la Ley de Prevención y Gestión Integral de los Residuos (Tapia, 2023).

Asimismo, se detectó que las leyes de los estados de Quintana Roo y la Ciudad de México contienen artículos que refieren al desperdicio de alimentos, mientras que en la ley aplicable al estado de Querétaro se mencionan algunos artículos sobre el desperdicio en general, pero no son específicos en materia de desperdicio de alimentos. Estos hallazgos se resumen en la Figura 1.

Figura 1. Normatividad de economía circular en México y sus entidades federativas.



Nota. Elaborado

con base en Gobierno de la Ciudad de México (2023); Monreal (2019); González (2021) y Torres (2022).

CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación consistió en identificar la normatividad de economía circular en México aplicable al sector de alimentos y bebidas, destacándose que la normatividad en México aplicable en materia de economía circular en el sector de alimentos y bebidas ha propiciado procesos de reciclaje y gestión de residuos, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la protección del medio ambiente. Si bien estas leyes han sido implementadas en algunos estados de la República Mexicana, aún se requiere que otras entidades se sumen a los esfuerzos por gestionar de manera adecuada los desechos generados por este sector.

La normatividad de economía circular en México aplicable al sector de alimentos y bebidas es un instrumento importante para promover la transición a una economía más sostenible.

Sin embargo, es importante que esta normatividad se implemente de manera efectiva, para que sea capaz de lograr sus objetivos. Con la aplicación efectiva de la normatividad de economía circular, el sector de alimentos y bebidas puede contribuir a reducir la presión sobre los recursos naturales, la generación de residuos y la contaminación.

PROPUESTAS

La normatividad de economía circular aplicable al sector de alimentos y bebidas debe ser efectiva para reducir la cantidad de residuos generados y promover la eficiencia de los recursos utilizados. Para ello, se deben considerar las siguientes propuestas:

- Establecer objetivos ambiciosos: Los objetivos de la normatividad deben ser ambiciosos para que realmente contribuyan a reducir la cantidad de residuos generados en el sector de alimentos y bebidas.
- Establecer obligaciones claras: Las obligaciones establecidas en la normatividad deben ser claras y específicas para que las empresas puedan cumplirlas de manera efectiva.
- Proporcionar incentivos: Los incentivos pueden ayudar a las empresas a adoptar prácticas circulares.
- Promover la educación: La educación es clave para promover la economía circular.
 El gobierno y las empresas deben trabajar juntos para educar a los consumidores sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar los residuos de alimentos y bebidas.
- Sancionar más estrictamente por no cumplir algún reglamento de la Ley General de Economía Circular y también anexar a las leyes estatales las sanciones de la cual la LGEC aplica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahena, L., (2023). Ley de economía Circular favorece a todos: COPARMEX. https://thefoodtech.com/industria-alimentaria-hoy/ley-de-economia-circular-favorece-a-todos-coparmex/
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, (2023). ¿Qué es la economía circular? Reduce, recicla y reutiliza. Communications. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-economia-circular/
- Clima de Cambios, (2019). ¿ Qué es la estrategia y cuál es su importancia? https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/que-es-la-economia-circular-y-cual-es-su-importancia/
- Ecoembes, (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible y economía circular. Ecoembes, 1–5. https://www.thecircularlab.com/objetivos-de-desarrollo-sostenible-y-economia-circular/
- Ecolec Fundación, (2018). Economía circular: claves para entender el modelo que está revolucionando la sostenibilidad. Información y Recursos. https://ecolec.es/informacion-y-recursos/economia-circular/#:~:text=La Economía Circular es un,problema para ofrecer soluciones viables.
- Familia por los ODS. (2021). 17.pdf. https://familiesforsdgs.org/economia-circular-y-ods/#:~:text=Cinco de los 17 ODS,y otros 3 están relacionados
- Foro Economía Circular, (2021). ¿Qué es la Economía Circular? https://foroeconomiacircular.com/la-economia-circular/
- García, K., (2021). Ventajas y desventajas de la fitorremediación. https://www.bbva.ch/noticia/ventajas-y-desventajas-de-la-economia-circular/
- Gobierno de la Ciudad de México, (2023). Ley De Economía Circular De La Ciudad De México.
 https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/640/775/796/640775796545e564034573.pdf
- Gobierno de México, (2023). Trabaja Semarnat en Estrategia Nacional de Economía Circular. https://www.gob.mx/semarnat/prensa/trabaja-semarnat-en-estrategia-nacional-de-economia-circular?idiom=es#:~:text=La estrategia propone promover un,de energía%2C agua y materiales.

- González, M. K. (2021). Mauricio kuri gonzález,. https://portal.queretaro.gob.mx/sedesu/contenido.aspx?q=0P7NpIeTMwztMUlqYErx VwYWzoohLEMQ9XELhKrGbe4=
- Instituto Belisario Domínguez, S. de la R. (2023). Ley General De Economía Circular: Nota Legislativa. Revista Internacional de Estadística y Geografía, 14, 38–53.
- Larios, T. N. (2022). Doc ID: 5fd2e71c78ae103c610e87314f98b322e5d7b007. https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/e2bc8a14941e31e3e2cebb9a1 dcc383b320fc1ba.pdf
- LEANpio. (2022). ODS 12: OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL RECICLAJE. https://www.leanpio.com/es/blog/ods12-objetivo-desarrollo-sostenible
- López, P. C., Rodríguez, A., & Vázquez, G. G. (2022). ¿Estamos preparados para la nueva ley de Economía circular en México? Pwc. https://www.pwc.com/mx/es/archivo/2022/20221004-economia-circular-esg.pdf
- Monreal, R. (2019). Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General de Economía Circular. https://www.senado.gob.mx/64/gaceta del senado/documento/101326
- Parlamento Europeo. (2023). Noticias Economía circular: definición, importancia y beneficios.

 https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/eco nomia-circular-definicion-importancia-y-beneficios
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2021). Economía Circular. https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/economia-circular?idiom=es
- Sandoval, E., Ramos, G. G., y Torres, A. C. (2023). Midiendo la Económia Circular en México. Revista Internacional de Estadística y Geografía. https://rde.inegi.org.mx/index.php/2023/01/04/midiendo-la-economia-circular-en-mexico/
- Tapia, P. (2023). Urgen acelerar la economía circular en México para seguir en el comercio exterior. https://www.forbes.com.mx/urgen-acelerar-la-economia-circular-en-mexico-para-seguir-en-el-comercio-exterior/
- Torres, M. C. (2022). Ley para la prevención y gestión integral de los residuos del Estado de Quintana Roo. http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L199-XVI-20220721-L1620220721257.pdf

Capítulo III

EFECTO DEL HIDROCARBURO EN LA FERTILIDAD DEL SUELO Y LA FASE VEGETATIVA DEL PHASEOLUS VULGARIS L.

Daniel Gutiérrez Ramos

https://orcid.org/0009-0005-6425-3431 dgutierrez.tc@uttab.edu.mx

Beatriz Adriana Alegría-Hernández

https://orcid.org/0000-0002-9226-1448 beatrizalegria19@gmail.com

Eduardo Torres Aguilar

https://orcid.org/0009-0001-2620-4269 eduardotorresag@gmail.com

RESUMEN

La contaminación del suelo por hidrocarburo es un aspecto de estudio y análisis en el contexto petrolero, con objeto de conocer los efectos que causa en la fertilidad de la tierra. De tal manera, que para conocer el impacto que genera en el crecimiento de la planta, es importante analizar indicadores presentes en la rizosfera, es decir la capa que rodea su raíz, por lo tanto, se presenta en este trabajo resultados científicos sobre temas relacionados con el efecto de hidrocarburos fracción ligera sobre la fertilidad del suelo para el crecimiento de la planta durante la fase vegetativa de la *Phaseolus Vulgaris*. Si bien es cierto, que existen trabajos científicos y documentales sobre el impacto del petróleo crudo sobre el suelo y su remediación, algunos de ellos solo reportan la degradación del hidrocarburo a través de diferentes metodología y técnicas. Mientras que en otros presentan magnitudes de parámetros que utilizan para evaluar la calidad de la fertilización con o sin hidrocarburo estos no son relacionados con la degradación del petróleo. Sin embargo, existen otros estudios que muestran resultados de textura, pH, materia orgánica, carbonato de calcio, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases, conductividad eléctrica,

hidrocarburos totales de petróleo, indicadores que fueron establecidos por distintos trabajos de investigación y normativas nacionales. De manera que, la literatura empleada en este análisis teórico también tiene un enfoque a las etapas de la fase evolutiva de la planta, entendiendo por ello, la germinación y emergencia.

Palabras clave: Fertilización de suelo, hidrocarburo, crecimiento de planta.

Introducción

El petróleo crudo es un recurso esencial en la mayoría de los países industrializados, porque hace que la vida sea más manejable en las ciudades modernas. Sin embargo, no se puede ignorar la contaminación que puede originarse por su uso. La contaminación por crudo de hidrocarburo es un problema ambiental que afecta tanto a la biodiversidad como a la salud humana, que puede generarse en cualquiera de las etapas de la cadena de valor del sector petrolero, es decir presentarse tanto en la exploración, producción, transporte como en la refinación y comercialización del crudo. Dawson et al (2007). De este modo, durante las operaciones y maniobras de equipos de perforación puede contaminarse el medio ambiente circundante a través de fuentes antropogénicas con filtraciones accidentales o deliberadas, es decir pueden surgir de un pozo petrolero o de las operaciones de producción, perforación, refinamiento y almacenamiento, por ejemplo el escape de hidrocarburos no quemados durante el proceso de quema de gas, roturas de oleoductos porque están sujetas a desgarros y desgaste por lo que pueden fallar con el paso del tiempo, la dispersión de los derrames de aguas con aceite provenientes de los procesos de separación que se realizan en las instalaciones petroleras (Onwurah, 2017).

En este contexto, durante las últimas décadas se ha reportado una liberación de contaminantes por parte de PEMEX, la cual es conducido hacia el subsuelo debido a la gravedad, hasta que se encuentra un horizonte impermeable (Un área rocosa, arcilla impermeable o un acuífero) donde se acumula libremente el hidrocarburo en su superficie por su mala miscibilidad. Entonces el hidrocarburo migra lateralmente hacia sitios intersticiales como lo señala el informe vía trasparencia PEMEX sobre eventos de derrames manifestados en México, de

2018 a 2021 de acuerdo con el informe Causa Natura (2022). Estos derrames de petróleo en el suelo al no eliminarse rápidamente afectan a tierras de cultivo y pantanos, los cuales se ven afectados porque al no evaporarse estos penetran la rizosfera, resultando con efectos adversos para la agricultura.

En otro informe, la SEMARNAT señala a México en el año 2018 en la contaminación ambiental sobre efectos atribuibles a procesos petroleros de la empresa Pemex, en la contaminación de 11 estados con hidrocarburos (crudo, aceite y gas). En Otro informe se señala que se contaminaron de 176 a 2935 sitios con aceite crudo y gas de alto impacto ambiental de acuerdo con datos de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medioambiente del sector hidrocarburos (ASEA) de acuerdo al Diario el Economista (2023).

Justificación

En el contexto de producción petrolera en el país, se comprende que las zonas asociadas a estas actividades son vulnerables a la degradación de su entorno debido a la existencia de oleoductos y gasoductos que se extienden por cientos de kilómetros y esto está creciendo año tras año. A pesar de todo el esfuerzo por las mejores prácticas en el manejo de la confiabilidad, otros estudios han reportado el efecto de la contaminación de hidrocarburo en animales, plantas y microorganismos convirtiéndose en un problema que influye en las personas y la ecología. Las fugas accidentales y derrames de aceites minerales son sucesos frecuentes que conducen al intercambio total o parcial del fluido y la estructura del suelo por el derrame con petróleo, que afectan las propiedades físicas y biológicas. Por lo anterior es necesario concientizar a la población sobre los efectos negativos de la contaminación del suelo y otros factores del medio ambiente como arie y aguas, sobre todo en suelo de cultivo, fomentando la responsabilidad individual y colectiva en la protección de la flora.

DESARROLLO

El petróleo crudo provoca contaminación y daño a los ecosistemas que dan origen a problemas de salud masivos para los organismos, incluidos los seres humanos (Glory y

Hemen, 2023). Al mismo tiempo ocasiona un deterioro progresivo de la calidad del ambiente que propicia una amenaza real tanto a la salud pública como a la extinción de especies vegetales y animales que entran en contacto con él, puesto que afectan dos actividades biológicas que ocurren en el suelo: las enzimáticas y el carbono de la biomasa microbiana. De igual manera, la contaminación por derivados del petróleo amenaza la sanidad no solo del suelo sino de los recursos hídricos. (Abbaspour et al., 2020). Este enfoque tiene un valor limitado cuando se consideran aspectos ecológicos y evaluaciones de riesgos porque la biodisponibilidad varía con el tipo de enlace hidrógeno — carbono y las propiedades fisicoquímicas del suelo (Plaza et al., 2005). Tomando en cuenta que ciertas áreas de suelos donde se extrae petróleo son recursos agrícolas en cultivo continuo, cualquier derrame de hidrocarburo dañaría las propiedades del suelo y comunidades de plantas debido a los cambios asociados a las nuevas condiciones del suelo (Anoliefo et al., 2003). Por ejemplo, cuando los nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas no están disponibles

Por otra parte, no solo el entorno macro del ecosistema es afectado, la contaminación por hidrocarburos suele llegar hasta las comunidades microbianas presente en suelos y agua, tanto en términos de diversidad como de función. En este sentido, (Bastida et al., 2010) organizaron un experimento de laboratorio, con un suelo de control y otro artificialmente contaminado con gasóleo, para seguir los cambios en las especies dominantes de una comunidad microbiana mediante técnica proteómica, a pesar de que concluyeron que el análisis de las proteínas extraídas de cultivos solo explica parcialmente los resultados, señalan que observaron diferencias micro orgánicas entre los suelos estudiados (p.480). Por lo tanto, hay afectación por el hidrocarburo empleado. Al mismo tiempo, en un estudio en suelos realizado en Aberdeenshire (Reino Unido) mostró que, a pesar de la presencia de un alto número de bacterias heterótrofas en las muestras estudiadas, el contenido de hidrocarburo inhibió las actividades enzimáticas (deshidrogenasa y fosfatasa), de hecho, el incremento de la inhibición fue proporcional a la concentración del contaminante. Explicando que la influencia de los hidrocarburos sobre la actividad enzimática está relacionada con las propiedades fisicoquímicas del suelo y son estas características las que juegan un papel importante sobre la diversidad y función de las comunidades de

microorganismos, ya que las actividades enzimáticas estimadas permitieron identificar esa relación (Alrumman et al., 2015).

En cambio, Labud et al. (2007) estudiaron bioensayos de toxicidad y parámetros microbiológicos y bioquímicos en dos suelos contaminados con una tasa de carga del 5% y 10% con tres tipos de hidrocarburos (Diésel, gasolina y petróleo crudo), en ambos suelos la contaminación por petróleo crudo y diésel afectaron el tamaño y la actividad de los microorganismos. Ellos notaron que, a pesar del hidrocarburo utilizado, el contenido de materia orgánica y arcilla del suelo también influía en la inhibición del tamaño de la población microbiana. (p.1864).

Considerando que la contaminación por hidrocarburos del suelo naturalmente bajas en carbono cambia in situ drásticamente su diversidad bacteriana, (Saul et al., 2005) detectaron que algunas de las proteobacterias utilizadas en sus ensayos experimentales tardaban en recuperarse después de entrar en contacto con el contaminante (p.143-147), sin embargo, dependiendo de la variedad del organismo este manifiesta una resistencia a ciertos derivados de hidrocarburos, adaptándose a las condiciones existentes y a los mecanismos de filtración en el perfil de suelo (Omwurah, 2007). En otro estudio, reportan algo similar, pues se vincula la inhibición del crecimiento de dos bacterias (*Pseuodomonas fluorescens* DR54 y *Sinorhizobium meliloti*) y dos protistas del suelo (*Cercomonas longicauda y Acanthamoeba castellanii*) con la actividad química de ciertos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), mostrando que las bacterias eran menos sensibles a fluoreno, fluoranteno, y naftaleno que las protistas, sugiriendo que la exposición a estos componentes afecta la estructura de la red alimentaria y el ciclo de la materia orgánica presente en el suelo (Winding, 2019).

A pesar de que existe más información sobre el impacto de la contaminación de suelos con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) se han reportado que, adicionando fertilizantes y fuentes bacterianas en estos, puede mejorar sus propiedades químicas y físicas, además investigaciones como la de (Reilley et al., 1997), demostraron que ciertas plantas también pueden mejorar la disipación de contaminantes orgánicos en el entorno inmediato de la

rizosfera. Cuando en su experimento en condiciones de invernadero estudiaron la degradación del antraceno y el pireno contenido en un suelo con cuatro especies de flora; después de 4 hasta 24 semanas de crecimiento de la vegetación, se tomaron muestras del suelo y del material vegetal y se analizaron para detectar los HAP, concluyendo que tienen concentraciones significativamente más bajas de estos derivados del petróleo los suelos con vegetación comparados con los que no tienen, oscilando entre un 30 y 44% más de degradación donde hay presencia de plantas; explicaron que la degradación biológica en la rizosfera parece ser un mecanismo de disipación apoyadas por la lixiviación y la degradación abiótica (p.213-215). Asimismo, la combinación de ciertas plantas y de sus microbios rizosféricos catabólicamente activos en el suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo pueden generar capacidades de transformación o de utilización de componentes orgánicos (carbono) en condiciones ambientales específicas, debido a las interacciones entre contaminantes orgánicos, su biodisponibilidad, estructura, factores de adsorción, transferencia de masa, bioaccesibilidad, y comportamiento del hidrocarburo que ayudan a el proceso de biodegradación del petróleo. Igualmente en un estudio, con espinillo amarillo (Hippophae rhamnoides) examinaron las respuestas de su crecimiento, intercambio de gases y de su sistema antioxidante en muestras con petróleo durante 5.5 meses de exposición, encontrando que la tasa de petróleo de hasta 15 g/kg de suelo, no afecto significativamente el crecimiento de la H. Rhamnoides, aunque si detectaron una reducción de su biomasa, probablemente debido al estrés abiótico en su sistema radicular y a la simbiosis de raíces fibrosas con un grupo de bacterias fijadoras de Nitrógeno que formaron nódulos con las raíces (Ite & Ibok, 2019). Es más, (Ryan et al., 2008) agregan que estas capacidades de transformación del hidrocarburo son apoyadas por la colonización que ciertas bacterias como la endofíticas hacen en el tejido interno de la planta, promoviendo su crecimiento directo e indirecto y por ende su rendimiento (p.5-7). De modo similar (Ogbona et al., 2007) sugirió que la aplicación de fertilizantes no sólo estimula el crecimiento microbiano, sino que proporciona a la planta más nutrientes disponibles necesarios para su crecimiento, ya que encontró en sus resultados un mayor número de hojas, % de emergencia del cultivo, biomasa vegetal, población microbiana y degradación de hidrocarburos de petróleo en comparación con cualquiera de los tratamientos que habían recibido petróleo crudo sin fertilizantes (p.307-308).

La afectación que generan los hidrocarburos a la fertilidad es por su influencia en mecanismos relacionados con la toxicidad directa en los organismos en el suelo, compactación, cambios en pH, salinidad, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes (Adams et al., 2008). De igual forma, retomando las conclusiones de (Abbaspour et al., 2020) quiénes en su estudio señalan que la toxicidad de los hidrocarburos de petróleo, tanto en C₁₁ a C₁₅ como los de C₂₁ a C₂₅, son variables, pero que observaron más toxicidad en los de menor peso molecular. (Labud et al., 2007) señala que la gasolina tuvo en ambos suelos, el mayor efecto inhibidor sobre las actividades hidrolasas involucradas en los ciclos de Nitrógeno, fosforo o Carbono que son requeridos en los procesos de fertilización del suelo. A demás todos los contaminantes utilizados inhibieron las actividades de la hidrolasa en el suelo arenoso, mientras que en el suelo arcilloso el gasoil estimuló la actividad enzimática, particularmente en la concentración más alta. En ambos suelos, se observó un efecto fitotóxico sobre la germinación de semillas de cebada y raigrás en los suelos contaminados, particularmente en aquellos contaminados con diésel o petróleo (p.1870).

En estudios como el de (Caravaca et al., 2003) identificaron que la contaminación por hidrocarburos no aumenta la actividad h-glucosidasa, que se encuentra relacionada con el ciclo del carbono orgánico, esencial para la actividad biológica del suelo, pues permite proporcionar recursos energéticos a ciertos organismos presentes en el, lo que sugiere que la materia orgánica contenida en los hidrocarburos contiene compuestos h-glucósidos, componente que Caravaca et al, vinculan a la fertilidad del suelo. Es más, en un informe presentado por (Nyman, 1999) expresan que, en sus experimentos, el aceite crudo generó una reducción de la capacidad oxidante del suelo, lo que explicaba porque observaron un metabolismo acelerado en las especies estudiadas. También reportaron que la remineralización de los nutrientes presentes en las muestras, se incrementa en función de la mineralización de la materia orgánica. Si toma en cuenta, que la mineralización es un proceso bioquímico mediante el cual los microorganismos del suelo obtienen la energía para realizar

sus procesos metabólicos, entonces se entiende porque algunos informes proponen que el petróleo crudo estimula el crecimiento de ciertas plantas, a pesar de que se tiene conocimiento de los efectos de toxicidad que puede proveer a los microbios, vegetación y fauna que entran en contacto con él.

Los resultados expuestos por (Nyman, 1999) pueden resultar contradictorios para otras especies de flora y fauna, pues existen informes como el reportado por (Serrano et al., 2021) que indican que altas concentraciones de petróleo crudo reduce el contenido de clorofila, la biomasa, la raíz, y las hojas en plantas, por consiguiente, impacta en su bioquímica, fisiología y crecimiento, que fue resultado de sus ensayos experimentales sobre el cultivo de dos especies de maíz. En ese estudio, reportaron los cambios biofísicos y espectrales observados y producidos por la presencia de hidrocarburos (refinado y crudo) a través de la estimación de componentes (Almidón, lignina y celulosa) que participan en la formación de biomasa vegetal y de mediciones de reflectancia para concluir que existe un crecimiento restringido de los dos fenotipos sembrados en los suelos contaminados con altas concentraciones de petróleo (p.16-25), es decir, identificaron una reducción en su altura y peso, incluso describen cambios en su estructura celular. Conviene destacar, que los resultados mostraron diferencias en el tiempo de respuesta del crecimiento y las concentraciones de clorofila dependiendo del fenotipo y del nivel de contaminación. De modo similar (Odukuya et al., 2019), señalaron que los parámetros (Hidrocarburo totales de petróleo, pH, fenólico totales, flavonoides totales, clorofila y ácidos orgánicos no volátiles) analizados se vieron afectados por la variedad de la col rizada (Brassica oleracea L.), lechuga (Lactuca sativa L.) por el aceite crudo utilizados en sus experimentos. En sus datos señalaban que las bajas concentraciones de clorofila identificadas en las plantas, se debía a la baja disponibilidad de nutrientes que se presentaba en suelos contaminados, y mientras mayor era el contenido de hidrocarburo, menor la concentración de clorofila en las hojas, afectando el crecimiento de las hojas (p.9). También, (Cramer, Urano, Delrot, Pezzotti, y Shinozaki., 2011) apoyaron esta tesis, de que el aceite crudo presente en suelos puede perturbar la germinación, el crecimiento y el rendimiento óptimo de las plantas, a través de las afectaciones en la regulación bioquímica de los procesos de transporte de iones y agua, señalando además que estas alteraciones provienen no solo por el aceite sino por las tensiones abióticas y osmóticas que se manifiestan tiempo después de la contaminación inicial, dicho de otra manera, el agotamiento de energía que puede manifestar una planta está vinculada a las privaciones de nutrientes o condiciones hipóxicas que el entorno provee en el desarrollo vegetativo y de crecimiento de la planta (p7-10).

Dicho de otra manera, en tratamientos altamente contaminados la retención de agua y la conductividad hidráulica no saturada del suelo se vieron afectados por el hidrocarburo, explicando que estos resultados son debido a las moléculas de diésel, que actúan como un recubrimiento en las partículas del suelo, reduciendo la absorción de agua, intercambios catiónicos y reacciones químicas, por esta razón, se dificultaba la correcta germinación y crecimiento de cultivos, de ahí que reporten la existencia de crecimiento diferente en la dimensión de la hoja (ancho, longitud, y área), además de cambios en la morfología foliar (Aisueni, 2015). De acuerdo con el estudio de (Kirket al., 2005) estas alteraciones en la germinación podrían deberse a la reducción de oxígeno y humedad, mala accesibilidad a los nutrientes para las plantas y aumento de la toxicidad de las composiciones de petróleo en el suelo. (p.18). Por lo que se refiere a dimensiones de la planta, (Leil, 2020) señaló que la exposición del frijol a niveles de 100 ml de hidrocarburo por kg de suelo, tuvo efectos adversos a su crecimiento, puesto que la circunferencia del tallo fue menor a la esperada, mientras que el color de las hojas presentaba un color amarillento, en comparación con las que no tenían ningún nivel de aceite crudo, finalizando que estos resultados negativos de desarrollo vegetativo está determinado por la concentración a la que está expuesta la planta en particular y su persistencia en el entorno (p.199).

Considerando que la presencia o adición de ciertos elementos del suelo contaminado por hidrocarburo, puede ser recuperada para el cultivo de plantas, no se puede omitir que la limitación de los principales nutrientes (Nitrógeno, Fosforo y Potasio) afecta la supervivencia y la actividad metabólica de las plantas. De ahí que en un estudio sobre la relación de nutrientes con la supervivencia y la actividad metabólica de cierta flora (*Lolium multiflorum*) cultivada en suelo contaminado con diésel, reporta que el crecimiento del pasto ray grass no

se vio afectado a la disponibilidad de nutrientes gracias a la asistencia de bacterias en la rizosfera del suelo, observando una mayor producción de biomasa vegetal y mineralización del alcano, demostrando lo que otros trabajos de investigación han señalado, que el crecimiento vegetal está relacionado con la degradación de hidrocarburos, colonización bacteriana y nivel de nutrientes, ya que esto último mejora la supervivencia de los bacterias inoculadas (Arslan, 2014).

Otro punto es, que la contaminación por hidrocarburos no solo afecta la fertilidad del suelo, también tiene implicaciones perjudiciales desde las perspectivas de consistencia, resistencia y microestructural, esto ha sido motivo de preocupación para los ingenieros geotécnicos y ha llevado a investigadores a examinar sus implicaciones de forma experimental, de ahí que (Elsaigh & Olurimi, 2021) reportaron que a partir de suelos con 12% de contenido de hidrocarburo, presentan efectos adversos sobre algunas de sus propiedades geotécnicas. En otro estudio, (Portelinha et al., 2021), comparan suelos contaminados con diferentes concentraciones de diésel, encontrando una disminución de hasta un 70% de su resistencia como efecto de la reducción capilar y aumento de la lubricación.

Asimismo, señalan que los bajos contenidos de diésel pueden influir en la compactación del suelo natural. A pesar de que se pudiera entender que existe una relación entre la mineralogía y los hidrocarburos, ellos la descartan. (Mashalah, et al., 2007) aplicando la ASTM D422-63, D4318-84 y D854-92 y difracción de rayos X (DRX) y análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar la mineralogía y la composición química de los suelos respectivamente, además el método Brunauer, Bower y Gschwend, encontraron una disminución en los parámetros: densidad seca máxima de la muestra, el contenido óptimo de agua y la permeabilidad, alterando la textura y las fuerzas de Vander Walls contenidas en el suelo) al estudiar muestras contaminadas con petróleo en cantidades del 2%, 4%, 8%, 12% y 16% en peso seco.

A pesar de que hay una similitud en la tendencia de los resultados, estos no son uniformes y son dependientes del tipo de suelo (p.227-229). De modo similar, (Mekkiyah et al., 2023),

reportaron que los valores de permeabilidad para suelo franco arenoso disminuyeron (3,6 \times 10⁻⁶ a 0,25 \times 10⁻⁶ cm/s) cuando el contenido de aceite aumentó de 0 a 16%; mientras que para la marga limosa también se redujeron (2,6 \times 10⁻⁶ a 0,25 \times 10⁻⁶cm/s), explicando que esta reducción se debe al bloqueo específico del aceite entre los espacios de la partícula del suelo.

MÉTODO

Localización del sitio y muestreo

La unidad de muestreo se localizó con equipo GPS, delimitando la superficie con base a su homogeneidad. Se definió el plano de muestreo, se seleccionó un punto representativo, elegidos al azar, retirando de su superficie residuos orgánicos y colocando sobre ellos, el muestreador manual de suelo de acero inoxidable de 3 ¼ pulgadas con una extensión de 1.7m.

RESULTADOS

Se obtuvieron 4 núcleos antes de llegar al estrato con abundante agua. Estableciendo una profundidad de 1.30 m. Los núcleos fueron situados sobre recipientes de PVC y embalados con una película de plástico transparente evitando la contaminación de los estratos u horizontes que lo constituyen, de acuerdo con el proceso descrito en la NOM-032-SEMARNAT.

La muestra, fue etiquetada indicando: Nombre del lugar donde se extrajo, cultivo existente, número de perfil, espesor y número de denominación del horizonte, fecha de colecta y observaciones. Para las muestras aleatorias, se definieron doce sitios en zigzag a lo largo de una línea trazada a partir del punto de inicio, se midieron 6 m de distancia entre los diferentes puntos, en relación con el número de submuestras elegido con el objeto de que fueran representativas del área de estudio.

Para evaluar la fertilidad del suelo se hiso una extracción de tierra de la zona conocida como rizosfera del frijol a una profundidad de 30 cm utilizando una pala puntiaguda de acero inoxidable con dimensiones 109,2 x 5,1 x 2,5 cm., antes de esto, se removieron residuos orgánicos en la superficie que no se toman en cuenta en las pruebas. La tierra fue colocada en bolsas de polietileno procurando que los volúmenes fueran homogéneos en cada una de ellas. Se registraron condiciones generales del sitio de referencia como: clima, topografía, vegetación, geología y altitud.

Muestra compuesta.

Las 12 muestras fueron sometidas a un proceso de homogenización, por consiguiente, se introdujeron en una bolsa de polietileno de 60x90 cm con capacidad de 20 kg de suelo, utilizando una cuchara para jardín de acero inoxidable, evitando la contaminación con otros materiales. Después del mezclado de las muestras, se formó una torta circular, misma que se dividió en cuatro partes iguales, desechando dos y con las restantes se repitió el proceso hasta que obtuvimos un peso de 1.6 kg en cada una de las muestras, El suelo molido se hiso pasar por un tamiz con aberturas de 2 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable, este mallaje es conveniente para la mayoría de los análisis que se efectuaron en este trabajo. (NOM-032-SEMARNAT).

Diseño del experimento

Se colocó 5.0 kg de suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo en recipientes de 400 ml (6 cm de ancho por 15 cm de alto). En ellas, se sembraron semillas de Phaseolus Vulgaris. El experimento fue de tipo factorial (Mashalah et al., 2007) estableciéndose cuatro testigos: 1). suelo sin contaminación (C); 2). Suelo contaminado con 10 mg/ kg de suelo; (S-10) 3). suelo contaminado con 20 mg/kg de suelo (S-20). 4) suelo contaminado con 30 mg/kg (S-30), se aplicaron 5 réplicas para cada tratamiento. se evaluaron 12 de las 20 muestras preparadas.

Caracterización del suelo.

Se determinaron las densidades aparente y real (NOM-021-RECNAT-2000 Método AS-03 y AS-04 respectivamente), el contenido de humedad del suelo y materia orgánica las (NOM-021 Método AS 05 y AS 07). Se determinaron textura del suelo orgánico (NOM-021 Método AS 09), la capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio) en suelos ácidos a calcáreos (NOM-021 Método AS 13) En esta etapa se midió el contenido de Nitrógeno inorgánico (NOM-021 AS- Método 08). el valor de pH, medido en agua usando el método (NOM-021 Método AS-02), finalmente el Fósforo extraíble, en suelos de ácidos a neutros Método (NOM-021 Método AS-11).

La experimentación con macetas se desarrolló en los alrededores de laboratorio de Físico Química de la universidad Tecnológica de Tabasco Semillas individuales de Phausoulus Vulgaris L de la especie Frijol negro, se cultivaron macetas de 400 ml (6 cm de ancho por 15 cm de alto) y se llenó inicialmente con 150 gr de muestras de suelo, tamizado y mezclado en para mantener uniformidad. (Florence et al., 2015).

Las plantas se regaron con 200 ml de agua corriente una vez cada dos días, durante 5 semanas y luego con un sistema de riego automático (riego por goteo con púas de riego) configurado para entregue de 100 ml de agua dos veces al día, por la mañana y por la noche Las plantas crecieron iluminadas únicamente por la luz solar (aproximadamente 16 h de duración del día). Higrómetro de mano MultispeQ registrando temperatura y humedad ambiental cuando se tomaron lecturas de entrada.

Se realizó análisis de varianza (ANDEVA) para evaluar los efectos del hidrocarburo sobre la fase vegetativa del Phaseolus Vulgaris L. (Negro). Asimismo, se realizó prueba de medias de Tukey (Zar, 2010), para establecer las posibles significancias estadísticas identificada en los experimentos.

CONCLUSIONES

En resumen, se puede inferir que el hidrocarburo, tiene efectos geotécnicos en el suelo, fisiológicos y morfológicos en las plantas. Es decir, la toxicidad de los componentes del contaminante depende en gran medida de la sustancia química y propiedades físicas del tipo partícula de petróleo crudo y la calidad del suelo contaminado. Dicho de otro modo, el impacto geotécnico se debe a la migración que tienen los hidrocarburos a través de los capilares del suelo ocupando sus espacios intersticiales, excluyendo tanto el aire como el agua, generando ciertos cambios en sus propiedades estructurales y físicas tales como la conductividad eléctrica.

Con respecto al comportamiento fisicoquímico, el hidrocarburo aumentó el pH de los suelos a alcalino, el nitrógeno total y redujo significativamente una cantidad relativa de fósforo debido a la absorción de componentes del aceite crudo por las raíces y transportados a través del sistema vascular, alterando procesos metabólicos esenciales, además que en la etapa germinal el acceso al agua, nitrógeno y fosforo es limitativa por la capa adherente que las partículas de tierra presentan por el aceite (Okafor, 2023). Por lo tanto, los espacios intersticiales que usualmente contienen oxígeno y otros elementos esenciales para el desarrollo de la planta carecen de ellos. Por otra parte, estos cambios fisicoquímicos inducen una disminución en la tasa de fotosíntesis en la planta, por la inhibición de la actividad de las enzimas que participan en este proceso.

Asimismo, los hidrocarburos pueden perturbar la respiración celular comprometiendo la producción de energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Caravaca et al, 2003). Dando lugar a un crecimiento retardado que se manifiesta con una disminución en el contenido de biomasa. Los resultados revisados en los estudios mencionados en este apartado muestran que la bioatenuación establecida con el tiempo durante las pruebas de germinación en suelos contaminados con hidrocarburo pesado, producían un menor impacto en el rendimiento de los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Además de los efectos mencionados, la contaminación con hidrocarburo pesado igualmente puede causar alteraciones morfológicas en las plantas. Pues como se identificó en los índices de germinación y crecimiento existe una disminución en la longitud de las raíces y aumento en la densidad de los pelos radicales presentes en la rizodermis uniseriada que forma la raíz primaria en aquellas plantas expuestas a altas concentraciones de hidrocarburo empleado. Afectando en algunos casos la capacidad de absorción de nutrientes y de agua del suelo, por lo tanto, comprometiendo su crecimiento y desarrollo. Por consiguiente, la existencia de deformaciones en hojas y tallos, así como la disminución en la dimensión y número de flores y frutos. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, las plantas pueden desarrollar mecanismos de ajuste a la contaminación con hidrocarburos.

PROPUESTAS

A pesar de que en Tabasco el derrame de hidrocarburo no afecta directamente la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris*). Esta fue motivo de estudio por las evidencias de los efectos en el suelo y en el crecimiento de las plantas. Y que se hace relevante porque la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca declara la potencialidad del cultivo del frijol en Tabasco, por la asociación que tiene esta leguminosa en la seguridad alimentaria de la población, pues representa una fuente de proteína para los estratos sociales de bajo ingreso. Sin embargo, de acuerdo con la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 de la Secretaría de Agricultura, el crecimiento óptimo de la planta de frijol requiere de condiciones físicas y químicas que no todos los suelos de Tabasco presentan. Por esa razón se consultó una publicación "Suelos de Tabasco" escrita por la sociedad de Postgraduados de Tabasco en 2007, que señala los municipios que poseen un suelo con texturas arcillo-limosas. Se seleccionó Macuspana, a pesar de no estar en los sitios que jerarquizan la producción de frijol. Por lo que conviene destacar, que en la revisión de ciertas publicaciones sobre los efectos de los hidrocarburos en las propiedades de los suelos sobre el cultivo de plantas, es el inicio de las actividades de investigación que se están desarrollando en la Universidad Tecnológica de Tabasco sobre este tema "Determinación del efecto del suelo contaminado con aceite crudo en la primera fase evolutiva del frijol(Phaseolus vulgaris), mismas que se encuentran en la etapa de caracterización y perfil del suelo, que fue muestreado en el poblado Ranchería Pedro C. Colorado 1ra. Sección, carretera Macuspana -Escárcega Km 60 en Tabasco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aisueni, F., Ekiyor, T., & Felix, B. (2015). Comparative Study of Trace amount of Hydrocarbon in Polluted soil on Bean (Vigna unguiculaga) and Waterleaf (Talimum triangulase). Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 5, 171-179.
- Ali, M., Khan, M., Naveed, M., & Tanvir, M. (2023). Microbe-assisted rhizodegradation of hydrocarbons and growth enhancement of wheat plants in hydrocarbons contaminated Soil. International Journal of Environmental Science and Technology, 1-16. http://dx.doi.org/10.1007/s13762-023-05174-3
- Alrumman, S., Standing, D., & Paton, G. (2015). Effects of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. Journal of King Saud University Science, 27(1), 31–41. http://dx.doi:10.1016/j.jksus.2014.10.001
- Anoliefo, G., & Oghale, O. (2003). Bioremediation of crude oil polluted soil by the white rot fungus, Pleurotus tuberregium (Fr.) Sing. Environmental Science and Pollution Research, 10(2), 108–112. http://doi:10.1065/espr2002.04.114
- Armado, M., Ebadi, T., & Maknoon, R. (2021). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of sand-kaolinite mixtures. Engineering Geology, 283, 106021. http://doi:10.1016/j.enggeo.2021.106021
- Arslan, M., Afzal, M., Amin, I., Iqbal, S., & Khan, Q. (2014). Nutrients Can Enhance the Abundance and Expression of Alkane Hydroxylase CYP153 Gene in the Rhizosphere of Ryegrass Planted in Hydrocarbon-Polluted Soil. PLoS ONE, 9. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111208
- Bastida, F., Nicolás, C., Moreno, J., Hernández, T., & García, C. (2010). Tracing changes in the microbial community of a hydrocarbon-polluted soil by culture-dependent proteomics. Pedosphere, 20, 479-485. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60037-9.
- Caravaca, F., & Roldán, A. (2003). Assessing changes in physical and biological properties in a soil contaminated by oil sludges under semiarid Mediterranean conditions. Geoderma, 117, 53-61. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00118-6.
- Causa atura (2022, 22 de marzo), Pemex registra 176 derrames y fugas de alto impacto ambiental de 2018 a 2021, recuperado el 07 de noviembre de 2023 de https://causanatura.org//periodismo-cn/pemex-registra-176-derrames-y-fugas-de-alto-impacto-ambiental-de-2018-a-2021

- Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., & Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. BMC plant biology, 11(1), 1-14. https://http://dx.doi.org/10.1186/1471-2229-11-163
- Dawson, J. J. C., Godsiffe, E. J., Thompson, I. P., Ralebitso-Senior, T. K., Killham, K. S., & Paton, G. I. (2007). Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. Soil Biology and Biochemistry, 39(1), 164-177.
- Elsaigh, W., & Oluremi, J. (2021). Assessment of Geotechnical Properties of Oil Contaminated Subgrade Soil: Review. Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 31, 586 610. https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1985079.
- Fine, P., Graber, E. R., & Yaron, B. (1997). Soil interactions with petroleum hydrocarbons: abiotic processes. Soil Technology, 10(2), 133-153. https://doi.org/10.1016/S0933-3630(96)00088-8
- Florence, A., Tari, H., & Barisi, S. (2015). Comparative Study of Trace amount of Hydrocarbon in Polluted soil on Bean (Vigna unguiculaga) and Waterleaf (Talimum triangulase): Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 5, 14. https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/24406/24982
- Gobierno de México (2018), Plan Nacional para la Producción de Hidrocarburos, presidencia de la república, hidrocarburos?idiom=es
- Glory B., Hemen D., (2023) Crude oil associated heavy metals (HMs) contamination in agricultural land: Understanding risk factors and changes in soil biological properties, Chemosphere, Volume 310.
- Ite, A., & Ibok, U. (2019). Role of Plants and Microbes in Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons Contaminated Soils. Journal of Food and Nutrition Research, 7, 1-19. https://doi.org/10.12691/IJEBB-7-1-1.
- Kirk, J., Moutoglis, P., Klironomos, J., Lee, H., & Trevors, J. T. (2005). Toxicity of diesel fuel to germination, growth and colonization of Glomus intraradices in soil and in vitro transformed carrot root cultures. Plant and Soil, 270(1), 23–30. http://doi.org/10.1007/s11104-004-1013-x
- Labud, V., García, C., & Hernández, T. (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of sandy and a clay soil. Chemosphere, 66 10, 1863-71. https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2006.08.021.

- Leil, I. (2020). Hydrocarbons spills and their effects on germination and growth in polluted soils. Eph -International Journal of Applied Science. https://doi.org/10.53555/eijas.v6i3.94.
- Mashalah, K., Amir, H., Majid, Tajik. (2006). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils, Engineering Geology, Volume 89, Issues 3–4, 220-229, ISSN 0013-7952, https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.10.009.
- Mekkiyah, H. M., Al-Hamadani, Y. A., Abdulhameed, A. A., Resheq, A. S., & Mohammed, Z. B. (2023). Effect of Crude Oil on the Geotechnical Properties of Various Soils and the Developed Remediation Methods. Applied Sciences, 13(16), 9103. https://doi.org/10.3390/app13169103
- Nyman, J. (1999). Effect of Crude Oil and Chemical Additives on Metabolic Activity of Mixed Microbial Populations in Fresh Marsh Soils. Microbial Ecology, 37, 152-162. https://doi.org/10.1007/s002489900139.
- Odukoya, J., Lambert, R., & Sakrabani, R. (2019). Impact of crude oil on yield and phytochemical composition of selected green leafy vegetables. International Journal of Vegetable Science, 25(6), 554-570. http://dx.doi.org/10.1080/19315260.2018.1563845
- Ogbonna, D., Iwegbue, C., Sokari, T., & Akoko, I. (2007). Effect of bioremediation on the growth of Okro (Abelmoshus esculetus) in the Niger Delta soils. The Environmentalist, 27(2), 303–309. http://doi:10.1007/s10669-007-9006-y
- Okafor, U. (2023). Evaluation of the Impact of Crude Oil Contamination on Soil's Physicochemical Characteristics, Micro-flora and Crop Yield. Tropical Aquatic and Soil Pollution. 3. 24-35. http://doi.org/10.53623/tasp.v3i1.132.
- Onwurah, I., Ogugua, V., Onyike, N., Ochonogor, A., & Otitoju, F. (2007). Crude oil spills in the environment, effects and some innovative clean-up biotechnologies. http://doi:10.22059/IJER.2010.142
- Palma, D., Cisneros, J., Moreno, E., & Rincón, J. (2007). Suelos de Tabasco: Su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Tabasco, México, 195. ISBN:968-839-552-8
- Płaza, G., Nałęcz, G., Ulfig, K., & Brigmon, R. L. (2005). The application of bioassays as indicators of petroleum-contaminated soil remediation. Chemosphere, 59(2), 289-296.

- Portelinha, F, De Souza S., Mendes & Jose Wilson Batista Da Silva (2021) Geotechnical Properties and Microstructure of a Diesel Contaminated Lateritic Soil Treated with Lime, Soil and Sediment Contamination: An International Journal, 30:7, 838-861, http://doi.org/10.1080/15320383.2021.1893648
- Qiuxiao Duan, Gang Han, Bixiao Cui & Heinz Rennenberg. (2023) The effects of petroleum contaminated soils on the growth, gas exchange and antioxidative level of seabuckthorn. Plant and Soil 486:1-2, pages 535-550. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-023-05888-w
- Reilley, K., Banks, M., & Schwab, A. (1996). Dissipation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Rhizosphere. Journal of Environmental Quality, 25, 212-219. https://doi.org/10.2134/JEQ1996.00472425002500020002X.
- Ryan, R. P., Germaine, K., Franks, A., Ryan, D. J., & Dowling, D. N. (2008). Bacterial endophytes: recent developments and applications. FEMS Microbiology Letters, 278(1), 1–9. http://doi:10.1111/j.1574-6968.2007.00918.x
- SAGARPA, 2008; Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo del frijol (phaseolus vulgaris l.) en el estado de Tabasco, recuperado el 06 de noviembre de 2023 https://campotabasco.gob.mx/?potencialidades=2058
- Saul, D., Aislabie, J., Brown, C., Harris, L., & Foght, J. (2005). Hydrocarbon contamination changes the bacterial diversity of soil from around Scott Base, Antarctica. FEMS microbiology ecology, 53 1, 141-55. https://doi.org/10.1016/J.FEMSEC.2004.11.007.
- Serrano, R., Cutler, M., & Bengough, A. (2021). Spectral and Growth Characteristics of Willows and Maize in Soil Contaminated with a Layer of Crude or Refined Oil. Remote. Sens., 13, 3376. https://doi.org/10.3390/rs13173376.
- Winding, A., Modrzyński, J., Christensen, J., Brandt, K., & Mayer, P. (2019). Soil bacteria and protists show different sensitivity to polycyclic aromatic hydrocarbons at controlled chemical activity. FEMS Microbiology Letters. http://doi:10.1093/femsle/fnz214

Capítulo IV

ANÁLISIS PROSPECTIVO DE NANOPARTÍCULAS USADAS EN LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Gabriel Ramón Hernández

https://orcid.org/0009-0009-8045-8428 gramon.tc@uttab.edu.mx

Elsa Emilia Uicab Córdova

https://orcid.org/0000-0003-3399-530X eeuicabc@gmail.com

Ángel de Jesús González Acencio

https://orcid.org/0009-0004-3030-8097 aglz2208@gmail.com

RESUMEN

La industria petrolera ha realizado esfuerzos muy significativos con la finalidad de formular un fluido capaz de cumplir con las expectativas desde los aspectos técnicos, económicos y ambientales, haciendo uso de los avances tecnológicos como la nanotecnología, con la esperanza de que se puedan resolver problemas asociados con las operaciones de perforación. Para optimizar las propiedades de los fluidos de perforación y éste pueda cumplir con su función, se utilizan diferentes aditivos, tales como productos químicos, polímeros y especialmente hoy en día las nanopartículas (NPs), en la cual investigadores han puesto sus ojos para ver los beneficios que éstas puedan ofrecer en la mejora de sus propiedades. El empleo de la nanotecnología como aditivo en los fluidos de perforación ha sido objeto de investigaciones, interesándose en el desarrollo de productos que sean más eficientes y que éstos puedan proporcionar beneficios en las propiedades reológicas, pérdidas de circulación y estabilidad de lutitas. Se han tenido resultados interesantes acerca de la aplicación de nanopartículas en la elaboración de un lodo de perforación, ya que se puede evitar la invasión del filtrado en las lutitas, así como problemas comunes que se presentan durante la perforación de pozos tal como la inestabilidad del agujero e hinchamientos. La capacidad

que tienen las NPs para adaptarse a cualquier situación en particular puede disminuir el uso de otros aditivos costosos y mejorar la funcionalidad de los fluidos

Palabras clave: Nanopartículas, nanofluidos, reología.

Introducción

Desde los comienzos de la perforación de pozos petroleros y de gas, ha sido necesario el uso de los fluidos de perforación, proponiendo una mezcla de arcilla y diferentes fibras para producir un fluido viscoso capaz de mantener estables las paredes del pozo, que pueda enfriar y lubricar la barrena que transporte los recortes desde el fondo del pozo hasta la superficie, así como de mantener controladas las presiones de la formación. Es muy importante en todo momento, monitorear las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación, teniéndolas dentro de los rangos establecidos por las condiciones propias del pozo, para que de esta forma ayude al logro del éxito de la perforación, y pueda llevarse a cabo de manera rápida y segura, evitando en todo momento daños a la salud y al medio ambiente (*Manual Fluidos de Perforación MI SWACO | PDF*, 2000).

El diseño y composición de los fluidos de perforación está en función de la formación litológica, temperatura, hidráulica, tipo de pozo, profundidad, logística, en otras palabras, depende de las exigencias de cada operación de perforación en particular, considerando si es necesario realizar mejoras a los fluidos requeridos, para enfrentar las condiciones que se encuentran a medida que avance la perforación (*Manual de Fluidos de Perforación Pdvsa Cied - 003 | PDF |*2007). Dentro de las principales funciones de los fluidos de perforación, una de las más básicas es sellar las formaciones permeables y controlar la filtración, para lo cual se emplean tradicionalmente varios tipos de aditivos capaces de minimizar daños a la formación, evitar pérdidas de circulación, pega de tuberías, entre otros. Para optimizar las propiedades de los fluidos de perforación y éste pueda cumplir con su función, se utilizan diferentes aditivos, tales como productos químicos, polímeros y especialmente hoy en día las NPs, en la cual muchos investigadores han prestado atención para ver los beneficios que éstas

puedan ofrecer en la mejora de sus propiedades. El empleo de la nanotecnología como aditivo en los fluidos de perforación ha sido objeto de muchas investigaciones, interesándose en el desarrollo de productos que sean más eficientes y que éstos puedan proporcionar beneficios en las propiedades reológicas, pérdidas de circulación y estabilidad de lutitas. Son interesantes los resultados obtenidos de la aplicación de nanopartículas en el lodo de perforación que evitan la invasión del filtrado en las lutitas, dado que se está evitando problemas comunes que se presentan durante la perforación tal como son inestabilidad del agujero e hinchamientos de lutitas.

Las NPs poseen propiedades físicas y químicas mejoradas en comparación con los materiales de tamaño macro y micro, lo que se puede atribuir a su pequeño tamaño junto con su relación superficie-volumen extremadamente alta. Estas propiedades hacen que las NPs sean los materiales más prometedores para el diseño de fluidos de perforación inteligentes con propiedades personalizadas que pueden cumplir con los requisitos de los exigentes entornos del fondo del pozo (Vryzas, y Kelessidis, 2017). Debido a que las NPs exhiben diferentes comportamientos de adsorción y transporte en diferentes medios porosos, se han utilizado con éxito como estabilizadores en emulsiones y espumas, modificadores de la reología y aditivos para la pérdida de circulación en fluidos de perforación a base de agua, de polímeros o surfactantes (Carpenter, 2016).

El propósito fundamental de este trabajo de investigación es revisar las principales NPs que hoy en día se están desarrollando y algunas que ya se pusieron a prueba en la formulación de fluidos de perforación, con la finalidad que puedan ser de utilidad en el diseño de nuevos fluidos con mejores características y propiedades, dando respuesta a cuestionamientos como: ¿Se pueden utilizar como modificadores de reología? ¿Pueden mejorar las características de filtración? ¿Cuál sería la mejor concentración? ¿Se ven afectados por las altas temperaturas?.

DESARROLLO

Con la nanotecnología se pueden manipular átomos y moléculas a escalas nanométricas dando lugar a materiales, estructuras, herramientas, dispositivos, circuitos, sensores, entre otros, con propiedades superiores tales como ser liviano y de alta resistencia, y algunas capacidades como conductividad óptica, mecánica, eléctrica y térmica. El nacimiento de la nanotecnología como área de investigación multidisciplinaria, es capaz de construir y manipular el avance de los nanomateriales y los nanofluidos, donde la industria del petróleo y el gas se ve beneficiada con la nanotecnología avanzada moderna, particularmente en la eficiencia de la recuperación de petróleo (Shingala, et al., 2020). El uso de las NPs en la industria de la perforación de pozos petroleros se ha introducido recientemente para mejorar el rendimiento y ciertas propiedades físicas, químicas y reológicas de los fluidos de perforación, así como también en áreas como la detección de yacimientos, perforación de pozos a través de lutitas y recuperación mejorada de petróleo.

La industria petrolera ha realizado esfuerzos muy significativos con la finalidad de formular un fluido capaz de cumplir con las expectativas desde los aspectos técnicos, económicos y ambientales, haciendo uso de los avances tecnológicos como la nanotecnología, con la esperanza de que se puedan resolver problemas asociados con la limpieza deficiente del pozo, control de pozos, zonas de pérdida de circulación, gelificación de fluidos, invasiones de influjos de la formación, entre otros, es decir; busca formular un fluido integral ideal para proporcionar un buen rendimiento en condiciones adversas durante las operaciones de perforación (Ismail, et al., 2018).

Las NPs han sido diseñadas para adaptarse a cualquier situación en particular, mejorando la funcionalidad de los fluidos, tapando físicamente los poros de lutitas de tamaño nanométrico, disminuyendo así el uso de otros aditivos que son de alto costo. Sin embargo, es de reconocer que la industria del petróleo es considerada como una industria que ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente, resultado del uso de materiales nocivos o peligrosos y por el tipo de actividades riesgosas que ello conlleva, orillando a ingenieros e investigadores a

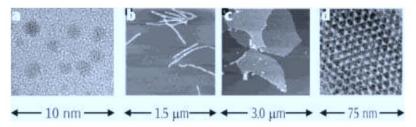
desarrollar productos y tecnologías que sean más amigables con el mismo, los fluidos de perforación no han sido la excepción, ya que se están diseñando cada vez más complejos para poder satisfacer las demandas y desafios operativos. Desafortunadamente, algunos materiales usados para mejorar la calidad y funciones de los fluidos, contaminan el subsuelo y los sistemas subterráneos, los vertederos y el medio ambiente circundante (Apaleke, et al., 2012).

Nanopartículas estructuras con un gran futuro

La nanotecnología es una ciencia relativamente nueva, la cual consiste en el estudio, análisis, estructuración, formación, diseño y operación de materiales a escalas nanométricas, a los cuales se les llama nanomateriales. Tanto universidades como centros de investigación trabajan arduamente en la síntesis y desarrollo de nuevos nanomateriales, estudiando sus propiedades y aplicaciones en los diversos campos de la ciencia (Gómez, 2018).

Cuando las dimensiones de las partículas de un sólido están en el orden nanométrico, o milésima de micra el número de átomos que las constituyen es del orden de centenas (ver figura 1). Estas partículas las cuales llamamos nanopartículas (NPs), difieren de las que se observan de un sólido normal o macroscópico con la misma composición química. Las NPs muestran propiedades excepcionales debido a su gran área superficial y su superficie de partículas altamente activada. Algunas NPs exhiben una alta capacidad de conductividad térmica y afinidad por los gases ácidos. Actualmente, las NPs las podemos encontrar formando parte de diversos productos que van desde la ropa deportiva, cosmetología, industria de la construcción y la automotriz, entre otros. No es de asombrarse que también se estén empleando a las NPs en el área de la salud por su diminuto tamaño y forma, como vehículo para transportar fármacos que son selectivos en el tratamiento de enfermedades liberando el medicamento en el sitio de acción.

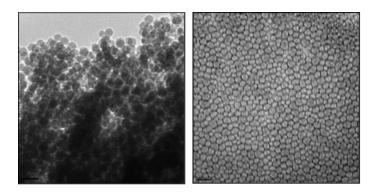
Figura 1. Clasificación de NPs de acuerdo con su tamaño.



Nota. Las NPS: Pequeñas estructuras con gran potencial - PDF Free Download. (s. f.). https://docplayer.es/14743940-Las-nanoparticulas-pequenas-estructuras-con-gran-potencial.html

Las NPs (ver figura 2) son producidas a partir de diferentes tipos de metales como el oro, hierro, platino o de óxidos metálicos, actualmente las NPs sintetizadas a partir de iones de plata están teniendo una gran aplicación debido a sus propiedades físicas como la conductividad y química como la estabilidad, sin embargo, en la industria del petróleo y gas están teniendo un mayor uso las NPs de óxido de aluminio, óxido de cobre, y óxido de magnesio, las cuales se usan en diferentes concentraciones (Al-saba, et al., 2018).

Figura 2. Imágenes de dos muestras de NPs tomadas con un microscopio electrónico de transmisión, ambas con el mismo tamaño de diámetro, pero con diferente tratamiento superficial.



Nota. Hoelscher, De Stefano, Riley, y Young, (2012). Application of Nanotechnology in Drilling Fluids. *All Days*, SPE-157031-MS. https://doi.org/10.2118/157031-MS.

También, se han propuesto como aditivos alternativos para lodos de perforación a nanomateriales como son los de nano-sílice, nano grafeno, nanotubos de carbono, entre otros. Un sistema de lodo que contiene nanomateriales es aquel que incluye por lo menos un aditivo con tamaño de partículas en un rango de 1 a 100 nanómetros. Algunos investigadores

clasifican los sistemas de lodos como: sistema de nanofluido, nano-lodo simple o nano-lodo avanzado (Ismail, et al., 2018).

Aplicación de nanopartículas en los fluidos de perforación.

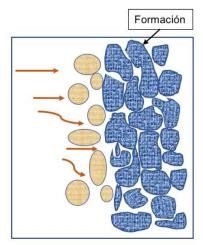
Los fluidos de perforación juegan un papel muy importante durante el proceso de perforación de pozos petroleros, contribuyendo de gran manera para que la operación se lleve a cabo de manera exitosa, esto lo logra realizando múltiples funciones tales como: lubricar y enfriar la barrena, transportar los recortes de perforación hasta la superficie, mantener estables las paredes del pozo, inhibir las lutitas de formación, dar limpieza al pozo, formar un revoque o enjarre y controlar la pérdida por filtración. Para que el fluido cumpla eficazmente con todas estas funciones es necesario que mantenga una consistencia en sus propiedades físicas y químicas. El fluido de perforación debe ser diseñado para funcionar de manera eficiente en condiciones de perforación que cambian continuamente, es por eso importante comprender y entender sus características para que puedan ser mejoradas y así superar los problemas que puedan enfrentar durante las operaciones de perforación.

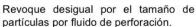
De acuerdo a la composición del fluido, los que son elaborados a base de agua son los más amigables con el medio ambiente y con la salud humana, mientras que los hechos a base de aceite o sintéticos presentan efectos adversos, ambos provocan el agotamiento del oxígeno en el lecho marino debido a la degradación de los hidrocarburos, además de su elevado costo de elaboración y reacondicionamiento (Rana, et al., 2021). Es necesario el desarrollo de un sistema de fluidos de perforación que no solo sean altamente eficientes, sino que de igual manera mantengan sus características y propiedades en los diferentes entornos durante la perforación, incluyendo temperatura y presión. La formulación de fluidos de perforación inteligentes apoyados en su elaboración por la nanotecnología ha venido a revolucionar sus características óptimas en una amplia gama de condiciones operativas. Debido a las condiciones extremas de altas temperaturas, superiores a 200°C y alta presión alrededor de 20000 psi presentadas en el pozo (Ismail, et al., 2018), los fluidos de perforación pueden deteriorarse y verse afectados de forma negativa en su capacidad de producción. Por lo que para poder mantener las características requeridas, se le agregan al fluido de perforación

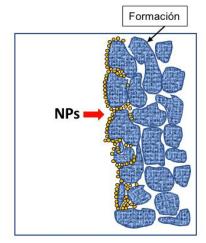
distintos aditivos químicos tales como: polímeros, surfactantes, densificantes, viscosificantes, etc., dando como resultado un fluido que puede operar a Alta Presión y Alta temperatura (HPHT) pero a un elevado costo de producción (Rana, et al., 2021).

La industria petrolera realiza una búsqueda constante de materiales que puedan manejar este tipo de condiciones sin que se vean alteradas las propiedades de los fluidos, siendo las NPs las más prometedoras debido a sus características únicas, las cuales comparadas con sus materiales originales son mucho más estables y fuertes (Gomathi Rajalakshmi Seetharaman, 2020). Las NPs forman una suspensión coloidal dentro del fluido de perforación (ver figura 3) mejorando la inhibición del hinchamiento de las lutitas, control del filtrado, así como las características reológicas y térmicas del fluido sin el empleo de aditivos muy costosos (Rana, et al., 2021). Cuando un fluido de perforación se ha preparado con al menos un aditivo con un tamaño de partícula en el rango de 1 a 100 nanómetros, se denomina como un nanofluido, pudiendo ser éstos base aceite o base agua, sin embargo, se prefiere su uso en los fluidos base agua ya que son más baratos pudiéndose usar en todos los campos, además de ser más amigables con el medio ambiente (Gomathi Rajalakshmi Seetharaman, 2020).

Figura 3. Adición de nanopartículas en los fluidos de perforación para reducir el filtrado.







Revoque fino formado por nanopartículas que bloquean la entrada de fluidos.

Nota. Gomathi Rajalakshmi Seetharaman, J. S. S. (2020). Effects of nanoparticles on the performance of drilling fluids | AVESIS. *Nanotechnology for Energy and Environmental Engineering*. https://avesis.metu.edu.tr/yonetilen-tez/29e290cc-6c50-4aa3-ae69-ada9d0d1792f/effects-of-nanoparticles-on-the-performance-of-drilling-fluids

Dentro de la gran variedad de NPs empleadas con el fin de mejorar la eficacia de los fluidos de perforación se encuentran: el óxido de Aluminio (Al₂O₃), el óxido de Cobre (CuO), el óxido de Titanio (TiO₂), el óxido de Magnesio (MgO), el óxido de Silicio (SiO₂), el óxido de fierro (Fe₂O₃), los nanotubos de Carbono, los Fulerenos, el Grafeno, las nanofibras celulósicas, por mencionar algunas, en este trabajo se mostrarán las bondades de usar éstas NPs en la elaboración de los fluidos de perforación. Las NPs pueden mejorar las propiedades reológicas de los fluidos de perforación utilizando varios mecanismos que dependen principalmente de la fase continua de los fluidos de perforación y las características de las NPs.

MÉTODO

En este estudio se realizó un análisis bibliográfico sobre los puntos de vista de la aplicación de nanomateriales, empleando diferentes fuentes de información bibliográfica, además de los siguientes sitios de consulta: www.redalyc.org, www.doaj.org, www.conrycyt.mx, www.elseiver.com y repositorios de varias universidades. Entre los documentos consultados se hallan artículos científicos y manuales relacionados con el tema en cuestión. La búsqueda de datos se llevó a cabo dentro de un periodo máximo de cinco años, a excepción de algunos artículos que se consideran fundamentales en el asunto y que exceden los años indicados.

RESULTADOS

Nanoparticulas metálicas.

Las NPs metálicas son obtenidas dividiendo aún más las partículas a microescala del metal puro o su óxido metálico. Debido a sus excelentes propiedades pueden soportar la transferencia de calor en los fluidos de perforación al aumentar la conductividad térmica, además que mejoran considerablemente las propiedades reológicas del fluido de perforación esto por las propiedades fisicoquímicas, eléctricas y térmicas de las NPs, también por su gran

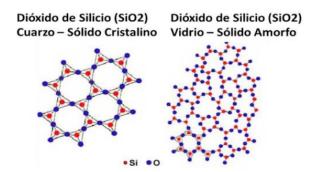
energía libre de adsorción, se adhieren a la interfase entre el aceite y el agua en un fluido de emulsión.

Nanopartículas de sílice (SiO₂)

Se le da el nombre común de sílice, al Óxido de Silicio, el cual se puede encontrar en diferentes formas: amorfo o cristalino (ver figura 4) poroso y no poroso, anhidrido e hidroxilado. Desde el punto de vista estructural el átomo de silicio es tetraédrico con 4 átomos de oxígeno, existiendo múltiples estructuras que se pueden construir (Prieto, 2017). Las NPs de sílice mejoran la viscosidad aparente del agua como fase continua de éstos fluidos de perforación, está bien establecido que la viscosidad de los nanofluidos es mucho mayor que la viscosidad de las dispersiones convencionales en un mismo volumen de concentración de partículas dispersas (Rafati, et al., 2018).

Algunos resultados obtenidos mediante simulaciones de dinámica molecular de potencial de esfera dura han encontrado que la viscosidad efectiva de un nanofluido elaborado con sílice depende no solo de la concentración de las NPs sino también de su tamaño, mejorando así la estabilidad reológica de los fluidos de perforación de emulsión inversa, ya que tienen una gran energía libre de adsorción y pueden adherirse a la interfaz agua-aceite según su grado de hidrofobicidad. Se han utilizado NPs de sílice para dar estabilidad a los fluidos de perforación de emulsión inversa en condiciones de HPHT (Rafati, et al., 2018). Dentro de las principales ventajas que lleva el usar NPs de sílice en un fluido de perforación se encuentran la disminución de la permeabilidad al formar el enjarre, disminuyendo también la pérdida por filtración, el espesor del enjarre producido es el ideal para generar impermeabilidad en las paredes del pozo, se mantienen las propiedades reológicas del fluido, brindan estabilidad térmica y lubricidad al fluido, no son abrasivas, cuando se usan en fluidos base agua evitan el hinchamiento de las lutitas, dando así mayor estabilidad al pozo (Galvis, y Guachetá, 2021).

Figura 4. Adición de nanopartículas en los fluidos de perforación para reducir el filtrado.



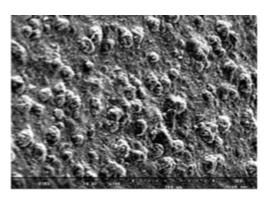
Nota. Prieto, (2017). Evaluación de la viabilidad técnico-financiera de las NPs de sílice como aditivo para el control del filtrado en el fluido de perforación base agua a nivel laboratorio [bachelorThesis, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/948

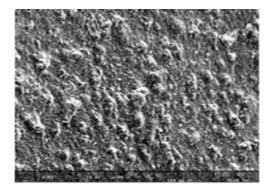
Algunos investigadores han desarrollado fluidos de perforación empleando NPs de SiO_2 con un tamaño de 40 - 130 nm, demostrando que no afecta significativamente las propiedades reológicas y produciendo un revoque lo suficientemente delgado como para aliviar los problemas de daños a la formación (Vryzas y Kelessidis, 2017).

Nanopartículas de Óxido de Fierro (Fe₂O₃).

El uso de NPs de Fe₂O₃ en fluidos de perforación con un tamaño que varía entre 3 y 30 nm, ha mejorado enormemente las características de pérdidas de filtración de lodos en medios porosos en los fluidos base agua y bentoníticos, son más eficientes a bajas concentraciones en condiciones de HPHT; en las pruebas reológicas realizadas a diferentes temperaturas mostraron algunas modificaciones sobre todo en el límite elástico del fluido base agua. Las imágenes tomadas por el microscopio electrónico de barrido (SEM) del revoque de filtración mostraron que la adición de NPs de Fe₂O₃ produce menos aglomeración y superficies más suaves en comparación con las formadas con el fluido base aceite (ver figura 5) (Vryzas, et al., 2015). Algunos experimentos de filtración llevados a cabo en condiciones de HPHT, arrojaron resultados favorables mostrando que cuando se usa NPs de Fe₂O₃ reduce el volumen de filtrado hasta en un 42% en comparación con la de un fluido base, también se mostró un aumento en el espesor del revoque o enjarre en un 17% (Vryzas, y Kelessidis, 2017).

Figura 5. Imágenes SEM del revoque de filtración posterior a la prueba de ATAP. La de la izquierda es del fluido base aceite y la de la derecha del fluido con la NPs de Fe_2O_3 (Vryzas, et al., 2015).





Vryzas et al.,(2015). Development and Testing of Novel Drilling Fluids Using Fe2O3 and SiO2 Nanoparticles for Enhanced Drilling Operations. International Petroleum Technology Conference. https://doi.org/10.2523/IPTC-18381-MS

Se han empleado NPs de la magnetita (Fe₃O₄) a concentraciones de hasta 3% en peso para desarrollar el primer modelo principal y describir la reología del fluido en función de la velocidad de corte, la fracción de volumen de NP y la temperatura.

Nanopartículas de Carbono. En su mayoría son derivados de grafito, carbón vegetal, carbón activado y fullereno. Presentan formas cristalinas ya sea en una sola capa o de capas múltiples (ver figura 6) (Maubert, et al., 2009). La técnica de síntesis y las condiciones de fabricación, como la metodología, la temperatura, la presión y el catalizador, determinan las características morfológicas y fisicoquímicas de los nanomateriales a base de carbono. El diseño y la funcionalización de nanopartículas basadas en carbono son cruciales para la obtención de nanomateriales con las características requeridas. Se utilizan ampliamente como un aditivo para los lodos de perforación para una variedad de propósitos, debido a su química de superficie ajustable y su estructura versátil.

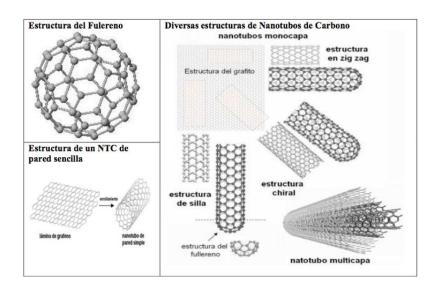


Figura 6. Diversas estructuras de NPs de carbonos.

Nota. Maubert, Soto, León, y Flores (2009). NANOTUBOS DE CARBONO - LA ERA DE LA NANOTECNOLOGÍA. Razón y Palabra, 68. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199520297017.

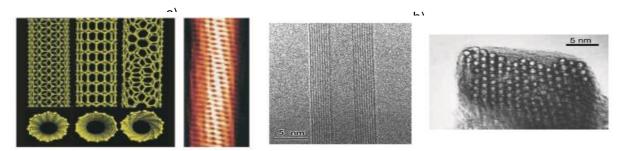
Nanopartículas en forma de Nanotubos de Carbón (NTC)

Un nanotubo de carbono se puede definir como cilindros compuestos por planos de grafito enrollados con diámetros en escala nanométrica. Aunque su composición química es similar al grafito, los nanotubos de carbono son altamente isotrópicos y es esta topología la que distingue a los nanotubos de otras estructuras de carbono y les da sus propiedades únicas.

Los nanotubos de carbono son de las estructuras basadas en carbono más investigadas a partir de su descubrimiento. El diámetro de los nanotubos de carbono varía de 0.5 a 3 nm y la longitud de 20 a 1000 nm, poseen una excelente resistencia y buenas propiedades eléctricas. Se pueden clasificar como nanotubos de pared simple y nanotubos de pared múltiple (ver figura 7), el primero consiste en una sola capa de grafeno enrollada en un cilindro sin costura, y su diámetro es alrededor de 0,5-1,5 nm. Por otro lado, los nanotubos de carbono de pared múltiple se definen por dos o más capas cilíndricas concéntricas de láminas de grafeno dispuestas coaxialmente alrededor de un núcleo hueco central con fuerzas de Van Der Waals entre capas adyacentes (Ribeiro, et al., 2017). Su método de obtención es por deposición

química de vapor, para los NTC de pared simple se utiliza metano o acetileno como fuente de carbono. Los nanotubos de carbono de pared múltiple también pueden ser cultivados por deposición química de vapor pero modificada ajustando su temperatura, se puede usar también descarga de arco y ablación láser para su obtención (Rana, et al., 2021).

Figura 7. Nanotubos de carbono de pared simple (a) y de pared múltiple (b) (Baughman et al., 2002).



Nota. Baughman, et al., (2002). Carbon Nanotubes—The Route Toward Applications. *Science*, 297(5582), 787-792. https://doi.org/10.1126/science.1060928

Comercialmente los NTC se aplican en componentes conductores de la electricidad en compuestos poliméricos, en dispositivos de almacenamiento, sensores de pantalla de emisión de campo, dispositivos semiconductores y recientemente ha tenido una gran aceptación como aditivos en la elaboración de fluidos de perforación (Baughman, et al., 2002). Los NTC de pared múltiple modifican las propiedades reológicas y de filtración de los fluidos de perforación, también se ha reportado que aumentan la resistencia de gel, el límite elástico y la estabilidad de la emulsión de los fluidos de perforación; algunas investigaciones sobre conductividad térmica de nanofluidos elaborados a partir de NTC mostraron mejoras hasta en un 80%, son muy utilizadas principalmente para el control de pérdidas por filtración, para mejorar la calidad del revoque o enjarre. Los NTC juegan un papel vital en el aumento de las propiedades térmicas del lodo por lo que se pueden operar en condiciones de HPHT.

Nanopartículas de Grafeno.

El grafeno es una nano lámina de una sola capa de un átomo de espesor donde los átomos de carbono hibridados sp² están densamente dispuestos de forma hexagonal. Se producen a partir del grafito por exfoliación mecánica, líquida o electroquímica, sin embargo, también

se pueden sintetizar a partir del benceno aromático. Por sus características fisicoquímicas potenciales tales como alta área de superficie, conductividad y fácil funcionalización, el grafeno y sus derivados también pueden ser aplicados en fluidos de perforación mejorando las propiedades reológicas del fluido (Rana et al., 2021). El óxido de grafeno se ha usado como un aditivo de control en perdida de filtrado en fluidos de perforación base de agua mostrando un excelente desempeño en concentraciones de 0.2% en peso por contenido de carbono.

CONCLUSIONES

Esta revisión nos permite visualizar las ventajas del uso de nanopartículas como aditivos de fluidos de perforación para el control de la reología, de perdida por filtración, mejorar la estabilidad de la lutita y para fortalecer las paredes del pozo. Actualmente, los investigadores están diseñando nanofluidos que sean amigables con el medio ambiente durante la perforación de un pozo petrolero, un fluido capaz de soportar altas temperaturas y presiones sin perder sus propiedades; la aplicación de NPs en los fluidos de perforación han mostrado mejoras importantes en sus propiedades comparadas con las obtenidas con un fluido convencional. Los trabajos de investigación aplicada en la elaboración de nanofluidos ha venido creciendo enormemente, se espera que en un futuro no muy lejano desempeñen un papel vital en el desarrollo de fluidos de perforación con buenos rendimientos sin el empleo de aditivos altamente costosos. Sin embargo, hay algunos retos que los investigadores deben abordar antes de que puedan implementarse completamente en aplicaciones de perforación, ya que desafortunadamente, algunos materiales usados para mejorar la calidad y funciones de los fluidos contaminan el subsuelo y los sistemas subterráneos, los vertederos y el medio ambiente circundante.

PROPUESTAS

Se recomienda usar algunas de estas nanopartículas en la formulación de fluidos convencionales base agua y/o base aceite usados para la perforación de pozos petroleros de

la zona sureste de México esto con la finalidad de comprobar la efectividad de estos materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-saba, M. T., Al Fadhli, A., Marafi, A., Hussain, A., Bander, F., y Al Dushaishi, M. F. (2018, abril 23). Application of Nanoparticles in Improving Rheological Properties of Water Based Drilling Fluids. SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. https://doi.org/10.2118/192239-MS
- Apaleke, A. S., Al-Majed, A., y Hossain, M. E. (2012, febrero 20). Drilling Fluid: State of The Art and Future Trend. North Africa Technical Conference and Exhibition. https://doi.org/10.2118/149555-MS
- Baughman, R. H., Zakhidov, A. A., y De Heer, W. A. (2002). Carbon Nanotubes—The Route Toward Applications. Science, 297(5582), 787-792. https://doi.org/10.1126/science.1060928
- Carpenter, C. (2016). Development of Novel Drilling-Fluid Nanoparticles for Enhanced Drilling Operations. Journal of Petroleum Technology, 68(11), 48-50. https://doi.org/10.2118/1116-0048-JPT
- Galvis, E. M., y Guachetá, A. (2021). Evaluación del desempeño a nivel de laboratorio de un lodo de perforación polimérico base agua mediante la adición de dos nano-aditivos para el control de filtrado y daño de formación en la zona productora de la formación mugrosa en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena [bachelorThesis, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8263
- Gomathi Rajalakshmi Seetharaman, J. S. S. (2020). Effects of nanoparticles on the performance of drilling fluids | AVESIS. Nanotechnology for Energy and Environmental Engineering. https://avesis.metu.edu.tr/yonetilen-tez/29e290cc-6c50-4aa3-ae69-ada9d0d1792f/effects-of-nanoparticles-on-the-performance-of-drilling-fluids
- Gómez, M. (2018). Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. Revista Repertorio de Medicina y Cirugía, 27(2), Article 2. https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.v27.n2.2018.191
- Ismail, A. R., Hakim, A. R. A., y Norddin, M. N. A. M. (2018). Potential of Nano-Fluid Application in Deep Well Drilling Operation Challenges. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 429(1), 012058. https://doi.org/10.1088/1757-899X/429/1/012058

- Manual de Fluidos de Perforación Pdvsa Cied—003 / PDF /. (2007). Scribd. https://es.scribd.com/document/67896080/manual-de-fluidos-de-perforacion-pdvsa-cied-003
- Manual Fluidos de Perforación MI SWACO / PDF. (2000). Scribd. https://es.scribd.com/doc/232209866/Manual-Fluidos-de-Manual-Fluidos-de-Perforacion-MI-SWACO
- Maubert F., M., Soto S., L., León C., A. M., y Flores M., J. (2009). NANOTUBOS DE CARBONO LA ERA DE LA NANOTECNOLOGÍA. Razón y Palabra, 68. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199520297017
- Prieto, K. M. (2017). Evaluación de la viabilidad técnico-financiera de las nanopartículas de sílice como aditivo para el control del filtrado en el fluido de perforación base agua a nivel laboratorio [bachelorThesis, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/948
- Rafati, R., Smith, S. R., Sharifi Haddad, A., Novara, R., y Hamidi, H. (2018). Effect of nanoparticles on the modifications of drilling fluids properties: A review of recent advances. Journal of Petroleum Science and Engineering, 161, 61-76. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.11.067
- Rana, A., Khan, I., y Saleh, T. A. (2021). Advances in Carbon Nanostructures and Nanocellulose as Additives for Efficient Drilling Fluids: Trends and Future Perspective—A Review. Energy & Fuels, 35(9), 7319-7339. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c04341
- Ribeiro, B., Botelho, E. C., Costa, M. L., y Bandeira, C. F. (2017). Carbon nanotube buckypaper reinforced polymer composites: A review. Polímeros, 27, 247-255. https://doi.org/10.1590/0104-1428.03916
- Shingala, J., Shah, V., Dudhat, K., y Shah, M. (2020). Evolution of nanomaterials in petroleum industries: Application and the challenges. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 10(8), 3993-4006. https://doi.org/10.1007/s13202-020-00914-4
- Vryzas, Z., y Kelessidis, V. C. (2017). Nano-Based Drilling Fluids: A Review. Energies, 10(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/en10040540
- Vryzas, Z., Mahmoud, O., Nasr-El-Din, H. A., y Kelessidis, V. C. (2015, diciembre 6). Development and Testing of Novel Drilling Fluids Using Fe2O3 and SiO2 Nanoparticles for Enhanced Drilling Operations. International Petroleum Technology Conference. https://doi.org/10.2523/IPTC-18381-MS

Capítulo V

PERSPECTIVAS DE LA FITORREMEDIACIÓN EN SUELOS CONTAMINADOS CON RECORTES DE PERFORACIÓN EN TABASCO

Jorge Luis Soberano Montuy

https://orcid.org/0009-0003-4358-312X jsoberano.tc@uttab.edu.mx

Elsa Emilia Uicab Córdova

https://orcid.org/0000-0003-3399-530X euicab.tc@uttab.edu.mx

Marcos Andrés Jiménez Moreno

https://orcid.org/0000-0001-9981-6154 majimenez.tc@uttab.edu.mx

RESUMEN

Los Residuos Base Aceite, al ser considerados residuos peligrosos del sector hidrocarburo, su tratamiento y disposición final está regulado por la normatividad emitida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Agencia de Seguridad Energía y Ambiente (ASEA), con la finalidad de promover, aprovechar y desarrollar sustentablemente las actividades del sector energético. Por otra parte, de acuerdo a las investigaciones científicas recientes y el desarrollo tecnológico en el área petrolera, se han generado tecnologías y métodos encaminados al tratamiento y aprovechamiento de los recortes de perforación entre los que se encuentra la incineración, desorción térmica, estabilización química y biorremediación. En el estado de Tabasco, la investigación y utilización de técnicas de remediación de suelos contaminados, está orientada al tratamiento químico y físico principalmente y la parte de la biorremediación es incipiente, por lo que el presente documento tienen como finalidad abordar la biorremediación a partir de la flora

nativa tabasqueña con potencial para considerada en programas de fitorremediación, para lo cual se realizó una exhaustiva búsqueda de información bibliográfica en diversas fuentes arbitradas encontrándose que en Tabasco, se han reportado aproximadamente 28 especies de leguminosas que por sus características tienen potencial para ser consideradas en programas de fitorremediación, entre las que se puede encontrar a Clitoria ternatea la cual actualmente está siendo evaluada para conocer su capacidad fitorremediadora. Otras especies de leguminosas presentes en el estado son Inga jinicuil Schltdl, Haematoxylum campechianum L, Leucaena leucocephala, Senna sp. Por lo anterior se puede concluir que existe una abundante riqueza florística en nuestra entidad que han demostrado jugar un papel prometedor en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Palabras clave: Remediación, recortes de perforación, hidrocarburo.

Introducción

La actividad petrolera, aparte de ser fuente generadora de mano de obra y riquezas para los países que exploten este recurso natural, también de forma inherente, se generan diversos grados de contaminación al suelo, agua y aire, afectando de forma gradual el ambiente donde se desarrolla esta actividad. Con el avance de la ciencia y la tecnología, se han evaluado diversas estrategias de remediación de los sitios contaminados, entre los que se pueden encontrar barreras físicas (Castro, 2020), inhibidores o neutralizadores químicos, hasta estrategias biológicas (Guía para la gestión integral de residuos provenientes de las actividades del Sector Hidrocarburos, 2020). Todo esto, es con el fin de remediar los sitios donde se realiza la explotación petrolera. En el proceso de perforación de un pozo, se tienen diversos elementos, donde los más destacados son los fluidos de perforación y las aguas aceitosas, las cuales están siendo tratadas de forma experimental con filtros a base de material órgano-arcilloso (Barrios, y Díaz, 2019).

Actualmente, los recortes de perforación están siendo de interés para los investigadores, debido en primer lugar, al alto grado de contaminación que propicia en los lugares donde se manejan, ya sea que se empleen en su proceso fluidos base agua o base aceite, de los cuales,

definitivamente este último es el que más grado de contaminación genera, y, en segundo lugar, debido a la presión mundial que se está ejerciendo en las actividades altamente contaminantes ante el cambio climático. Por lo anterior, las investigaciones científicas y el desarrollo tecnológico plantean alternativas encaminadas al tratamiento y aprovechamiento de los recortes de perforación, las cuales pueden ser empleadas para la elaboración de mampostería, materiales para carreteras, combustible entre otros (Ismirlian, 2018).

En el presente documento, se presenta un análisis de las diferentes estrategias que actualmente se están estudiando y evaluando para eliminar o disminuir los niveles de contaminantes presente en los recortes de perforación, de forma que estén por debajo de los establecido en la normatividad vigente, y así puedan ser empleados en otras áreas.

Alineado a la preocupación mundial, a través del presente estudio, se busca analizar y evaluar una estrategia de remediación de los recortes productos del proceso de perforación exploratoria de los pozos petroleros, lo anterior se fundamenta en un análisis deductivo de los últimos avances en el desarrollo de tecnologías de remediación de recortes de perforación, en busca de la mejor alternativa con potencial de ser utilizada bajo las condiciones del estado y la región.

DESARROLLO

De acuerdo con la Real Academia de la Lengua Española, la palabra petróleo deriva del latín petroleum, y este a su vez está compuesto por petra que significa piedra y óleum que significa aceite. Es un líquido natural aceitoso con características inflamables, formado por una combinación de hidrocarburos del cual se obtienen productos con fines energéticos industriales (ASALE, y RAE, 2022). Se puede afirmar que el petróleo es un recurso energético no renovable en forma de líquido natural oleaginoso de color oscuro fuerte e inflamable, constituido por una mezcla de hidrocarburos como los alcanos, alquenos, cicloalcanos y compuestos aromáticos, que se extraen de lechos geológicos, continentales o marítimos.

En el proceso de extracción del hidrocarburo, se desarrollan una serie de actividades y se generan otra tanta de productos y subproductos dentro de los que están los fluidos empleados en la perforación y los recortes generados por la barrena al perforar los diferentes horizontes geológicos. Los recortes de perforación son todas aquellas partículas sólidas que se generan en el momento de la trituración por la barrena en la perforación de un pozo petrolero (Ismirlian, 2018), representan los principales residuos generados en este proceso, su producción de acuerdo con los reportes emitidos por las dependencias oficiales es de aproximadamente entre 25 a 35 mil toneladas anuales. De acuerdo con la SEMARNAT (Guía para la gestión integral de residuos provenientes de las actividades del Sector Hidrocarburos, 2020), estos residuos son considerados como peligrosos por los altos niveles de hidrocarburos y metales pesados que pueden llegar a contener, por lo que su tratamiento para reducir los niveles de contaminantes a niveles aceptables por las diversas normas que lo rigen ha atraído la atención de los investigadores quienes buscan evaluar las diversas estrategias buscando siempre la reutilización de dicho residuo.

En el tratamiento de los recortes de perforación, se han experimentado con diversas técnicas tanto físicas, químicas y biológicas. En el tratamiento físico, se encuentra una gran diversidad de experimentos realizados a través de todo el mundo tal es el caso de las pruebas realizadas en Irak, donde evaluaron el efecto de las ondas de microondas sobre los recortes de perforación, encontrando que en recortes de perforación con una concentración de hidrocarburos del 15% y con una exposición máxima de 50 minutos en el microondas, se reduce notablemente la concentración de contaminantes hasta en 1%, por lo que a mayor voltaje y tiempo de exposición se obtienen los mejores resultados(Khudhair, y Al-Haleem, 2020).

Motamedimehr, y Gitipour, (2019) afirman que, de forma general, los recortes de perforación pueden ser tratados mediante tres técnicas diferentes las cuales son: física, fisicoquímica (extracción por solventes, lavado con surfactantes y extracción supercrítica con CO₂) y métodos térmicos (desorción y calentamiento con microondas. En lo que respecta a la técnica fisicoquímica, y en especial a la extracción supercrítica con CO₂, es una técnica que consiste

en un rápido y sencillo proceso de extracción empleando fluidos supercríticos como solventes, este proceso puede ser potencializado si se emplea H₂O₂ como agente oxidante, al evaluar la combinación de estos dos procedimientos se puede alcanzar una efectividad cercana al 99% en la extracción y descomposición de hidrocarburos en los recortes de perforación). Una técnica que estos autores no consideran es la biológica, mediante la cual se emplean tanto micro como macroorganismos para reducir la concentración de contaminantes en los recortes.

Por otro lado, Romero, et al. (2021) combinaron dos técnicas para el tratamiento de los recortes de perforación que consistió en una estabilización química con CaO y una bioestimulación al suelo con productos mejoradores de éste, encontrando que la tasa de biodegradabilidad en suelos con hidrocarburos alcanzó el 72% de efectividad en un periodo de 90 días.

Como ya se mencionó, el tratamiento biológico consiste en el empleo de macro y microorganismos para la degradación de hidrocarburos en los suelos contaminados con hidrocarburo, en este sentido, también se puede hablar de la bioestimulación, que consiste en estimular el suelo mediante la adición de macro y micronutrientes para acelerar el proceso de degradación de los hidrocarburos. Para evaluar esta tecnología, Rivera, et al., (2017) adicionaron nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo para lograr una proporción de carbono (C) P K de 100-10-1, logrando que en suelos mezclados con recortes de perforación se redujera la concentración de hidrocarburos de 25,000mg/kg a 2,700mg/kg en un periodo de 12 meses, lo que lo ubica por debajo de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana, NOM-138-SEMARNAT/SS-2012.

Una de las características principales de un suelo contaminado con petróleo es su alta repelencia al agua, también conocido como alta hidrofobicidad, que comparado con un suelo no contaminado los cuales son fácilmente humectables, existen sustancias químicas que rompen la hidrofobicidad del suelo contaminado conocidos como sustancias surfactantes, también existen microorganismos con la capacidad de actuar como biosurfactantes que

degradan los hidrocarburos del suelo, dentro de estos microorganismos podemos citar a Pseudomonas las cuales son consideradas altamente productoras de surfactantes y de acuerdo a investigaciones realizadas puede reducir la concentración de hidrocarburos hasta en un 99% (Zheng, et al., 2022).

Otro de los organismos biológicos que se han estudiado con alto potencial en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, son las plantas, principalmente la familia fabáceae conocida como leguminosas, aunque también algunas gramíneas han sido evaluadas por su potencial para la degradación de hidrocarburos. Sin embargo, la principal ventaja de las fabáceas es su relación simbiótica con diversos microorganismos radiculares que tienen la particularidad de poseer propiedades surfactantes, lo que los convierte en excelentes degradadores de hidrocarburos. En estudios realizados para la búsqueda de microrganismos degradadores, se ha encontrado que Pseudomona aeruginosa ha presentado una excelente capacidad degradadora, junto con Acetobacter y Prevotella quienes se encuentran en altas poblaciones en suelos contaminados (Mukjang, et al, 2022). En Latinoamérica, se encontraron en total once diferentes cepas de comunidades bacterianas degradando el hidrocarburo presente en el suelo, las cuales son: Sphingobium, Sphingomonas, Acidovorax, Alkaligenes, Actinobacterias, Burkholderia sp., Rhizobium sp., Pseudomonas sp., Stenotrophomonas, Sinorhizobium y Esfingomonas (Rodríguez, et al., 2022). De forma general, se han encontrado 71 diferentes especies de bacterias con capacidad degradadora de los hidrocarburos presentes en el suelo (Vizuete, et al., 2020).

Aunque muchos de los microorganismos son de vida libre, existen otros que se encuentran en estrecha relación simbiótica con la rizosfera lo que potencializa su capacidad degradadora de hidrocarburos, al estar en convivencia con las plantas. En México, se han reportado 53 familias botánicas con potencial para la degradación de hidrocarburos tanto en suelo como en agua, ya que se encuentran creciendo y reproduciéndose en ambientes contaminados. Las cuatro familias con mayor número de especímenes presentes son Poaceae con 33 especies, Fabaceae con 31, Asteraceae y Cyperaceae con 9 cada una (Chan, et al., 2021).

En lo que respecta a la familia Fabaceae que es utilizada como forraje, en el trópico mexicano que abarca los estados de Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Campeche y Tabasco, se colectaron 55 especies pertenecientes a 24 géneros (Peralta, et al., 1987). Así mismo, en un muestreo realizado en la sierra de Tenosique, Tabasco, se colectaron 26 especies de leguminosas pertenecientes a 19 géneros, dichas especies fueron encontradas como cercas vivas, en la cima de montañas, en laderas, a orillas de caminos y en potreros (González, et al., 2016). En comunidades choles de la sierra tabasqueña, fue posible la colecta de 10 especies de leguminosas que son utilizadas como alimento, donde sobresale el género Phaseolus, Vigna y Cajanus (Morales, 2017).

En el estudio y evaluación de especies vegetales con fines de remediación de suelos contaminados, sobresalen las especies de la familia leguminosa, donde se puede citar a Clitoria ternatea, la cual está siendo estudiada debido a su alta capacidad remediadora y a su fuerte relación simbiótica con Azotobacter, Azospirillum, y Rhizobium, lo que le permite degradar hidrocarburos con una eficiencia superior al 70% en suelos Gleysoles en el estado de Tabasco (Mago, 2020). C. ternatea también mostró una alta capacidad remediadora de hidrocarburo en el aire al ser inoculada con Bacillus cereus, en este caso se encontró que puede eliminar etilbenceno del aire hasta en un 100% en un plazo de 84 horas (Daudzai, et al., 2018).

Con base en lo antes citado, se tiene que cuando se combina la acción conjunta de dos o más especies, el resultado en la remoción o degradación de contaminantes es más efectiva que si se hace con una sola especie, esto quedó demostrado en la evaluación de la acción conjunta de C. ternatea y Pachyrhizus erosus, quienes en 75 días, lograron la eliminación total de antraceno y pireno del suelo, ambas especies son leguminosas y por tanto tienen una estrecha relación simbiótica con microorganismos rizosféricos degradadores (Somtrakoon, et al., 2018).

MÉTODO

El presente trabajo es una revisión bibliográfica sobre el desarrollo y perspectivas de la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo, por lo que se consultaron diversas fuentes de información bibliográfica así como sitios de consulta entre los que se pueden citar los siguientes: www.redalyc.org, www.doaj.org, www.conrycyt.mx www.elseiver.com y repositorios de diversas universidades, entre los documentos consultados se encuentran artículos científicas, tesis de grado y manuales sobre el tema en cuestión. Se realizó la búsqueda de la información con la base de un máximo de cinco años a excepción de algunos artículos que se consideran básicos en el tema y que sobrepasan los años señalados.

RESULTADOS

Hasta ahora los estudios principalmente se han centrado en la actividad de C. ternatea como especie fitorremediadora de suelos contaminados con hidrocarburos, esto es debido a que dicha especie se encuentra de forma silvestre en territorio tabasqueño y es tema central de investigación en el proyecto "evaluación de dos alternativas de remediación de recortes de perforación" que se está realizando en la Universidad Tecnológica de Tabasco. (Figura 1), pero C. ternatea no es la única especie empleada en la fitorremediación de contaminantes, también algunas especies pertenecientes a la familia de las gramíneas han sido evaluadas para conocer su potencial remediador, así se tiene que Brachiaria brizantha y Cyperus aggregatus mostraron alta capacidad de adaptación y crecimiento en suelos contaminados con hidrocarburos, lo anterior debido que al observarse en sitios contaminados su sistema radicular presentó un desarrollo significativamente mayor comparado con las que crecieron en suelos sin contaminar, lo que es indicativo de su capacidad remediadora (Merkl, et al., 2005). Estudios realizados demuestran que Leucaena leucocephala y Medicago sativa ambas pertenecientes a la familia Fabaceae, son excelentes plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con hidrocarburo con amplio potencial para incluirlas en programas de remediación de sitios siniestrados con petróleo (Neira, 2022).

Figura 1. Clitoria ternatea.



Nota: Flor, planta, semilla y fruto de Clitoria ternatea.

Otra especie con alta capacidad en la remoción de hidrocarburos del suelo es Eleocharis palustris (Cyperaceae), la cual crece en humedales impactados por la actividad petrolera y es capaz de remover hasta un 70% de hidrocarburos del suelo en un lapso de 38 semanas en condiciones anaerobias (Chávez, 2022). En evaluación conjunta de Tabebuia rosea (Bignoniaceae) y Haematoxylum campechianum (Fabaceae), se encontró que ambas presentan capacidad adaptativa a suelos contaminados con petróleo, sin embargo, H. campechianum tiene una mayor capacidad de adaptación (Chan, et al., 2022), lo anterior, puede ser debido a que las fabáceas tienen actividad radicular muy diferente a las bignoniáceas.

Queda claro que las fabáceas, presentan una amplia gama de beneficios en el proceso de remediación de suelos contaminados dentro de los que podemos citar, mejora el estado nutricional, aumenta la disponibilidad de oxígeno y agua, incrementa la población de comunidades microbianas degradadoras de hidrocarburo (Hall, et al., 2011).

En el estado de Tabasco, se pueden encontrar a las leguminosas en diferentes condiciones de uso como lo es el de cercos vivos, uso forestal debido a la calidad de su madera, de fuente alimenticia tanto para las personas como para los animales, de plantas ornamentales en muchos jardines y de plantas medicinales a como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 1: listado de especies de leguminosas presentes en el estado de Tabasco.

Cercos vivos y forestales	Alimenticias, forrajeras y ornamentales		
	Clitoria		
	Vigna / Phaeseolus		
	Mimosa pudica		
	Aeschynomene		
Erythrina americana	Calliandra		
Gliricidia sepium	Calopogonium		
Haematoxylum campechianum	Galactia		
Bauhinia divaricata	Canavalia		
Dialium guianensis Huapaque)	Centrosoma macrocarpum		
Inga jinicuil	Centrosoma plumieri		
Inga vera	Centrosoma pubescens		
Caesalpinia eriostachys	Desmanthus		
Cojoba arborea	Desmodium		
Samanea saman	Dioclea		
Swartzia cubensis	Acacia mayana		
Lysiloma acapulcense	Leucaena		
Lysiloma divaricatum	Macroptilium		
Lysiloma latisiliquum	Crotalaria		
Piscidia piscipula	Cassia fistula		
Pithecellobium dulce	Mucuna		
Lonchocarpus castilloi	Rhynchosia		
Lonchocarpus guatemalensis	Senegalia polyphylla		
Machaerium biovulatum	Ormosia macrocalix		
Schyzolobium parahyba	Ormosia schippii		
	Stylosanthes		
	Taramnus		
	Zornia		
	Chamaecrista		

Fuente: A. Peralta, et al 1987, Ruiz et al 2004, Maldonado 2013, González-Valdivia et al 2016, Chan, et al 2021.

CONCLUSIONES

Con base a las investigaciones realizadas hasta este momento, se puede afirmar que el empleo de la fitorremediación como técnica para la descontaminación y recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos en el estado de Tabasco es aún incipiente, falta profundizar en el estudio y evaluación del papel que juegan las plantas en este proceso, la especie Clitoria ternatea, además de ser estudiada como planta forrajera, también se ha estudiado como especie fitorremediadora de sitios contaminados con excelentes resultados. En el estado de

Tabasco, existe potencial fitogenético suficiente para estudiarlo y evaluar sus propiedades fitorremediadoras, sobre todo tomando en cuenta que se encuentran registradas más de 50 especies de fabáceas que tienen como principal característica su estrecha relación simbiótica con microorganismos rizosféricos, de los cuales la gran mayoría son especies surfactantes degradadoras de hidrocarburos.

PROPUESTAS

- 1) Realizar estudios para conocer la población de microorganismos simbióticos presentes en la rizosfera de las fabáceas.
- 2) Muestrear y monitorear la presencia de microorganismos surfactantes nativos presentes en suelos contaminados con hidrocarburos.
- 3) Evaluar el papel de las fabáceas autóctonas en la remediación de sitios contaminados con hidrocarburos.
- 4) Evaluar la acción conjunta de dos o más especies de fabáceas en la remediación de sitios contaminados con hidrocarburos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASALE, R.-, y RAE. (2022). Petróleo | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» Edición del Tricentenario. R 5 de julio del 2023. de https://dle.rae.es/petróleo.
- Barrios, M. L., y Díaz, M. Á. D. (2019). Modificación de bentonita cubana y su aplicación como adsorbente de hidrocarburos. R 5 de mayo del 2023. de Tecnología Química, 39(3), 552–563. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445560283005
- Castro, I. J. C. (2020). Caracterización de los recortes de perforación de pozos petroleros para el análisis de su tratamiento y sus posibles aplicaciones. 5 de julio del 2023. de http://hdl.handle.net/10654/36907
- Chan, J. G., Cach, M. J.,y López, M.,(2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. 20 de julio del 2023. de Revista Forestal del Perú, 36(1), 22. https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1703
- Chan, J. G., Valdez, M., González, C., Ceccon, E., y Cach, M. J. (2022). Desempeño fisiológico de dos especies arbóreas en un suelo contaminado con petróleo. 5 de julio del 2023. de Botanical Sciences, 101(1), 197–216. https://doi.org/10.17129/botsci.3060.
- Chávez, K. (2022). Actividad microbiana asociada a Eleocharis palustris (L) Roem. y Schult en la fitorremediación de suelos con petróleo. 18 de julio del 2023. de http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4781
- Daudzai, Z., Treesubsuntorn, C., y Thiravetyan, P. (2018). Inoculated Clitoria ternatea with Bacillus cereus ERBP for enhancing gaseous ethylbenzene phytoremediation: Plant metabolites and expression of ethylbenzene degradation genes. 14 de julio del 2023. de Ecotoxicology and Environmental Safety, 164, 50–60. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.121.
- DOF. (2019, abril 16). NOM-001-ASEA-2019, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial del Sector Hidrocarburos. 18 de julio del 2023. de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5557886.
- González, N.A., Cetzal-Ix, W., y Dzib, B.B., (2016). Leguminosas en un paisaje de la sierra de Tenosique, Tabasco, México. 15 de julio del 2023. de Herbario CICY. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2016/2016-02-25-Gonzalez-Valdivia-et-al-DHCICY.pdf
- Guía para la gestión integral de residuos provenientes de las actividades del Sector Hidrocarburos. (2020). ASEA. 14 de julio del 2023. de

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/604971/GU_A_gesti_n_Residuos_A SH 07.01.2021.pdf.
- Hall, J., Soole, K., y Bentham, R. (2011). Hydrocarbon Phytoremediation in the Family Fabacea—A Review. 5 de julio del 2023. de International Journal of Phytoremediation, 13(4), 317–332. https://doi.org/10.1080/15226514.2010.495143.
- Ismirlian, P. L. (2018). Evaluación de diferentes métodos de tratamiento para recortes de perforación de pozos petroleros con lodo base hidrocarburo en Argentina. 8 de mayo del 2023. de https://ri.itba.edu.ar/server/api/core/bitstreams/fd063580-932c-475d-b5e4-afb700656055/content.
- Khudhair, A. A., y Al-Haleem, A. A. (2020). Using microwave technique to treat contaminated drill cuttings. 10 de agosto del 2023. de The Iraqi Geological Journal, 42–52. https://doi.org/10.46717/igj.53.2D.3MS-2020.10-25.
- Mago, M. V. (2020). Actividad simbiótica microbiana con Clitoria sp. Y Clitoria ternatea en la fitorremediación de suelos con petróleo fresco Tesis de maestría, Colegio de Posgraduados, Campus Cárdenas Tabasco. 5 de julio del 2023. de http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4641/Valier_Mago _M_MC_Produccion_Agroalimentaria_Tropico_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maldonado, N. M. (2013). Los sistemas silvopastoriles en Tabasco: Una opción para desarrollar una ganadería productiva y amigable con la naturaleza. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 5 de julio del 2023. de https://doi.org/10.19136/book.33.
- Merkl, N., Schultze, R., y Infante, C. (2005). Phytoremediation in the tropics influence of heavy crude oil on root morphological characteristics of graminoids. 10 de julio del 2023. de Environmental Pollution, 138(1), Article 1. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.02.023.
- Morales, G. (2017). Diversidad de leguminosas comestibles en comunidades indígenas CH'oles de la Sierra de Tabasco. 5 de junio del 2023. de https://www.researchgate.net/publication/321344854_Diversidad_de_leguminosas_c omestibles_en_comunidades_indigenas_CH'oles_de_la_Sierra_de_Tabasco.
- Motamedimehr, S., y Gitipour, S. (2019). Sub and Supercritical Decontamination of Oil-Based Drill Cuttings: 5 de julio del 2023. de A Review. Environmental Energy and Economic Research, 3(3). https://doi.org/10.22097/eeer.2019.186444.1086.
- Mukjang, N., Chitov, T., Mhuantong, W., Champreda, V., Pathom-aree, W., Sattayawat, P., y Bovonsombut, S. (2022). Bacterial Communities Associated with Crude Oil Bioremediation through Composting Approaches with Indigenous Bacterial Isolate. 5 de julio del 2023. de Life, 12(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/life12111712.

- Neira, I. V. (2022). Uso de fabáceas como alternativa de fitorremediación de suelos contaminados por petróleo en la provincia de Santa Elena. 15 de julio del 2023. de Thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022.]. https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8735.
- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012.pdf. (s/f). 2 de diciembre de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133743/16.-NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-138-SEMARNAT-SSA1-2012.pdf
- Peralta, A., Schultze, R., Martínez, J.M. Aguirre, J.F. Amaya, H.S. Enríquez, J. (1987).

 Recolección de leguminosas forrajeras nativas en el trópico de México. 10 de octubre de 2023, de https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/1987-vol9-rev1-2-3/Vol9 rev1 87 art5.pdf
- Rivera, P., Rivera, J. E., Andrade, E. C, Heyer, L., DE LA GARZA, F. R., y Casto, B.I., (2017). Bioestimulación y biorremediación de recortes de perforación contaminados con hidrocarburos. 8 de julio del 2023. de Rev. Int. Contam. Ambie. 34 (2) 249-262, 2018 https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n2/0188-4999-rica-34-02-249.pdf.
- Ruiz, V.; Peña, E. G.; Lau, S. C.; Maldonado, F.; Ascencio, J. M.; Guadarrama, M. A. (2004). Macronutrimentos de fitorrecursos alimenticios de especies aprovechadas por grupos étnicos en Tabasco, México. 5 de julio del 2023. de https://www.redalyc.org/pdf/154/15409904.pdf
- Rodríguez, A., Zárate, S. G., y Bastida, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. 5 de julio del 2023. de Revista de Ciencias Ambientales, 56(1), 178–208. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070679009
- Romero, R., Chao, C., González-Suárez, A., Comesañas-García, Y., Barrios-San Martín, Y., Ameneiros-Martínez, J. M. (2021). Tratamiento para recortes de perforación contaminados con diésel. 5 de octubre del 2023. de Centro Azúcar, 48(1), 35–46. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612021000100035&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Somtrakoon, K., Chouychai, W., y Lee, H. (2018). Potential of Butterfly Pea (Clitoria ternatea) and Yam Bean (Pachyrhizus erosus) Plants for Phytoremediation of Anthracene- and Pyrene-Contaminated Soil. 5 de julio del 2023. de https://www.thaiscience.info/Journals/Article/SONG/10989773.pdf

- Vizuete, R. A., Pascual, A. E., Taco, C. W., y Morales, (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. 15 de agosto del 2023. de Revista Lasallista de Investigación, 17(1), 177–187. https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19.
- Zheng, L., Rosenzweig, R., Chen, F., Qin, J., Li, T., Han, J., Istvan, P., Diaz-Reck, D., Gelman, F., Arye, G., y Ronen, Z. (2022). Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soils with Biosurfactant-Producing Degraders Isolated from the Native Desert Soils. 25 de julio del 2023. de Microorganisms, 10(11), Article 11. https://doi.org/10.3390/microorganisms10112267.

Capítulo VI

EFECTOS DE LA NANOPARTÍCULA EN DISPOSITIVOS ENERGÉTICOS

Ignacio de Jesús Gómez Rosales

https://orcid.org/0009-0009-1480-6017 na.gomros90@gmail.com

Guillermo Ibañez Duharte

https://orcid.org/0000-0002-2437-1928 guibdu@gmail.com

Imer López, Grijalva

Imer.lg@regionsierra.tecnm.mx

RESUMEN

El estudio de la transferencia de calor en flujos de nanofluidos ha adquirido mucho interés desde que se conoce que mejora la tasa de transferencia de calor y las pérdidas de energía útil son mínimas. Investigaciones recientes han demostrado que la mezcla homogénea de fluido base y nanopartículas sólidas son capaces de mejorar la conductividad térmica y propiedades de transporte de calor del fluido base, contribuyendo a la eficiencia de energía. Se ha reportado avances en dispositivos solares con nanofluidos y la influencia en su comportamiento de varios parámetros como tamaño de nanopartícula, concentración, forma y tasa de flujo del nanofluido que permiten obtener una mayor eficiencia energética. En este trabajo de investigación se estudió el comportamiento dinámico, térmico y las influencias de diferentes formas que pueden tener estas nanopartículas sólidas sobre la generación de entropía y transferencia de calor sobre un flujo MHD de nanofluido en un canal permeable inclinado considerando esfuerzo acoplado, efectos de deslizamiento, modelo de flujo Darcy-Forchheimer, y radiación térmica no lineal. Específicamente, se analiza las formas cilíndrica, discoidal, elipsoidal y cúbica para el caso del Al₂O₃. Se estudiaron los efectos que tienen

algunos parámetros fundamentales que caracterizan el sistema sobre el flujo, temperatura y producción de entropía local cuando fueron utilizadas nanopartículas de Al₂O₃ con formas discoidal, cilíndrica, cúbica y oblata. Además, los resultados mostraron que fue posible encontrar mínimos de entropía global y máximos de trasferencia de calor independientemente de la forma de las nanopartículas.

Palabras Clave: Nanopartícula, eficiencia energética, entropía.

Introducción

Recientemente, se ha investigado la incorporación de nanopartículas sólidas dentro del fluido base en los canales con diferentes geometrías y condiciones de trabajo. Este tipo de fluido llamado nanofluido se ha convertido en un tema importante para investigadores debido al incremento de la conductividad térmica efectiva, el cual se ha demostrado experimentalmente en varios estudios (Lee, et al, 1999; Keblinski, et al, 2002) y muchos de ellos se han conducido a investigar el uso de nanofluidos en diversas aplicaciones, tal como intercambiadores de calor, sistemas microelectromecánicos, colectores solares y microcanales (Nagarajan, et al, 2014; Ramesh y Prakash, 2019). Es demostrado que el rendimiento de dispositivos térmicos es afectado por las pérdidas de energía útil asociadas con un decremento en la energía disponible (Mohamed, 2015). Esta pérdida de energía útil es evaluada a través de la producción de entropía, por lo que es posible encontrar un mínimo de esta cantidad y el sistema puede ser optimizado.

Los nanofluidos pueden contener diferentes tipos de nanopartículas sólidas tales como óxidos, metales y carburos en fluidos bases como agua, etilenglicol, propinelglicol y aceite mineral (Choi, 1995). Algunas aplicaciones específicas de nanofluidos son encontradas en varios equipos electrónicos, suministro de energía, generación de energía y aire acondicionado. Existen diferentes nanopartículas con características particulares tales como el óxido de aluminio Al₂O₃, cobre Cu, y el óxido de titanio TiO2. Las propiedades termofísicas de estas nanopartículas son distintas entre ellas. La calidad del nanofluido no sólo depende del tipo de nanopartículas sino de sus formas. Usualmente, los investigadores consideran nanopartículas de forma esférica. Sin embargo, en cuestiones prácticas las

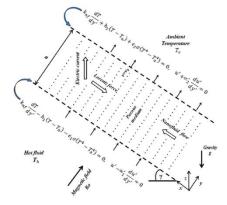
nanopartículas en forma esférica tienen sus limitaciones. Muchos estudios están tomando en cuenta diferentes formas de nanopartículas tales como cilíndrica, discoidal, oblata y cúbica. Además, dentro de la literatura relacionada con nanofluidos que tienen nanopartículas de forma no esférica se han encontrado que estas tienen propiedades favorables para ser un buen candidato en la terapia contra el cáncer (Aiza, et al, 2015). Existen investigaciones que estudian el comportamiento de las distintas formas y tipos de nanopartículas sumergidas en diferentes fluidos base (Aiza, et al, 2015; Khan, 2017). Las pérdidas de energía útil y fenómenos de transporte para las diferentes formas y tipos de nanopartículas no han sido estudiadas ampliamente.

El estudio realizado tiene el propósito de analizar las influencias de diferentes formas que pueden tener estas nanopartículas sólidas sobre la generación de entropía y transferencia de calor sobre un flujo MHD de nanofluido en un canal permeable inclinado considerando esfuerzo acoplado, efectos de deslizamiento, modelo de flujo Darcy-Forchheimer, y radiación térmica no lineal. Específicamente, se analiza las formas cilíndrica, discoidal, elipsoidal y cúbica para el caso del Al₂O₃.

DESARROLLO

Un flujo MHD completamente desarrollado de un nanofluido viscoso y estable a través de paredes paralelas permeables llenas con un medio poroso es analizado considerando esfuerzo acoplado. El canal está inclinado en un ángulo γ con respecto a la horizontal y es aplicado un campo magnético externo B_0 en dirección transversal al movimiento del nanofluido. La inyección de nanofluido toma lugar a través de la placa inferior del ducto mientras que la succión ocurre a través de la placa superior, como se muestra en la Figura 1. Además, la placa inferior está en contacto con un fluido caliente y el superior con el ambiente. La condición de deslizamiento en la interface nanofluido-pared es usado para la solución de la ecuación del momento mientras que la ecuación de energía es resuelta considerando el flujo de calor por radiación térmica no lineal, así como también la disipación viscosa y óhmica.

Figura 1. Configuración geométrica del modelo físico.



Nota. Configuración geométrica donde se aprecia los efectos que alterar su comportamiento. Elaboración propia.

Campos de velocidad y temperatura

Tomando en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente, la velocidad del nanofluido es calculada a partir de la siguiente expresión adimensional:

$$\frac{\rho_{nf}}{\rho_f} Re \frac{du}{dy} = P + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{(\rho\beta)_f} Gr \left(\theta_h - 1\right) \theta Sin(\gamma) + \frac{\eta_{nf}}{\eta_f} \frac{d^2u}{dy^2} - \frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} Ha^2 u - \frac{\eta_{nf}}{\eta_f} \frac{u}{Da} - \frac{\rho_{nf}}{\rho_f} F \frac{u^2}{\sqrt{Da}} - \lambda \frac{d^4u}{dy^4}$$
(1)

Con las condiciones de fronteras asociadas de deslizamiento

$$u - \alpha_1 \frac{du}{dy} = 0 = \frac{d^2u}{dy^2} \qquad en y = 0$$
 (2)

$$u + \alpha_2 \frac{du}{dy} = 0 = \frac{d^2u}{dy^2} \qquad en y = 1$$
 (3)

Donde η_{nf} es la viscosidad dinámica del nanofluido, σ_{nf} es la conductividad eléctrica del nanofluido, ρ_{nf} es la densidad del nanofluido. Aquí, los subíndices 1 and 2 se refieren a la placa inferior y superior, mientras que el subíndice nf corresponde a las propiedades termofísicas del nanofluido. Considerando el flujo de calor por conducción y radiación, disipación viscosa en el medio poroso, calentamiento de Joule y disipación debido al esfuerzo acoplado, la ecuación de energía toma la forma:

$$\frac{(\rho C)_{nf}}{(\rho C)_f} Pe^{\frac{d\theta}{dy}} = \frac{\kappa_{nf}}{\kappa_f} \frac{d^2\theta}{dy^2} + \frac{Br}{(\theta_h - 1)} \left(\frac{\eta_{nf}}{\eta_f} \left(\left(\frac{du}{dy} \right)^2 + \frac{u^2}{Da} \right) + \frac{\sigma_{nf}}{\sigma_f} Ha^2 u^2 + \frac{\rho_{nf}}{\rho_f} \frac{F}{\sqrt{Da}} u^3 + \lambda \left(\frac{d^2u}{dy^2} \right)^2 \right) \\
+ 3 Rd(\theta_h - 1)((\theta_h - 1)\theta + 1)^2 \left(\frac{d\theta}{dy} \right)^2 + Rd((\theta_h - 1)\theta + 1)^3 \frac{d^2\theta}{dy^2} \tag{4}$$

Con las condiciones de fronteras por radiación y convección asociadas:

$$\frac{\kappa_{nf}}{\kappa_f} \frac{d\theta}{dy} - Bi_1(\theta - 1) - \frac{Nr_1}{\theta_h - 1} \left(((\theta_h - 1)\theta + 1)^4 - {\theta_h}^4 \right) = 0 \qquad en y = 0$$
 (5)

$$\frac{\kappa_{nf}}{\kappa_f} \frac{d\theta}{dy} + Bi_2\theta + \frac{Nr_2}{\theta_h - 1} (((\theta_h - 1)\theta + 1)^4 - 1) = 0 \qquad en \ y = 1$$
 (6)

Aquí σ es la constante Stefan Boltzmann, κ_{nf} es la conductividad térmica and C_{nf} es la capacidad de calor del nanofluido. El tercer término del lado derecho de la ecuación (4) es la disipación de Joule debido a la corriente eléctrica descrito en términos de la ley de Ohm, el cuarto término representa el flujo de calor por radiación térmica, el quinto y el sexto término toman en cuenta la disipación asociada al medio poroso, es decir esfuerzos cortantes viscosos en la interface sólido-fluido debido al arrastre de fricción de Darcy y al calor disipativo originado del término de Forchheimer, respectivamente, y el último término de esta ecuación es el flujo de calor disipado debido al efecto del esfuerzo acoplado.

Para las ecuaciones no adimensionales anteriores, introducimos las siguientes cantidades:

$$u = \frac{\rho_f a u'}{\eta_f}, \quad y = \frac{y'}{a}, \quad \alpha_1 = \frac{\alpha \iota_1}{a}, \quad \alpha_2 = \frac{\alpha \iota_2}{a}, \quad \theta = \frac{T - T_a}{T_h - T_a}, \quad \theta_h = \frac{T_h}{T_a}, \quad Da = \frac{K}{a^2}, \quad Bi = \frac{ah}{k_f}, \quad Br = \frac{\eta_f^3}{a^2 \rho_f^2 k_f T_a}, \quad Ec = \frac{v_f^2}{a^2 c_f T_a}, \quad Gr = \frac{g a^3 (\rho \beta)_f T_a}{\rho_f v_f^2}, \quad \lambda = \frac{\delta}{a^2 \eta_f} = \frac{1}{\Upsilon}, \quad Ha = B_0 a \sqrt{\frac{\sigma_f}{\eta_f}}, \quad Nr = \frac{a \epsilon \sigma T_a^3}{k_f}, \quad P = \left(\frac{a^3 \rho_f}{\eta_f^2}\right) \left(-\frac{dp}{dx'}\right), \quad Pr = \frac{\eta_f c_f}{k_f}, \quad Rd = \frac{16 \sigma T_a^3}{3k^* k_f}, \quad Re = \frac{v_0 a \rho_f}{\eta_f}.$$

Propiedades termo físicas del nano fluido

La densidad ρ_{nf} , capacidad de calor $(\rho C)_{nf}$, viscosidad η_{nf} y conductividad térmica κ_{nf} del nanofluido son expresados como (Ramesh, 2016a; Ramesh, 2016b):

$$\rho_{nf} = \rho_f (1 - \phi) + \phi \rho_s \tag{7}$$

$$(\rho C)_{nf} = (\rho C)_f (1 - \phi) + \phi(\rho C)_s \tag{8}$$

$$\eta_{nf} = \frac{\eta_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \tag{9}$$

$$\kappa_{nf} = \kappa_f \left[\frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)} \right]$$
 (10)

El coeficiente de expansión térmica $(\rho\beta)_{nf}$ y la conductividad eléctrica σ_{nf} del nanofluido son determinados como (Ramesh, 2016b; Stokes, 1996):

$$(\rho\beta)_{nf} = (\rho\beta)_f (1 - \phi) + \phi(\rho\beta)_s \tag{11}$$

$$\sigma_{nf} = \sigma_f \left[1 + \frac{3\phi \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} - 1 \right)}{\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} + 2 \right) - \phi \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_f} - 1 \right)} \right]$$
(12)

De las ecuaciones que describen las propiedades termofísicas del nanofluido mencionadas anteriormente (7-12), cambiarán únicamente la viscosidad dinámica y la conductividad térmica, en las que ahora se incluyen los dos nuevos efectos que se analizarán, es decir, los efectos del tipo de nanofluido y la forma de las nanopartículas sólidas que se encuentran en suspensión en dicho nanofluido. Para la viscosidad dinámica η_{nf} y conductividad térmica k_{nf} es usado el modelo Hamilton y Crosser, el cual es válido para las nanopartículas de formas esféricas y no esféricas. De acuerdo con este modelo:

$$\eta_{nf} = \eta_f (1 + a\phi + b\phi^2) \tag{13}$$

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + (n-1)k_f + (n-1)(k_s - k_f)\phi}{k_s + (n-1)k_f - (k_s - k_f)\phi}$$
(14)

Donde a y b son constantes y dependen de la forma de las nanopartículas como se muestra en la

Tabla 1. Constante de factor de forma empírica a y b.

Modelo	Discoidal	Oblata	Cilíndrica	Cúbica
A	37.1	14.6	13.5	1.9
В	612.6	123.3	904.4	471.4

Nota. Se muestran los valores de a y b para las diferentes formas de nanopartículas. Aiza, (2015).

La n que aparece en la ecuación (14) es el factor de forma empírico dado por $n=3/\Psi$, donde Ψ es la esfericidad definida como la relación entre el área de la superficie de la esfera y el área de la superficie de la partícula real con volumen igual. Los valores de Ψ para las diferentes formas que tienen las nanopartículas están dados en la Tabla 2.

Tabla 2. Esfericidad Ψ para nanopartículas de diferentes formas.

Modelo	Discoidal	Oblata	Cilíndrica	Cúbica
Ψ	0.52	0.36	0.62	0.81

Nota. Se muestran los valores de esfericidad para las diferentes formas de nanopartículas. Aiza, (2015).

Generación de entropía y numero de Nusselt

El comportamiento de la velocidad y temperatura descrito arriba es usado para calcular la producción de entropía explícitamente en términos de parámetros que caracterizan al sistema que se analiza. La generación de entropía es calculada explícitamente en término de fuentes irreversibles presentes en el sistema de la siguiente forma adimensional:

$$S = \frac{(\theta_{h} - 1)^{2}}{((\theta_{h} - 1)\theta + 1)^{2}} \left(\frac{\kappa_{nf}}{\kappa_{f}} + Rd((\theta_{h} - 1)\theta + 1)^{3}\right) \left(\frac{d\theta}{dy}\right)^{2} + \frac{Br}{((\theta_{h} - 1)\theta + 1)} \left[\frac{\eta_{nf}}{\eta_{f}} \left(\left(\frac{du}{dy}\right)^{2} + \frac{u^{2}}{Da}\right) + \frac{\sigma_{nf}}{\sigma_{f}} Ha^{2}u^{2} + \frac{\rho_{nf}}{\rho_{f}} \frac{F}{\sqrt{Da}} u^{3} + \lambda \left(\frac{d^{2}u}{dy^{2}}\right)^{2}\right]$$
(15)

Donde S es normalizado por κ_f/a^2 . Una vez que la generación de entropía local, S, es obtenida, puede ser integrada sobre todo el sistema, de y=0 a y=1, para determinar la generación global de entropía, $\langle S \rangle$, entonces la expresion $\langle S \rangle$ estará en función de Da, F, θ_h , Rd, ϕ , Gr, Nr, Re, Br, Pr, Ha, α , γ , λ y Bi que caracterizan la operación del sistema.

El comportamiento de la transferencia de calor dentro del microcanal considerando la transferencia de calor por conducción y por radiación es dado por el número de Nusselt. Para la placa inferior calentada el número de Nusselt local es definido como

$$Nu = -\frac{\left(\frac{\kappa_{nf}}{\kappa_f} + Rd((\theta_h - 1)\theta + 1)^3\right)}{\theta_{(y=0)} - \frac{\int_0^1 u\theta \, dy}{\int_0^1 u \, dy}} \left(\frac{d\theta}{dy}\right)_{y=0}$$

$$\tag{16}$$

MÉTODO

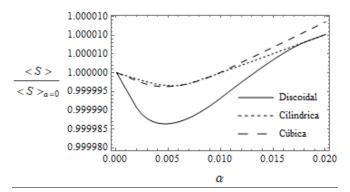
Las ecuaciones no lineales (1) y (4) con las condiciones de fronteras asociadas (2), (3), (5) y (6), respectivamente, son resueltas numéricamente usando una técnica conocida como lanzamiento (Shooting Technique), la cual permite convertir un problema de valores en la frontera a un problema de valores iniciales. Se generan nuevas variables que son determinados partiendo de un conjunto de valores iniciales y repitiendo el proceso de solución hasta que las siguientes expresiones evaluadas en la frontera superior estén satisfechas. Las soluciones numéricas de las ecuaciones no lineales acopladas fueron encontradas aplicando Runge-Kutta con la técnica shooting, tal como en otras investigaciones (López, et al, 2017). Para alcanzar un valor preciso se utilizó el criterio de

seis dígitos significativos. En esta investigación, usamos un tamaño de paso de 0.01 y exactitud local de orden siete.

RESULTADOS

Con la solución de las ecuaciones que gobiernan el sistema se pudo encontrar valores mínimos de producción de entropía. En la Figura 2 se muestra la producción global de entropía normalizada contra el deslizamiento α para las diferentes formas de las nanopartículas. Se aprecia el comportamiento de entropía para todas las formas de nanopartículas estudiadas excepto para la forma oblata debido a que su comportamiento es lineal, es decir, no se obtiene un valor mínimo de α . En todas las curvas de la figura existe un punto de inflexión alrededor de 0.005 de α , el cual indica menor pérdida de energía útil.

Figura 2 Generación de entropía global normalizada como función de α para las formas discoidal, cilíndrica y cúbica.

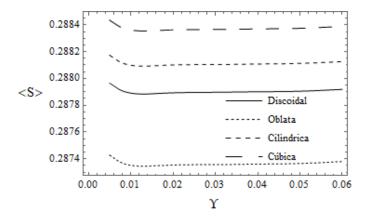


Nota. Los datos considerados para esta gráfica son: $Bi = Nr = Rd = Gr = P = Br = \lambda = 1, F = 5, \beta = \pi/6, \theta_h = 1.5, Ha = Re = 0.5, Da = 0.1, \phi = 0.01$. Elaboración propia.

En la Figura 3 es mostrada la producción global de entropía para las distintas formas de nanopartículas como función del inverso del esfuerzo acoplado Y. Se aprecia que existe un valor óptimo de Y igual a 0.01, éste hecho puede verificarse en la Figura 4 donde se muestra la producción global de entropía normalizada para las diferentes formas estudiadas. Además, se observa que la forma oblata es la de menor pérdida de energía útil siendo la forma cúbica la de mayor generación de entropía global, lo cual se puede verificar en la tabla 3 de los valores de la producción local de entropía en cada punto a través del canal. Analizando la

tabla 2 y la figura 3, se observa que a mayor valor de Ψ mayor grado de generación de entropía y el valor de la producción de entropía depende de la esfericidad que tengan las nanopartículas, que a su vez influye en la conductividad térmica del nanofluido y, por tanto, altera el flujo de calor por conducción en la expresión de entropía del sistema.

Figura 3. Generación de entropía global como función de Y para las formas discoidal, oblata, cilíndrica y cúbica.



Nota. Los datos considerados para esta gráfica son: $Bi = Nr = Rd = Gr = P = Br = 1, F = 5, \beta = \pi/6, \theta_h = 1.5, Ha = Re = 0.5, \alpha = Da = 0.1, \phi = 0.01$. Elaboración propia.

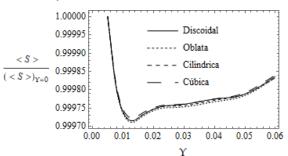


Figura 4. Generación de entropía global normalizada como función de **Y** para las formas discoidal, oblata, cilíndrica y cúbica.

Nota. Los datos considerados para esta gráfica son: Bi = Nr = Rd = Gr = P = Br = 1, F = 5, $\beta = \pi/6$, $\theta_h = 1.5$, Ha = Re = 0.5, $\alpha = Da = 0.1$, $\phi = 0.01$. Elaboración propia.

Tabla 3. Producción de entropía local de las diferentes formas de nanopartículas: Discoidal, Oblata, Cilíndrica y Cúbica.

Y	Discoidal	Oblata	Cilíndrica	Cúbica
0	0.139324	0.139542	0.139023	0.138697
0.2	0.176077	0.176527	0.176008	0.175874
0.4	0.228162	0.228923	0.228520	0.228755
0.6	0.300555	0.300969	0.301167	0.301663
0.8	0.412431	0.411299	0.413216	0.414030
1	0.613497	0.608782	0.615301	0.617548

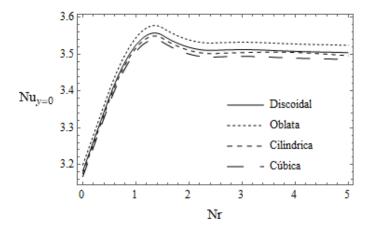
Nota. Los datos considerados para esta gráfica son: $Bi = Nr = Rd = Gr = P = \lambda = Br = 1, F = 5, \beta = \pi/6, \theta_h = 1.5, Ha = Re = 0.5, \alpha = Da = 0.1, \phi = 0.01$. Elaboración propia.

Transferencia de calor

Se encontraron comportamientos donde se presentan valores máximos de transferencia de calor. Tal es el caso de la Figura 5, donde se muestra el valor de Nu variando Nr para las distintas formas de nanopartículas en la pared superior. Se aprecia que existe un máximo de transferencia de calor cuando Nr = 1, siendo la forma oblata la que permite mayor transferencia y la cúbica la de menor transferencia de calor. La oblata es la forma con la que

se alcanza el mayor valor de Nusselt ya que es la que tiene mayor conductividad térmica entre todas las formas estudiadas. Por otro lado, existe una relación inversa entre el transporte de calor y la esfericidad Ψ, es decir, cuanto mayor es el valor de Ψ menor es la conductividad térmica del nanofluido y por tanto menor la transferencia de calor. Este hecho explica el orden en los valores del número de Nusselt que corresponde a cada una de las formas de nanopartículas.

Figura 5. Número de Nusselt en y = 0 como una función de Nr para las formas discoidal, oblata, cilíndrica y cúbica.



Nota. Los datos considerados para esta gráfica son: $Bi = Rd = Gr = P = Br = \lambda = 1, F = 5, \beta = \pi/6, \theta_h = 1.5, Ha = Re = 0.5, \alpha = Da = 0.1, \phi = 0.01$. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se analizaron los efectos que tienen algunos parámetros fundamentales que caracterizan el sistema sobre el flujo, temperatura y producción de entropía local cuando fueron utilizadas nanopartículas de Al₂O₃ con formas discoidal, cilíndrica, cúbica y oblata. Se estudió la producción de entropía local y global del sistema encontrando valores óptimos de operación. Existen valores mínimos de generación de entropía para las variables de deslizamiento y el parámetro inverso del esfuerzo acoplado.

Además, la transferencia de calor como función del deslizamiento y el parámetro inverso del esfuerzo acoplado se consideró en el análisis y valores extremos del número de Nusselt

fueron encontrados. También se comprobó que la generación de entropía y transferencia de calor dependen de la forma de las nanopartículas. La forma oblata es la que reporta menores pérdidas de energía útil, y, por tanto, menor generación de entropía, mientras que la mayor transferencia de calor corresponde a la forma cúbica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aaiza G, Khan I, Shafie S. (2015) Energy transfer in mixed convection MHD flow of nanofluid containing different shapes of nanoparticles in a channel filled with saturated porous medium. Nanoscale Research Letters; 10: 490.
- Abdulkareem S., Amosa M. K., Adeniyi A. (2018) Synthesis and structural analysis of Aluminium-filled Polystyrene composites from recycled wastes. Environ Res Eng Mgt; 74(2): 58-66.
- Adhikari S., Fernando S., Haryanto A. (2007) Production of hydrogen by steam reforming of glycerin over alumina.supported metal catalysts. Catal Today; 129(3-4): 355-364.
- Choi S. (1995) Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticle. Developments and Applications of Non-Newtonian Flows; 66: 99-105.
- Eletta A., Adeniyi G., Magaji M., Ighalo O. (2019) A mini-review on the application of alumina nanoparticles for water treatment. Innovation and Advancement in Nanoscience and Nanotechnology, Federal University Oye-Ekiti.
- Keblinski P, Phillpot SR, Choi SUS, Eastman JA. (2002) Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids). Int J Heat Mass Transfer; 45:855-863.
- Khan, I. (2017) Shape effects of MoS2 nanoparticles on MHD slip flow of molybdenum disulphide nanofluid in a porous medium. Journal of Molecular Liquids; 233: 442-451.
- Lee S, Choi SUS, Li S, Eastman JA. (1999) Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. Trans ASME, J Heat Transfer; 122:280-289.
- López A, Ibáñez G, Pantoja J, Moreira J, Lastres O. (2017) Entropy generation analysis of MHD nanofluid flow in a porous vertical microchannel with nonlinear thermal radiation, slip flow and convective-radiative boundary conditions. Int J Heat Mass Transfer; 107:982-994.
- Mohammed MA. (2015) A review of entropy generation in microchannels. Adv Mech Eng.; 7:1-32.
- Nagarajan PK, Subramani J, Suyambazhahan S, Sathyamurthy R. (2014) Nanofluids for solar collector applications: a review. Energy Procedia; 61:2416-2434.
- Peyman H., Yunes P., Abbas E., Abolfazl A., Soodabeh D., Aygun N. N., Rovshan K., Taras K. (2018) Biomedical application of aluminium oxide nanoparticles. Micro & Nano Letters; 13(9): 1227-1231.

- Ramesh K. (2016) Effects of slip and convective conditions on the peristaltic flow of couple stress fluid in an asymmetric channel through porous medium. Comput Methods Programs Biomed; 135:1-14.
- Ramesh K. (2016) Influence of heat and mass transfer on peristaltic flow of a couple stress fluid through porous medium in the presence of inclined magnetic field in an inclined asymmetric channel. J Mol Liq.; 219: 256-271.
- Ramesh K, Prakash J. (2019) Thermal analysis for heat transfer enhancement in electroosmosis-modulated peristaltic transport of Sutterby nanofluids in a microfluidic vessel. J Therm Anal Calorim.; 138(2): 1311-1326.
- Stokes VK. (1996) Couple stresses in fluids. Phys Fluids.; 9:1709-1715.
- Zaki T., Mohamed N. H., Nessim M. I., El Salam H. A. (2013) Characterization and application of nano-alumina sorbent for desulfurization and dearomatization of Suez crude petrolatum. Fuel Process Technol.; 106: 625-630.

Capítulo VII

OXIDACIÓN FOTOCATÁLITICA SOLAR DE SILDENAFIL UTILIZANDO TIO2 DOPADO CON AG

Luis Ángel Magaña Gallegos https://orcid.org/la574626@gmail.com Juan Carlos Arévalo Pérez https://orcid.org/0000-0002-8734-5575 carlos.arevalo@ujat.mx José Gilberto Torres Torres https://orcid.org/0000-0003-1551-2570 gilberto.torres@ujat.mx

RESUMEN

Un tema actual de gran relevancia para la comunidad científica es la preservación de los recursos naturales y las distintas estrategias utilizadas para remediar ambientes contaminados. Sobre todo; el agua, es uno de los recursos naturales de mayor importancia porque el ser humano depende en su mayoría de esta. Un fármaco que recientemente manifiesta este comportamiento como contaminante emergente acuoso, es el citrato de sildenafil, se ha reportado su presencia en presas de aguas residuales. Por lo tanto, es necesaria la búsqueda de procesos que permita la degradación de estos contaminantes en el agua y uno que es versátil para ello; es la fotocatálisis heterogénea solar, ya que, permite degradar contaminantes presentes en agua, aire y otros medios. En este proyecto se utilizaron fotocatalizadores de TiO₂ dopados con Ag a diferentes concentraciones 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3 y 5% en peso utilizando la fotodeposición como técnica de síntesis y como técnicas de caracterización se realizaron fisisorción de N₂, DRX, espectroscopia UV-Vis DRS, microscopia SEM, además para evaluar la utilidad de los fotocatalizadores de evaluaron ciclos de reusó. Las reacciones scanvengers se realizaron para conocer las especies reactivas que interactúan para favorecer a la degradación del contaminante. Los resultados muestran que los fotocatalizadores que presentan un mejor porcentaje de degradación del contaminante son los de concentraciones de TiO₂/Ag 0.3 % (99.26%), TiO₂/Ag 0.5 % (99.35%) y TiO₂/Ag 1.0 % (99.73%), esto debido a las propiedades que adquieren por el proceso de síntesis, pues se tiene una buena dispersión del metal sobre el TiO₂, además se

obtienen catalizadores mesoporosos con un ciclo de histéresis tipo H1 y se reporta presencia

de plasmones superficiales en la región visible.

Palabras clave: Sildenafil, fotocatálisis, fotodegradación

Introducción

El agua es fundamental para el desarrollo sostenible y es esencial para el desarrollo

socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y la supervivencia

humana. Por tanto, es de gran importancia tener la preocupación por este recurso tan

preciado, en los últimos años, la creciente contaminación ha impactado en gran manera al

agua. Los agentes contaminantes más destacados son: pesticidas, fármacos, agentes

químicos, plásticos, entre otros. Actualmente se considera a los fármacos como un "nuevo

agente de contaminación en el agua".

Esto se debe a que el ser humano en su proceso metabólico de algún medicamento, al

desecharlo, logra eliminar a través de la orina entre un 50% - 90 % del principio activo. El

citrato de sildenafil que, durante mucho tiempo, la industria farmacéutica, Pfizer, tuvo la

patente limitando así su consumo en grandes cantidades y sus altos costos, en el 2020 este

perdió la patente, por lo que haría de este producto, de patente libre y permitiendo así que

otras industrias farmacéuticas fabriquen en masa el citrato de Sildenafil y a menor costo. Esto

trajo como consecuencia que su uso aumente desmedidamente.

DESARROLLO

El uso del citrato principalmente es recomendado para adultos mayores; sin embargo, quienes

han tenido mayor consumo desmedido del medicamento son los jóvenes. Diversas páginas

de noticias han puntualizado este desenfreno, "De acuerdo con datos recogidos por Luciana

Peker en su libro Sexteame, el año pasado había 1.5 millón de hombres que consumían

fármacos para la disfunción eréctil: "El 30% de esos consumidores son menores de 21 años", (Gentil, 2020).

Al no existir mecanismos de depuración 100% efectivos, los residuos regresan a las aguas donde peces u otras especies marinas terminan consumiendo el principio activo que ha sido expulsado. Se reporta que del 100 % de este principio activo, al menos un 80% se excreta como metabolitos en las heces y el 13% en la orina, este lo podemos encontrar en tres metabolitos diferentes, aunque igual de genotóxicos para los seres vivos que se encuentren expuestos a este por más de 35 días, (Rocco, et al., 2012).

Debido a que el consumo de este medicamento ha aumentado, se han empleado diversas estrategias para la remediación de aguas contaminadas por este medicamento, sin embargo, las estrategias utilizadas son distintas al proceso fotocatalítico. Un proceso común en este ámbito es la utilización de ozono y peróxido del cual ya hay estudios de eliminación de metabolitos en agua incluyendo estos métodos (Eichhorn et al., 2012).

Gracias a esto, existen diversos métodos de purificación y saneamiento del agua, para este problema emergente, se propone utilizar el proceso de oxidación avanzada (POA) fotocatálisis heterogénea solar cuyo principio se basa en la optimización de la luz solar y una deposición de un fotocatalizador con el contaminante a dicha luz, la cual, nos permitirá formar radicales libres y esto generará un mecanismo de degradación al contaminante acuoso.

No obstante, es de suma importancia tener en cuenta que el fotocatalizador TiO₂ por sí solo es un excelente semiconductor, este se presenta en tres fases cristalinas: brokita, anatasa y rutilo. Siendo la fase anatasa la más común para esta técnica. Sin embargo, esta fase cristalina presenta una desventaja es una brecha de banda ancha (3.2 eV para la anatasa de TiO2), lo cual permite una recombinación de lo pares de e⁻/h⁺.

Para evitar esta circunstancia, se dopará al TiO₂ con diferentes concentraciones de Ag a 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3 y 5%. Esto con el fin de modificar su estructura cristalina para evitar la

recombinación de pares e⁻/h⁺. Esto se debe a que la Ag crea una barrera dominada de Schottky que actúa como una trampa de electrones, provocando la recombinación de electrones y, por lo tanto, estabilizando la separación de carga. (Sabir, et al., 2021).

MÉTODO

Síntesis de los catalizadores: Para la síntesis de los catalizadores de TiO₂/Ag se utilizó la síntesis de fotodeposición modificada, la cual, se realizó pesando 20 g de TiO₂ marca Sigma-Aldrich con una pureza mayor al 99% y se pasó a un vaso de precipitado de 250 ml, después se procedió a agregar 50 ml de alcohol isopropílico marca J.T. Baker con una pureza mayor al 99.5%. Posteriormente, se procedió a agitar por 15 minutos. Una vez pasando el tiempo de agitación, se agregó la Ag en porcentaje en peso de 0.1, 0.3, 0.5, 1, 3 y 5%, para así meter el vaso de precipitado en una caja oscura para de esta manera introducir una lámpara sumergible de luz UV, de 13 W de potencia con una tasa de transmisión UV de más del 95% a 254 nm y burbujeo con Ar, para remover los gases adsorbidos del medio ambiente y desplazar al oxigeno presente mientras está en agitación constante por 45 min. Por último, para eliminar la presencia de solventes, se colocó el catalizador en una estufa a una temperatura de 150 °C por 24 horas y al solido obtenido se procedió a moler y se guardó.

Caracterización: para conocer las propiedades texturales se realizó por la adsorción física de N2 a -196 °C usando un analizador de porosimetría y áreas superficiales de la marca Micromeritics Modelo TriStar II; donde las muestras se desgasificaron por 2 horas a 300 °C para la eliminación de impurezas y para obtener el peso neto de la muestra.

El DRX se realizó en un difractómetro marca Bruker AXS modelo D2 Phaser, equipado con un tubo de Cu, siendo la radiación correspondiente a la transición CuKα con una longitud de onda de 1.5418 Å de 20° a 80° en la escala 2θ, en un paso de 0.02° y con un tiempo de paso de 1 segundo. Los difractogramas obtenidos se emplearon para determinar el tamaño promedio de cristal, utilizando la ecuación de Scherrer.

Se empleó para determinar las transiciones electrónicas presentes en el TiO2, que en consecuencia generaran las bandas de absorción asociadas a la actividad óptica de los catalizadores analizados en el espectro electromagnético, lo que genera una banda pronunciada de absorbancia entre los 350-400 nm aproximadamente. Con estos datos fue posible determinar la energía de banda prohibida (Eg) de los fotocatalizadores empleando la siguiente ecuación:

$$\propto (hv) = A(hv - Eg)^{m/2}$$

Donde:

α= Coeficiente de absorción.

hv= Es la energía del fotón incidente.

m= 1; Porque hay una transición directa entre las bandas de valencia y conducción.

Entonces si α y A tienden a Cero la ecuación queda como ahora como:

$$Eg = hv = hc/\lambda$$

Por lo cual, c=es la velocidad de la luz 299792458 m/s.

h= es la constante de Planck 4.1356692 x 10⁻¹⁵ eV s.

 λ = es la longitud de onda en nm.

Con el método de Tau, se describió y se extrapolo el valor de la Eg en los catalizadores.

Con la microscopia SEM se analizó la morfología y la estructura superficial de partículas correspondientes al material más activo, esto se efectuó a través de un microscopio electrónico de barrido marca JEOL, modelo JSM-6010LA de alto vacío con detector de energía dispersa EDS, el cual permitió realizar un escaneo elemental semicuantitativo para los elementos químicos presentes en la muestra; las imágenes adquiridas se procesaron con el software InTouchScope.

Evaluación fotocatalítica: Se llevó a cabo en un simulador solar modelo SUNTEST CPS+ marca Atlas, en un rango de emisión que abarca de 250 a 765 W.m⁻². El tiempo de reacción para estas pruebas fueron de 180 minutos, considerando 30 minutos de un periodo de equilibrio de absorción entre el contaminante y el catalizador.

Dentro del simulador se colocó un reactor fotocatalítico de 300 mL, en su interior se empleó un volumen de 250 mL correspondientes a una solución acuosa de Sildenafil a 50 mg/L. El reactor estuvo acoplado a un sistema de agitación constante y de regulación de temperatura por recirculación de agua. Además, de contar con un sistema de muestreo que permitió el monitoreo de la reacción a diferentes tiempos. El material del cual está constituido el reactor es de vidrio de borosilicato traslucido para permitir la mayor transferencia de luz solar simulada.

El seguimiento de la reacción se evaluó considerando la evolución del pico de máxima absorbancia del Sildenfil a 292 nm por espectroscopia UV-Vis, las muestras colectadas de reacción se tomaron a 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos respectivamente, considerando unos 15 mL de muestra. Para esto se elaboró una correspondiente curva de calibración que permita describir la concentración del Sildenafil en diferentes tiempos de reacción. Además, se realizaron unas pruebas con agentes carroñeros (scavengers) y ciclos de reúso con el catalizador más activo para analizar la estabilidad del material después de reacción y verificar que especie oxidante es la encargada de la oxidación del Sildenafil.

RESULTADOS

Fisisorción N₂

Los resultados nos arrojan isotermas tipo IV (figura 1) según la clasificación de la IUPAC, lo cual, nos indica que tenemos catalizadores mesoporosos (2-50 nm) en la superficie de los catalizadores, indicando que la cantidad de metal impregnado (Ag) no afecta a los procesos de adsorción-desorción en la superficie de los catalizadores. Así mismo, se presentan lazos de histéresis del tipo H1, que, de acuerdo con la clasificación establecida por la IUPAC, indica que se tienen materiales con una porosidad angosta, con poros cilíndricos abiertos y

cerrados con una distribución uniforme.

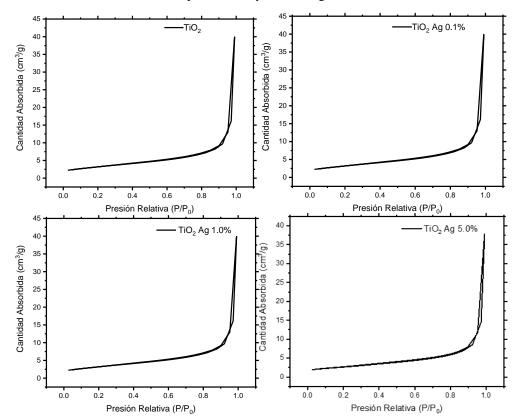


Figura 1. Isotermas de Adsorción-desorción para el TiO2 y el TiO2-Ag a diferentes concentraciones.

En la tabla 1 se observan los valores correspondientes a las determinaciones del área específica, el promedio de diámetro de poros y el volumen total de poros. Podemos observar que el valor del área específica para el TiO₂ es muy bajo, lo cual concuerda con las especificaciones que brinda la ficha técnica de la etiqueta correspondiente al recipiente que lo contiene y que emite la marca Sigma-Aldrich, indicando un área superficial de 10 m²gr⁻¹ aproximadamente, con un 100 % de fase cristalina anatasa.

Tabla 1. Valores determinados de áreas específicas, promedio de diámetro de poros y volumen total de poros, para los catalizadores sintetizados.

Fotocatalizadores	lizadores Área específica (BET) Promedio de diámetro de Poros Ă		Volumen Total de Poros cm³ gr ⁻¹
${ m TiO_2}$	11.37	34.00	0.059
TiO_2 - Ag 0.1	12.87	34.17	0.062
TiO ₂ - Ag 0.3	13.46	34.15	0.070
TiO ₂ - Ag 0.5	14.82	34.14	0.079
TiO _{2 -} Ag 1.0	12.84	34.16	0.082
TiO_2 Ag 3.0	11.25	34.15	0.064
TiO ₂ - Ag 5.0	9.33	34.17	0.056

Con respecto al diámetro de poros, en todos los materiales se observan valores cercanos entre sí, aumentado ligeramente este parámetro para las muestras que contienen Ag superficial, esto manifestó que el material no presentó cambios superficiales notables y que la porosidad se mantuvo casi igual en todas las muestras y esto concuerda al observar las isotermas.

Referente al volumen total de poros se puede mencionar que tiene un comportamiento parecido al observado en las áreas específicas llegando a un valor máximo, pero en este caso para la muestra con 1.0% de Ag y posteriormente, este valor comienza a disminuir hasta valores inferiores a los obtenidos por el TiO₂ puro. De esto podemos describir que el aumento de la concentración mayores de 1.0 % de Ag contribuye a la obstrucción de la poca porosidad que manifiesta este TiO₂ comercial, lo cual también reduce el área específica.

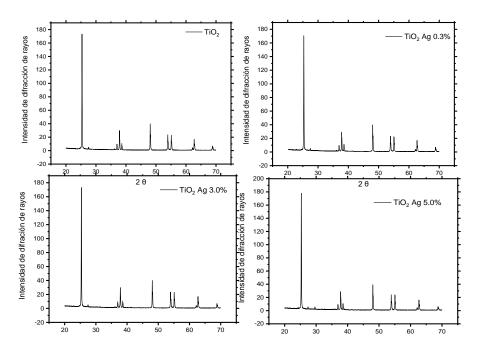
DRX

Los sólidos obtenidos por fotodeposición modificada presentan solo la fase cristalina, la cual es anatasa debido a la temperatura de tratamiento que se utilizó en la síntesis (120° a 150° C) y a la descripción de la ficha técnica del reactivo comercial. La figura 2 muestra las señales de los picos característicos para la fase cristalina anatasa detectada. Los picos principalmente

se encuentran en los rangos de 25.3, 37.8, 48.5, 54, 55.3, 62.5 y 68.9 grados de la escala 2 θ . Se pueden observar en los difractogramas que los fotocatalizadores con presencia de Ag no presentan mucha diferencia con respecto al difractograma del TiO₂ puro, en todos se pueden observar mayoritariamente las señales correspondientes de la fase cristalina anatasa (25.3°, 37.8°, 48.5°, 54°, 55.3°, 62.5° y 68.9° en la escala 2 θ) de acuerdo con la biblioteca del Joint Committee on Powder Difraction Standars (JCPDS 88-1286).

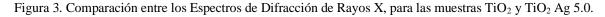
Es apenas notable un pequeño pico en 27° de la escala 2 θ en todas las muestras analizadas, esto se puede atribuir a la señal en 27.2° de acuerdo con la ficha JCPDS 88-1175, correspondiente a la fase rutilo del TiO₂ (27.2°, 36°, 39.1°, 41.1°, 44°, 54.2°, 56.8°, 62.8°, 64°, 65.5°, 69° y 69.8).

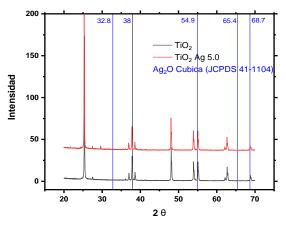
Figura 2. Espectros de Difracción de Rayos X, para las muestras TiO₂, TiO₂ Ag 0.3, TiO₂ Ag 3.0 y TiO₂ Ag 5.0.



No obstante, en la muestra que presenta una concentración de 5 % de Ag, se revela la presencia de otra señal muy débil en la región de los 30° en la escala 2 θ . Este pequeño pico puede atribuirse una señal cercana correspondiente al Ag₂O cúbico que tiene señales en 32,8°, 38,0°, 54,9°, 65,4° y 68,7° en la escala 2 θ (JCPDS 41- 1104); aunque con un ligero

desplazamiento hacia izquierda, como se muestra en la figura 3.





Lo anterior, se puede atribuir a la aglomeración y formación de partículas metálicas de Ag más grandes que están en exceso como dopantes en el TiO₂, ya pueden ser detectadas débilmente por DRX, además, esto se relaciona con la coloración del material, ya que este catalizador manifestó un ligero cambio de coloración a tonalidades amarillas, lo cual, fue reportado por el equipo de trabajo de Bhardwaj et al. (2020).

Tabla 2. Valores del Tamaño Promedio de Cristal y las fases cristalinas presentes en los materiales preparado, método de Scherrer

Fotocatalizadores	Tamaño promedio de cristal* Nm	Fase cristalina
TiO ₂	56.71	Anatasa
$TiO_2 - Ag \ 0.1$	56.98	Anatasa
$TiO_2 - Ag \ 0.3$	57.89	Anatasa
$TiO_2 - Ag \ 0.5$	56.95	Anatasa
$TiO_2 - Ag \ 1.0$	57.78	Anatasa
$TiO_2 - Ag \ 3.0$	56.71	Anatasa
$TiO_2 - Ag 5.0$	58.80	Anatasa

Se observa que el efecto de dopaje por deposición modificada logra aumentar ligeramente el tamaño promedio del cristal comparado con el TiO₂ sin dopaje. Aunque en el caso de

TiO₂/Ag 3.0 logra tener el mismo tamaño de cristal que el TiO₂ puro. En la muestra con la mayor cantidad de Ag aumenta en 2 nm el tamaño de cristal, posiblemente por la aglomeración superficial de la Ag, ya que, aunque el método es eficiente en la dispersión de la Ag.

Espectroscopia UV-Vis DRS

Se puede apreciar también en la figura 4 que el dopaje TiO₂/Ag absorbe a longitudes de onda superiores a los 400nm, lo que nos indica hacia qué región del espectro electromagnético son activos los catalizadores. En la figura 6, se puede apreciar la formación de plasmones superficiales de (Ag⁰). Como se mencionó anteriormente, los catalizadores presentan una alta presencia de dichos plasmones, en los rangos 400 a 750 nm. Siendo el catalizador TiO₂/Ag 1% quien presenta una mayor presencia de plasmones superficiales, lo cual, como veremos más adelante, que la actividad catalítica se ve más favorecida.

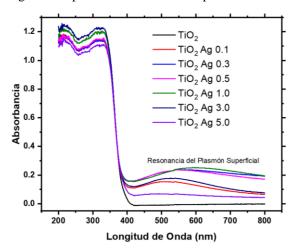


Figura 4. Espectros UV-vis: TiO₂ dopado a diferentes concentraciones de Ag.

Lo anterior se puede explicar gracias a que la intensidad de la absorción de plasmones superficiales aumenta con el aumento de la cantidad de Ag, lo que probablemente se deba a que las partículas de plata se depositan muy bien en superficie de TiO₂, (Liu, et al., 2013). También se observa que los catalizadores dopados a 0.5 y 3 % de Ag tienden a crear plasmones entre los rangos de 450 a 700 nm logrando que el catalizador de TiO₂/Ag 0.5% un porcentaje de degradación de 99.35%. De esta manera, queda claro que los catalizadores

que logran tener una mayor actividad de degradación son los que poseen mayor cantidad de plasmones superficiales de Ag. Para poder conocer el cálculo de la energía de la banda prohibida óptica utilizamos el método gráfico de Tauc (figura 5), el cual tiene como resultado una mayor aproximación que la extrapolación directa del espectro UV-vis para hallar el λ de inicio de la absorción.

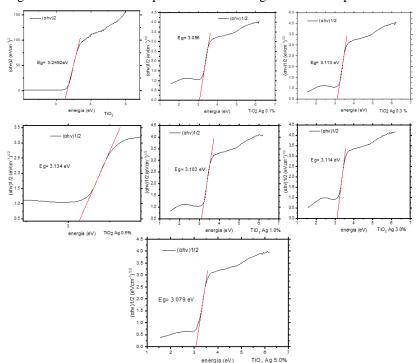


Figura 5. Graficas de Tauc para calcular la energía de la banda prohibida de los fotocatalizadores.

Tabla 3. Valores de las Eg y la longitud de onda asociada a cada catalizador preparado.

Fotocatalizadores	Banda de Energía Prohibida (eV)	Longiud de Onda Asociada (nm)
${ m TiO_2}$	3.24	383
TiO ₂ -Ag 0.1	3.05	406
TiO ₂ -Ag 0.3	3.11	399
TiO ₂ -Ag 0.5	3.13	396
TiO ₂ -Ag 1.0	3.10	400

TiO ₂ -Ag 3.0	3.11	399
TiO ₂ -Ag 5.0	3.07	404

Es notable destacar que todas las muestras con Ag superficial reducen el valor de su Eg, con lo cual podemos describir que los materiales tendrán una mejor respuesta espectral hacia región visible, lo cual concuerda con el color persisten en cada uno de los materiales. El TiO₂ sin Ag mostró una energía de 3.24 eV, como lo reportado previamente la literatura (Slapnicar, 2023). En el caso del catalizador TiO₂/Ag 0.1 % podemos observar una disminución significativa de la banda de energía prohibida, siendo más baja comparado con todos los catalizadores. Conforme aumenta la cantidad de plata en la superficie del TiO₂, vemos que llega un máximo para las muestras con 0.5% de Ag y posteriormente disminuye hasta 3.07 en la muestra con 5.0 % de Ag. Esta reducción se puede asociar a un cambio en la respuesta espectral ya que este material fue el único que manifestó un color con tendencias al amarillo con respecto a los demás que tenía una coloración morado claro.

Microscopia SEM.

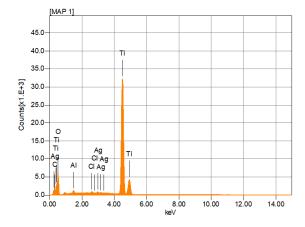
La figura 6 muestra una superficie amorfa sin la presencia de porosidad, que coincide con las características iniciales del TiO₂ que nos brinda la ficha técnica de la etiqueta correspondiente al recipiente que lo contiene y que emite la marca Sigma-Aldrich, al ampliar la imagen a 2 micras, se puede observar pequeñas aglomeraciones alrededor del cristal, se puede explicar que son propias del cristal de TiO₂ en su fase anatasa. También podemos observar la presencia de Ag, la cual, cuenta con una buena distribución elemental. En la parte inferior derecha tenemos el mapa elemental del catalizador, lo cual, nos muestra pequeñas aglomeraciones propias de la Ag, debidas al método de preparación.

SEI 204V WD11mmS335 x820 25µm — SEI 204V WD11mmS335 x6,500 2µm —

Figura 6. Imágenes del catalizador de TiO₂/ Ag 1 % y mapeo elemental.

En la figura 7 se muestra el análisis elemental cuantitativo que fue realizado por el espectrómetro de dispersión de energía de rayos X que se encuentra acoplado al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y nos muestra la presencia de plata sobre la superficie del catalizador de TiO₂/Ag 1%. Además de que se puede ver la presencia de otros elementos, los cuales no son parte de la estructura del catalizador, se puede entender que la fabricación del material, al ser comercial, su pureza no es adecuada y esto concuerda con otros estudios utilizando TiO₂-P25, (Arévalo, et al, 2018).

Figura 7. análisis elemental cuantitativo que fue realizado por el espectrómetro de dispersión de energía de rayos X acoplado al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).



Elemento químico	Porcentaje en peso (%)
С	4.96
0	35.94
Al	0.61
Ti	0.31
Ag	0.88

Evaluación fotocatalítica

Como se puede observar en la figura 8, todos los catalizadores con presencia de Ag son más activos que el TiO₂ puro, esto manifiesta un efecto positivo en la reacción por acción de la Ag, siendo el catalizador más efectivo el que contiene una cantidad de Ag 1%, llegando a una efectividad de degradación de un 99.73%.

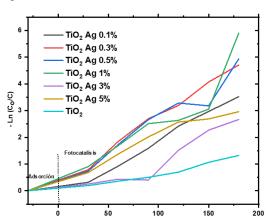


Figura 8. Evaluación catalítica de Sildenafil con los catalizadores sintetizados.

Posteriormente, le siguen los catalizadores TiO₂/Ag a 0.5 % logrando un rendimiento de 99.355 % y TiO₂/Ag a 0.3% con un rendimiento de 99.262%. siendo estos tres los más activos de toda la serie. En un análisis global podríamos establecer que lo más recomendable seria insertar Ag superficial, con este método, a un porcentaje de 0.3% ya que al aumentar la cantidad de Ag hasta 1.0% la eficiencia seria cercana, pero con un aumento tres veces mayor correspondiente al precursor de Ag, lo cual en cuestiones económicas encarecería el proceso. El aumento de la actividad fotocatalítica de acuerdo con la cantidad Ag como dopante se debe en cierta medida a la concentración óptima del dopante que mejora la separación de los pares electrón-hueco y por ende su tiempo de vida.

Gracias a que la Ag⁺ se reduce a Ag⁰ al exponerse a la luz solar evita la recombinación de carga. Además, los grupos de Ag⁰ mejoran la absorción de luz visible en la superficie de TiO₂ debido al efecto de resonancia de plasmón superficial. Debido a que estos fenómenos tienen un efecto sinérgico en la reacción, se favorece el resultado expresado en un alto rendimiento fotocatalítico, (Santos, et al., 2015).

En la tabla 6, observamos los valores de las Constantes de Velocidad y el Tiempo de Vida Media para los catalizadores. Se percibe que los 3 materiales más activos descritos anteriormente, tienen el valor de sus constantes más elevados y en consecuencia eliminan la mitad de la concentración del Sildenafil en un menor tiempo. Se destaca el hecho de que las muestras más activas son 3 veces más activas que el TiO₂ puro y esto deriva un tiempo 3 veces menor para eliminar la mitad del contaminante (Sildenafil).

Tabla 6. Valores de las Constantes de Velocidad y el Tiempo de Vida Media para los catalizadores.

Fotocatalizadores	Constante de Velocidad para Pseudo Orden 1 (min ⁻¹)	Tiempo de Vida Media (Minutos)
TiO ₂	0.0072	96.270
TiO ₂ -Ag 0.1	0.0207	33.485
TiO ₂ -Ag 0.3	0.0262	26.455
TiO ₂ -Ag 0.5	0.0253	27.397
TiO ₂ -Ag 1.0	0.0273	25.390
TiO ₂ -Ag 3.0	0.0156	44.432
TiO ₂ -Ag 5.0	0.0168	41.258

Reacciones scanvengers y ciclos de reusó

Los agentes usados fueron benzoquinona (BQ), para determinar la formación de aniones superóxido O_2^- , isopropanol (IPA), para radicales OH*, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para huecos h⁺ y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para los e⁻. En la figura 9 se observa que el mecanismo de reacción tiene una alta competencia principalmente con los radicales OH* y también se muestra una contribución significativa por parte de los h⁺ fotogenerados. Esto demuestra que estas especies son las que mejor contribución tienen al proceso de degradación, cabe destacar que tanto los e- como los iones O_2^- tienen una contribución minoritaria.

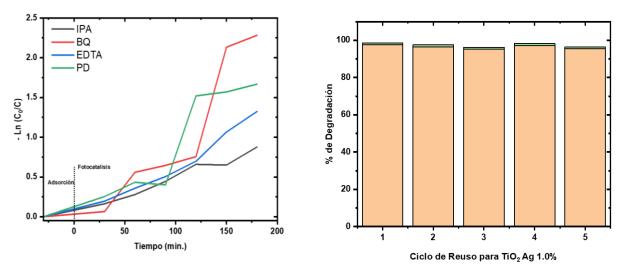


Figura 9. a) reacciones de scavengers; b) ciclos de reusó de los catalizadores.

Es importante realizar un estudio de la estabilidad y ciclos de reutilización del catalizador para saber si el catalizador puede ser prometedor y reducir costos en procesos fotocatalíticos. La figura 9b muestra los ciclos de reutilización del catalizador TiO₂/Ag. Para cada ciclo, el catalizador se filtró, se lavó varias veces con metanol y se secó a 120 C. Finalmente, el catalizador se calcinó en una estufa a 120°C durante 24h. De acuerdo con los resultados obtenidos, luego de 4 ciclos de reutilización, el catalizador tuvo una pérdida poco significativa de actividad con respecto al catalizador recién sintetizado, posteriormente en su tercer ciclo un incremento en su actividad catalítica para después perder ligeramente su actividad en un 2.07%. Este resultado mostró que no se obtuvo un cambio muy significativo en la reacción y que el catalizador conserva una gran actividad catalítica después de ser sintetizado y utilizado varias veces.

CONCLUSIONES

Las pruebas de la evaluación fotocatalítica demostraron que los catalizadores con 0.3, 0.5 y 1.0% de Ag tienen el mejor rendimiento en una cinética de reacción de pseudo orden 1 con las mejores constantes de velocidad y el menor tiempo de vida media para eliminar la mitad del Sildenafil como contaminante acuoso, de las cuales la última fue la más activa. Pero por cuestiones económicas y por la cercana efectividad resulta ser mejor dopante a una

concentración menor (0.3%). Las mejores eficiencias de los materiales se atribuyen a una concentración óptima del dopante que mejora la separación de los pares electrón-hueco y por ende su tiempo de vida. Se determinó que el mecanismo de reacción tiene una alta competencia principalmente con los radicales OH* y también se muestra una contribución significativa por parte de los h⁺ fotogenerados.

Por DRX se confirmó la presencia mayoritaria de la Anatasa como fase cristalina, a pesar de tener una concentración considerable de Ag solo hasta 5.0% se logró observar una débil señal con corrimientos atribuida al Ag₂O cubico. Esto confirma también la efectividad de dispersión de la Ag debido al método de preparación. No obstante, el tamaño promedio de cristal en las muestras aumentó levemente conforme la concentración de Ag. La respuesta espectral de los catalizadores con presencia de plata mejora considerablemente con respecto al TiO₂ puro (blanco), esto se evidencia desde el color de las muestras, que van desde tonalidades moradas claras hasta amarillas tenues (menor a mayor concentración de Ag). Los valores de la Eg fueron menores para todas las muestras con Ag, siendo el catalizador a 0.1% de Ag el que menor valor mostró.

PROPUESTAS

- Establecer un mecanismo de reacción basado en los procesos de mineralización del Sildenafil.
- Analizar por microscopia electrónica de transmisión la morfología y el tamaño de las partículas de Ag depositadas en el TiO₂.
- Determinar por Espectrofotometría de Rayos X las contribuciones electrónicas de Ag,
 Ti y el O en los materiales.
- Corroborar por estudios con fluorescencia la inhibición en los procesos de recombinación electrón-hueco. Aplicar estos materiales en un proceso foto catalíticos en continuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, J. C., Torres, J. G., Cervantes, A., Pérez, H., Cordero, A., Izquierdo, A., Silahua, A. A., y Contreras, W. M. (2018). Use of Multivariable Analysis (ANOVA) to Compare Irradiation Sources on Diuron Destruction by Photocatalysis Using TiO₂-P25 Impregnated with Sm³⁺, Eu³⁺ and Gd³⁺. Journal of Chemical Engineering & Process Technology, 9(374), 1-8.
- Bhardwaj, S., Sharma, D., Kumari, P., y Pal, B. (2020). Influence of photodeposition time and loading amount of Ag co-catalyst on growth, distribution and photocatalytic properties of Ag@TiO₂ nanocatalysts. Optical Materials, 106, 109975. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109975
- Eichhorn, P., Pérez, S., Aceña, J., Gardinali, P. R., Abad, J. L., y Barceló, D. (2012). Identification of phototransformation products of sildenafil (Viagra) and its N-demethylated human metabolite under simulated sunlight. Journal of Mass Spectrometry, 47(6), 701-711. https://doi.org/10.1002/jms.2998
- Gentil, A. (2020). Un fenómeno que se acentúa en pandemia: el uso de viagra entre los más jóvenes. Noticias. https://noticias.perfil.com/noticias/ciencia/un-fenomeno-que-se-acentua-enpandemia-el-uso-de-viagra-entre-los-mas-jovenes.ph
- Liu, E., Li, K., Wu, F., Sun, T., Hu, X., Yang, Y., y Liu, H. (2013). Photocatalytic reduction of CO₂ into methanol over Ag/TiO₂ nanocomposites enhanced by surface plasmon resonance. Plasmonics, 9(1), 61-70. https://doi.org/10.1007/s11468-013-9598-7
- Rocco, L., Frenzilli, G., Zito, G., Archimandritis, A., Peluso, C., y Stingo, V. (2012). Genotoxic effects in fish induced by pharmacological agents present in the sewage of some Italian water-treatment plants. Environmental Toxicology, 27(1), 18-25. https://doi.org/10.1002/tox.20607
- Sabir, A., Sherazi, T. A., y Xu, Q. (2021). Porous polymer supported Ag-TiO₂ as green photocatalyst for degradation of methyl orange. Surfaces and Interfaces, 26, 101318. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101318
- Santos, L. M., Machado, W. A., França, M. M., Borges, K. A., Paniago, R. M., Patrocinio, A. O. T., y Machado, A. L. T. (2015). Structural characterization of Ag-doped TiO₂ with enhanced photocatalytic activity. RSC Advances, 5(125), 103752-103759. https://doi.org/10.1039/c5ra22647c
- Slapničar, S., Žerjav, G., Zavašnik, J. Finšgar, J., y Pintar, A. (2023). Synthesis and characterization of plasmonic Au/TiO2 nanorod solids for heterogeneous photocatalysis. Journal of environmental chemical engineering, 11 (3), 109835. https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109835.

Capítulo VIII

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN BALANCÁN, EFECTO DEL SUBSIDIO FEDERAL

Julia Patricia Macossay Padilla

https://orcid.org/002-0412-6837 jmacossay_ptc@utusumacinta.edu.mx

Salustino Abreu Jiménez

https://orcid.org/0003-2094-7464 sabreu_ptc@utusumacinta.edu.mx

Martín Gerardo Martínez Valdés

https://orcid.org/0002-0953-0986 mmartinez_ptc@utusumacinta.edu.mx

RESUMEN

Hacer un análisis de la producción Agrícola de Balancán en los ciclos cíclicos Perennes, de cultivos de temporal y sistema de riego, para determinar los efectos positivos del programa Sembrando Vida, encaminados a mejorar las condiciones que prevalecen en los pequeños agricultores y que sirven de base para garantizar el crecimiento en los procesos de desarrollo social y sustentabilidad. Este trabajo tiene como objetivo analizar la producción agrícola en el Municipio de Balancán desde el 2015 hasta el 2020, para posteriormente aplicar el promedio móvil de los años de producción antes mencionados; y con ello comparar la producción del año 2021 que fue el último ciclo anual agrícola cerrado y con ello medir la eficiencia del programa social antes mencionado. Después de aplicar los promedios móviles a la producción agrícola de Balancán de cultivos representativos, se obtuvieron los resultados siguientes: Del maíz para el 2021 se esperaba una producción de \$149,821,800, de la papaya se esperaba \$40,945,600, la de sandía se esperaba una producción de \$36,978.95, las cuales

fueron superadas; cabe hacer mención que la única producción que no fue rebasada fue la del

sorgo.

Palabras clave: Desarrollo social, análisis, eficiencia.

Introducción

Gracias a la Secretaría del Bienestar del Gobierno Federal y su programa Sembrando Vida

el cual busca contribuir al bienestar social de sembradoras y sembradores a través del impulso

de la autosuficiencia alimentaria con acciones que favorezcan la reconstrucción del tejido

social y la recuperación del medio ambiente, a través de la implementación de parcelas con

sistemas productivos agroforestales, en las zonas rurales del país y con esto reactivar la

actividad del sector primario de la Economía (Gobierno de México, 2022). Y es por todo lo

antes descrito que se analiza, a través de la comparación de la producción de los cultivos y al

que resulte de aplicar promedios móviles ponderados la proyección (Méndez, 2018) de los

cultivos de temporal y de riego del 2015-2020 del municipio de Balancán, Tabasco para

medir la efectividad del programa Sembrando Vida.

Según Gobierno de México-SIAP, (2022) al 31 de diciembre del 2021 en Tabasco se

sembraron 100,724.25 has, se cosecharon 97,653.25 has, las cuales tuvieron un valor de

\$1,065,099,320. En Balancán 12,223.00 has, se cosecharon 11956.00 has, las cuales tuvieron

un valor de \$142,850,980.

De acuerdo con la misma fuente consultada en el Sistema de Información Agroalimentaria y

Pesquera los cultivos cíclicos perennes, modalidad riego y temporal, es uno de los cultivos a

analizar, el cual mostró la producción más elevada en todos los años en cuestión. Desde el

2015 al 2020 la producción agrícola del Maíz, observamos de manera horizontal en su

producción del 2015-2017, un declive con \$167,963,470 en el 2015, en el 2017 \$125,179,180

y en 2018 aumento hasta alcanzar \$169,699,110, pero en 2019 volvió a disminuir a

\$150,549,320, luego para el 2020 aumento a \$153,859.57; también es cierto que el clima es

una variable que afecto a la producción, las constantes sequías y la variabilidad de las lluvias.

Otros cultivos que se analizaron durante los seis años fueron: Papaya, Sorgo y Sandía, ya que fueron los que mostraron los valores de la producción más altos en Miles de pesos. El sistema de producción agrícola familiar que prevalece en esta zona geográfica en la mayoría de los casos consiste en la preparación de los terrenos de 2.5 hectáreas que se lleva a cabo utilizando la mano de obra familiar, y la mano de cambio que es una forma de ayuda mutua entre miembros del grupo de agricultores, así como en algunos casos, el pago de jornales.

El objetivo de este trabajo es analizar la producción agrícola de Balancán en los ciclos perennes, de cultivos de temporal y sistema de riego desde el 2015 hasta el 2020, aplicando el promedio móvil y comparando la producción del año 2021, para posteriormente medir la eficiencia del programa sembrando vida; el cual busca mejorar las condiciones que prevalecen en los pequeños agricultores y que sirven de base para garantizar el crecimiento en los procesos de desarrollo social y sustentabilidad.

DESARROLLO

Éste estudio nace a razón del análisis y cruce de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): fin de la pobreza, hambre cero y el de trabajo decente y crecimiento económico. Los cuales en su conjunto convergen y se verán beneficiados con las estrategias de los programas sociales del bienestar como "Sembrando Vida".

Siendo la Agricultura, el cultivo de diferentes plantas, semillas y frutos, para proveer de alimentos al ser humano o al ganado y de materias primas a la industria. Es que el actual gobierno federal está preocupado por generar estrategias de autosuficiencia alimentaria (México, 2019) lo cual implica avanzar en una mayor producción interna de granos, en particular maíz, frijol, trigo harinero y arroz; así como en leche, carne de res, cerdo, pollo y pescado.

Las ventajas de la autosuficiencia alimentaria de acuerdo con Gobierno de México, 2019 son:

- Proteger al país ante los vaivenes del comercio internacional y las fluctuaciones incontrolables de los precios de los productos agropecuarios.
- Asegurar el abastecimiento de alimentos para satisfacer las necesidades de las poblaciones locales.
- Generar un sistema alimentario propio que considere no sólo la producción de alimentos, sino también las actividades inherentes a ella, como la transformación industrial, la actividad comercial, los servicios financieros y los servicios tecnológicos.
- Ahorrar divisas.
- Producción de alimentos con cuidado al medio ambiente.
- Generar mejores condiciones de vida de los productores del campo.

Esta estrategia busca aumentar la productividad de los pequeños y medianos productores, ya que representan el 90 por ciento del total de productores del país y generan la mitad de la producción nacional.

MÉTODO

- Se aplica la metodología de investigación documental no experimental (Hernández et al., 2014), y horizontal al aplicar el modelo de promedios móviles (Levin y Rubin, 2004), para series de tiempo aplicado la producción representativa de los datos históricos para pronosticar la producción del año 2022 en el municipio de Balancán, Tabasco.
- 2. Se define el objetivo y determina las fuentes de consulta, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP.
 - Se define el objetivo basado en Hernández, et al., (2014) y se determinan las fuentes de consulta, resultando como fuente principal (Gobierno de México-SIAP, 2022). En cuanto a hectáreas producidas y cosechadas, discriminamos por geografía distrito de Emiliano Zapata, municipio de Balancán, ciclos de cultivos: cíclicos Perennes, y modalidad de cultivo: Temporal y sistema de riego.

Discriminamos por geografía distrito de Emiliano Zapata, municipio de Balancán, ciclos de cultivos: Cíclicos Perennes, y modalidad de cultivo: Temporal y sistema de riego.

- 3. Se realizaron los cálculos de promedios móviles en Excel, pronosticando la producción del año 2021 (Método cuantitativo).
 - Una vez que se conoce la producción representativa de los años en cuestión de plantaciones de Maíz, Papaya, Sorgo y Sandía, estos productos fueron escogidos de las tablas de consulta de (Gobierno de México-SIAP, 2022).
- 4. En este caso se usaron los datos del 2015 hasta el 2018, para obtener el promedio móvil del 2019, 2020 y 2021.
 - El método de los promedios móviles utiliza el promedio de los valores de datos más recientes en la serie de tiempo como el pronóstico para el siguiente periodo.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en software Excel. Se analiza la producción agrícola de cultivo del maíz desde el 2015 al 2020, observando de manera horizontal en su producción del 2015-2017, un declive con \$167,963,470 en el 2015, en el 2017 \$125,179,180 y en 2018 aumento hasta alcanzar \$169,699,110, volviendo a disminuir en 2019 a \$150,549,320, aumentando para el 2020 a \$153,859.57.

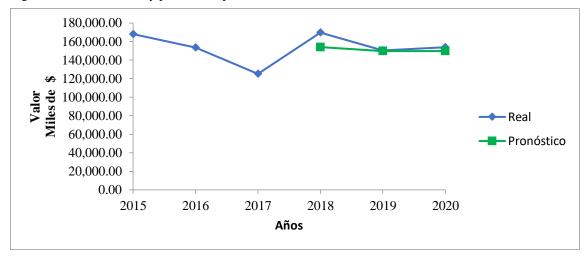


Figura 1. Producción real y producción pronosticada del cultivo del maíz.

Nota: En esta gráfica observamos la producción real del cultivo de maíz del 2015 al 2020, la cual es la línea azul. También observamos la producción pronosticada del 2018 al 2020. Viendo de manera gráfica como repunta la producción esperada en el 2019 y 2020.

A continuación, mostramos los resultados de tablas de cálculo de promedios móviles de los cultivos de maíz, papaya, sandía y sorgo:

	MAIZ	Superficie		Valor Producción		
		(h	(ha)			
		Sembrada	Cosechada		Promedio móvil	
	2015	20,298.24	17,935.24	167,963.47		
	2016	17,923.00	17,923.00	153,494.82		
	2017	17,473.00	14,883.00	125,179.18		
AÑO	2018	19,231.00	18,881.00	169,699.11		
₹	2019	19,283.00	16,948.00	150,549.32	154,084.15	
	2020	19,895.00	17,274.00	153,859.57	149,730.61	
	2021	20,168.00	19,341.00	203,085.06	149,821.80	

Tabla 1. Producción de Maíz por hectárea en miles de pesos y cálculo del promedio móvil.

Nota. Después de aplicar los promedios móviles a la producción agrícola de Balancán de cultivos representativos, se obtuvieron los resultados siguientes: Del maíz para el año 2019 se esperaba \$154,084.15 y la producción quedo corta, principalmente porque apenas el programa de sembrando vida empezaba a tener auge. Para el 2020 se esperaba una producción de \$149,730.61, la cual fue superada, teniendo una producción real de \$153,859.57 pese que fue el año de Pandemia Covid-19; cabe hacer mención que este sector no fue obstaculizado por pandemia y los agricultores aprovecharon esta oportunidad y se refleja en los resultados. Para el año 2021 se esperaba una producción de \$149,821,800, la cual fue superada, con una producción real de \$153,859.57.

Tabla 2. Producción de	Papava por hectárea	en miles de pesos	v cálculo del	promedio móvil.

	PAPAYA	Superficie		Valor Producción	
		(h	a)	(miles de Pesos)	
	ľ	Sembrada	Cosechada		Promedio móvil
	2015	180	119	38,468.87	
	2016	194	122	46,287.53	
	2017	173	107	33,064.36	
AÑO	2018	154	124	46,772.02	
- ✓	2019	125	85	30,921.78	41,148.20
	2020	155	125	53,024.23	39,261.42
	2021	155	155	64,504.10	40,945.60

Nota. Después de aplicar los promedios móviles a la producción agrícola de Balancán del cultivo de la papaya el año 2019 se esperaba \$41,148.20 y la producción quedo debajo de lo proyectado, principalmente porque apenas el programa de sembrando vida empezaba a entrar en función. Para el 2020 se esperaba una producción de \$39,261.42, la cual fue superada, teniendo una producción real de \$53,024.23 pese que fue el año de Pandemia Covid-19; es importante recalcar que el sector agrícola no fue obstaculizado por pandemia, al contrario, al ser un sector prioritario continuaron con su actividad y los agricultores aprovecharon esta oportunidad y se observa en los resultados de este año. Para el año 2021 se esperaba una producción de \$40,945.60, la cual fue superada, con una producción real de \$64,504.10; teniendo un incremento porcentual del 57.53%.

Tabla 3. Producción de Sandía por hectárea en miles de pesos y cálculo del promedio móvil.

	SANDIA	ANDIA Superficie (ha)		Valor Producción	
				(ha) (miles de Pesos)	
		Sembrada	Cosechada		Promedio móvil
	2015	411	411	19,906.28	
	2016	362	362	15,408.50	
	2017	673	673	35,230.48	
AÑO	2018	722	722	43,929.80	
1	2019	598	598	34,196.62	28,618.77
	2020	646	591	34,558.90	32,191.35
	2021	672	672	42,574.99	36,978.95

Nota. Después de aplicar los promedios móviles a la producción agrícola de Balancán del cultivo de sandía en el año 2019 se esperaba \$28,618.77 y la producción fue rebasada. Para el 2020 se esperaba una producción de \$32,191.35 la cual fue superada, teniendo una producción real de \$34,558.90, pese que fue el año de Pandemia Covid-19. Para el año 2021 se esperaba una producción de \$36,978.95, la cual fue superada, con una producción real de \$42,574.99; Este cultivo demostró tener incremento en cada uno de los años analizados. Esto permite

reconocer que el programa de sembrando Vida para el cultivo de Sandía mostro un incremento en su producción desde el año 2019 al 2021.

Tabla 4. Producción de Sorgo por hectárea en miles de pesos y cálculo del promedio móvil.

	SORGO	Superficie		Valor Producción	
		(ha)		(miles de Pesos)	
		Sembrada	Cosechada		Promedio móvil
	2015	7,000.00	5,520.00	59,232.19	
	2016	6,766.00	6,766.00	83,672.79	
	2017	6,488.00	6,488.00	68,020.15	
AÑO	2018	4,132.00	4,132.00	64,242.41	
1	2019	5,478.00	4,580.00	67,446.74	68,791.89
	2020	4,037.00	4,037.00	63,732.36	70,845.52
	2021	4,075.00	4,075.00	64,706.95	65,860.42

Nota: La única producción que no fue rebasada en dos de los años analizados fue la del sorgo. En el año 2019 la producción real quedo por debajo de la proyección en un 1.99%. Para el año 2020 se repite el comportamiento del año anterior, quedando la producción real por debajo de la proyección en un 11.16%. En 2020, se tuvo en esta zona geográfica la inundación más grande registrada en la historia en el mes de noviembre, a lo cual se le atribuye que la producción agrícola haya sufrido los embates. Sin embargo, para el año 2021 repunta la producción de sorgo, quedando por encima de la proyección en 1.78%.

Los análisis que se hicieron sirvieron para demostrar que el programa de sembrando Vida, está reactivando la actividad económica en el sector Primario. En resumen, se escogió como producción representativa la del Maíz, Papaya, Sorgo y Sandía, porque fueron las que mayor valor en la producción mostraron de los datos investigados, así como mostraron datos con periodicidad todos los años en cuestión.

CONCLUSIONES

Con esto queda comprobada la hipótesis de que el programa Sembrando Vida estaba siendo eficiente en el Campo Agrícola de Balancán Tabasco. Después de realizar el análisis a la producción agrícola representativa de Balancán en los ciclos cíclicos perennes, de cultivos de temporal y sistema de riego; se obtienen los siguientes resultados: Del cultivo de maíz para el 2021 se esperaba una producción de \$149,821,800, la cual fue superada por \$53,263,260. De la papaya se esperaba \$40,945,600, la que igual fue resaltada por

\$23,558,500. De la sandía se esperaba una producción de \$36,978.95, que también fue despuntada por \$5,596,040; de las muestras representativa escogidas; cabe hacer mención que la única producción que sobresalió fue la del sorgo, al contrario, quedo la producción debajo del promedio móvil por \$1,153,470. Con esto queda comprobada la hipótesis de que el programa Sembrando Vida está siendo eficiente en el Campo Agrícola de Balancán Tabasco.

Como integrantes de un cuerpo académico de investigación se propone a los Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC's) que se instituyan programas de capacitación para tecnificar los procesos productivos agrícolas.

Asimismo, dentro de la estructura de los CAC's, considerar técnicos y becarios, diseñar y contactar canales de distribución para los productos cosechados que carecen de demanda en la localidad. Haciendo Red de colaboración entre los CAC's, la Universidad Tecnológica del Usumacinta y autoridades municipales, estatales y federales para concretarle mercados a las unidades productivas.

Después de haber terminado esta etapa del estudio, se propone continuarlo al terminar la gestión de la administración actual del gobierno federal, para medir la eficiencia de las decisiones y estrategias establecidas por el programa social sembrando vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gobierno de México, (2022). Secretaria de Bienestar. Acciones y Programas. Programa Sembrando Vida: https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida
- Gobierno de México -SIAP, (2022). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/
- Gobierno de México, (2019). La autosuficiencia alimentaria es una estrategia clave en la nueva política agrícola del país. Autosuficiencia Alimentaria: https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/a-que-nos-referimos-con-autosuficiencia-alimentaria-235470?idiom=es
- Levin, R. y Rubin, D., (2004). Estadística para administración y economía. México.: Prentice Hall.
- Méndez, G. (2018). Gerencia de manufactura Función de planeación. Bogota: Distrital Francisco José de Caldas.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P., (2014). Metodologia de la Investigación. Mexico: MCGRAW-HILL.

Capítulo IX

ANÁLISIS PROXIMAL DE GALLETAS ELABORADAS CON HARINA DE CASTAÑA, HARINA DE MAÍZ Y POLVO DE CASCARILLA DE CACAO

Juan Carlos Aguilar Arpaiz
https://orcid.org/0000-0002-8779-2439,
juan.aa@regionsierra.tecnm.mx

Jesús Guadalupe Ovando Silván
https://orcid.org/0009-0006-1699-4785
jesus11ovando@gmail.com
Fanny Adabel González Alejo
https://orcid.org/0000-0003-2815-7969
adabel.0392@gmail.com

RESUMEN

Las galletas son alimentos horneados, que se consumen por todos los grupos de edad y regularmente se consideran chatarra, debido a los ingredientes con los que se preparan. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue elaborar una galleta con harinas de castaña (HC) y maíz (HM) combinadas con polvo de cascarilla de cacao tostado (PCT) de forma artesanal. Por ello, se elaboraron 6 tratamientos con concentraciones de HC (50-100%) completadas con HM, que se combinaron con 30 % de PCT, horneadas 30 minutos a 180 °C. En el análisis proximal, se determinó por triplicado el contenido de humedad, grasa, cenizas, fibra y proteína. Y se obtuvieron valores de humedad 15.983 \pm 0.134 %, grasa 22.056 \pm 0.171 %, cenizas 2.721 \pm 0.081 %, fibra 5.20 \pm 0.82 % y proteínas 8.184 \pm 0.138 %. Todas las combinaciones presentan diferencias muy pequeñas, se destaca que la adición de cascarilla incrementó la cantidad de fibra presente en las galletas, debido a que la harina de castaña es baja en esta, sin embargo, las cantidades de proteínas presentes en el alimento son altas y los tratamientos 1, 2, 4, 5 y 6 cumplen con la NMX-F-0006-1983 para el tipo I de galletas finas. En conclusión, este tipo de galletas pueden ser una alternativa nutritiva para consumidores de todas las edades y con enfermedades celiacas.

Palabras clave: Harinas de castaña y maíz, polvo de cascarilla de cacao tostado, análisis proximal.

Introducción

En el estado de Tabasco, uno de los frutos de mayor consumo proveniente de la comida prehispánica es la castaña. Nuñez, et al., (2011) mencionan que la especie *Artocarpus altilis* con semillas, comúnmente denominadas como breadnut, pana de pepitas, topán, frutopan o castañas, están considerados por la mayoría de los botánicos de la misma forma que los frutos que no contienen semillas conocidas como breadfruit, panepén o ñamepalo. En la actualidad, los árboles que producen semillas se clasifican como *Artocarpus camansi* Blanco.

En ese sentido, Rojas, y Torres, (2013) identifican a la castaña cultiva en Tabasco como *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg o con el nombre común fruta de pan o árbol de pan, donde las semillas se caracterizan por su forma angulosa, de aproximadamente 4 centimetros de diametro y de color café oscuro. Las semillas de castaña y el fruto son comestibles y regularmente se consumen cocidas con sal. Las castañas cocidas muestran una textura suave y firme, de sabor ligeramente acido o amargo, y son semillas viables para el desarrollo de alimentos como las harinas.

Benítez, (2011), reportó 20.0 % de proteína de harina obtenida de la semilla del arbol de pan (*Artocarpus camansi*) y una cantidad calorías de 435 kcal por cada 100 gramos de alimento (p. 9), por su parte Taricuarima, (2021) encontró 4.5 % de proteínas para la semilla (p. 6). Además, Durán, y Martinez, (2018) escribió que la composición de proteínas de la semilla es de 5.25-13.3 % y para la pulpa 1.3-2.24 %, donde la semilla esta compuesta por 80 % de nuez comestible y el 20 % de cáscara leñosa y cutícula, teniendo un peso por semilla de 8.5 gramos (pp. 5-6).

Asimismo, Lopez, y Gómez, (2017) establecen que la cantidad de proteínas fue de 3.92 % de la semillas, 8.08 % de la harina y de las galletas de harina de trigo combinadas con harina de pan de árbol de 80/20 y 70/30 fue de proteínas 10.19 % y 10.02 %. Basurto, (2015) encontró

en investigaciones realizadas por la Universidad Central de Venezuela que proteínas de las semillas en localidad de Cata, Ocumare y Cumboto fue de 7.26 %, 7.35 % y 7.58 %, respectivamente.

Gómez, (2022), en su trabajo de tesis de licenciatura titulado utilizacion de la harina de castaña (*Artocarpus camansi*) para la elaboracion de productos alimenticios: alimento tradicional, obtuvo de proteínas para la harina de castaña cruda 6.0033 % y para la harina de castaña cocida 5.5367 %, y de los productos de mantecadas de harina de castaña cruda 8.0600 % y de la mantecadas de harina de castaña cocida 12. 0500 %, en cambio para el panque de harina de castaña cruda 12. 2033 % y del paque de harina de castaña cocida 11.8500 % y en la harina de maíz encontró un reporte de 8.3 % de proteínas. En trabajo anteriores Rosales (2021) encontró en los analisis de proteínas para la castaña fresca 2.23 %, en la harina de castaña 6.55 %, y la harina de maíz 7.8 %.

Para el caso de la cascarilla de cacao, el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), 2023, encontró que la cascarilla de grano de cacao podría ser utilizada en el desarrollo de alimentos funcionales, ya que tiene potenciales propiedades antihipertensivas, antidiabetogénicas y antioxidantes, este es un subproducto derivado del procesamiento de la poscosecha del grano de cacao, porque existen dos tipos: el convencional, el cual se caracteriza por una fermentación artesanal del grano del cacao, y el beneficiado, en el cual el grano solo es lavado y secado al sol. La cascarilla constituye aproximadamente el 12 % del peso del grano de cacao.

El trabajo realizado por Sangronis, (2014), reportó para la composición proximal de las muestras de cascarilla de cacao del estado de Miranda, Venezuela, para la humedad fue de 4.45 ± 0.46 , la proteína 19.69 ± 0.53 , la grasa 1.38 ± 0.55 , la ceniza 8.09 ± 0.04 y carbohidratos 70.85 ± 0.03 (p.127).

Pérez et al. (2018) en los análisis obtuvo el contenido de macronutrientes y capacidad antioxidante, en base seca, de la cascarilla de cacao de humedad 5.7 ± 0.3 , proteína 19.2 ± 0.3

0.4, grasa 4.8 ± 0.2 , cenizas 7.8 ± 0.2 , hidratos de carbonos totales 68.1 ± 0.1 , fibra dietética total 52.2 ± 0.4 y capacidad antioxidante 14.8 ± 0.6 , y para la composición nutricional (g/100 g base seca) y capacidad antioxidante de las galletas dulces conteniendo cascarilla de cacao con un 30 % fue de humedad 4.6 ± 0.1 , proteína 9.2 ± 0.3 , grasa 16.3 ± 0.8 , cenizas 2.4 ± 0.1 , hidratos de carbonos totales 71.9 ± 0.3 , fibra dietética total 8.8 ± 0.3 y capacidad antioxidante 8.4 ± 0.1 (p.65).

Chavez, et al., (2020), publicó que "las galletas son alimentos preferidos entre todos los grupos de edad, por su sabor agradable, por ser rápido de adquirir, consumir, y por qué se adapta a las nuevas tendencias de consumo", estos productos pueden ser combinadas, finas, extrafinas, rellenas, comerciales.

En la elaboración de galletas a base de harina de maíz ($Zea\ mays$) y quínoa ($Chenopodium\ quinoa$) con adición de cáscara de huevo en polvo, Navarro, (2016), reportó valores para la proteína 2.29 ± 0.17 para $80\ \%$ de harina de maiz nixtamalizada y $20\ \%$ de quínoa, y para la relación de $50\ \%$ de harina de maiz nixtamalizada y $50\ \%$ de quínoa un valor de 2.52 ± 0.25 de $30\ g$ de galletas (p.17).

La región sierra del Estado de Tabasco se caracteriza por tener una gran diversidad de frutos y plantas comestibles que podrían ser utilizados en la elaboración de alimentos funcionales, los cuales proporcionan diversos beneficios, además de que cuentan con excelentes propiedades nutritivas, por esta razón, el trabajo de investigación busca el aprovechamiento de la castaña (*Artocarpus altilis* [Parkinson] Fosberg) de los productores del mercado de Teapa, Tabasco y la cascarilla de cacao del proceso de elaboración de chocolate de la empresa local "Campo bueno", para cumplir con el objetivo de elaborar una galleta con harinas de castaña y maíz combinadas con polvo de cascarilla de cacao tostado de forma artesanal.

DESARROLLO

Materia prima. Los frutos de castaña se obtuvieron del mercado municipal Diana Córdoba de Balboa, ubicado en Teapa, Tabasco y la cascarilla de cacao se obtuvo del proceso de elaboración de chocolate de la empresa local "Campo bueno", la cual se recolectó inmediatamente después del proceso de tostado y se mantuvo empacada al vacío para evitar la descomposición y contaminación con microorganismos.

Obtención de la harina. La cascarilla de cacao se llevó a molienda en un triturador hasta un tamaño de partícula de 710 µm (tamiz malla 25) y se almacenó en refrigeración hasta su posterior procesado.

De las castañas se elaboraron dos tipos de harinas, una con castaña cruda y otra con castaña cocida, las cuales se mezclaron para determinar sus propiedades fisicoquímicas. La selección de los frutos se realizó de forma manual, para despulparlos posteriormente y extraer las semillas. El lavado de las semillas se realizó por inmersión en agua potable clorada, respetando los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Para elaborar la harina con castaña cruda las semillas lavadas se secaron por convección durante 48 horas a 60 °C en un horno marca KOCH®, con la finalidad de eliminar el contenido de agua y facilitar el desprendimiento de la cáscara. Después se homogeneizó el tamaño de partícula en un molino marca Scorpion Scientific® y se tamizó hasta alcanzar un tamaño de partícula de 250 µm (tamiz malla 60).

En el caso de la harina de castaña cocida, primero se llevaron a cocción las semillas durante 1 hora a 85 °C ± 5 °C y posterior a ello, se aplicó la misma metodología de secado y reducción de tamaño. Finalmente, la harina se almacenó en bolsas Ziploc® de polietileno.

MÉTODO

Formulación y elaboración de la galleta. Para el desarrollo de las galletas se elaboraron seis formulaciones (Figura 1).

Tabla 1. Formulación de las galletas.

	Tratamiento (HC/HM)					
Ingredientes	T1 (100/ ₀)	T2 (⁰ / ₁₀₀)	T3 (⁸⁰ / ₂₀)	T4 (⁷⁰ / ₃₀)	T5 (⁶⁰ / ₄₀)	T6 (50/50)
Harina de castaña (%)	100	0	80	70	60	50
Harina de maíz (%)	0	100	20	30	40	50
Cascarilla de cacao tostado (g)	30	30	30	30	30	30
Azúcar-Stevia (g)	30	30	30	30	30	30
Sal (g)	1	1	1	1	1	1
Canela (g)	1	1	1	1	1	1
Margarina (g)	50	50	50	50	50	50
Polvo para hornear (g)	1	1	1	1	1	1
Bicarbonato de sodio (g)	1	1	1	1	1	1

Nota. HC (Harina de castaña) y HM (Harina de maíz)

Para la elaboración de las galletas, se tomaron 100 g de la harina maíz combinada con harina de castaña en diferentes proporciones y el polvo de cascarilla de cacao, se mezclaron con una cantidad de agua necesaria. Después se amasó durante 5 minutos, hasta moldear la masa y alcanzar un espesor aproximado de 1 cm para su posterior cortado en círculos de aproximadamente 4 cm de diámetro. Finalmente, las galletas se hornearán durante 30 minutos a 180 °C de acuerdo con lo establecido en el diseño experimental.

Caracterización fisicoquímica. Las características fisicoquímicas de las harinas de maíz combinadas con harina de castaña y las galletas se realizaron de manera triplicada con base en la metodología establecida por las Normas Oficiales Mexicanas:

- La determinación de la humedad se realizó por el método de la norma NOM-116-SSA1-1994 y la norma NMX-F-428-1982 por el método rápido de la termobalanza.
- La determinación de cenizas se realizó de acuerdo con la norma PROY-NMX-F-607-NORMEX-2012.
- La determinación del porcentaje proteína se realizó por el método Kjeldahl, utilizando el método descrito por la norma NOM-F-68-S-1980.
- La determinación de la grasa se realizó mediante el método Soxhlet de acuerdo con lo descrito por la norma NMX-F-615-NORMEX-2004.
- El contenido de fibra cruda se determinó a partir de muestra que fue desengrasada mediante la norma NOM-F-90-S-1978.
- La determinación de pH se determinó por la norma NMX-FF-118-SCFI-2014.

RESULTADOS

El promedio de las tres muestras de los análisis fisicoquímicos realizados a la harina de maíz combinada con harina de castañas y la cascarilla de cacao (Tabla 2).

Tabla 2. Promedio de los análisis fisicoquímicos de la harina combinada con castaña y la cascarilla de cacao.

		% Humedad	% Grasa	% Cenizas	% Proteínas
Harina combinada castaña	de	5.284±0.317	11.408±0.348	2.959±0.034	13.708±0.110
Cascarilla cacao	de	5.425±0.069	33.316±0.193	6.142±0.228	19.571±0.220

El promedio de las tres muestras de los análisis fisicoquímicos realizados a las seis formulaciones de las galletas (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio de los análisis fisicoquímicos de las galletas.

Tratamiento (HC/HM)	% Fibra	% Humedad	% Humedad*	% Grasa	% Cenizas	% Proteínas
T1 (100/0)	5.235 ± 0.138	16.347±0.108	17.020±1.187	21.441±0.214	2.897±0.083	9.333±0.220
T2 (80/20)	4.222 ± 0.082	19.753±0.131	17.890±0.240	23.576±0.301	2.405±0.063	6.096±0.177
$T3 (^{70}/_{30})$	4.568±0.061	18.246±0.130	11.857±0.220	21.239 ±0.113	2.794±0.082	9.042±0.141
T4 ($^{60}/_{40}$)	4.847±0.086	12.157±0.101	15.377±0.140	23.383±0.187	2.749±0.063	8.313±0.131
T5 (50/50)	6.243±0.087	15.587±0.148	13.947±0.112	22.920±0.055	2.843±0.101	8.298±0.025
$T6 (^{0}/_{100})$	6.115±0.098	13.811±0.185	19.887±0.159	19.775±0.157	2.638±0.095	8.021±0.134
Promedio	5.205±0.092	15.983±0.134	15.996±0.177	22.056±0.171	2.721±0.081	8.184±0.138

Nota. HC (Harina de castaña) y HM (Harina de maíz). * Determinación de humedad por la termobalanza.

Fibra. El promedio de las galletas fue de 5.205±0.092, siendo más bajo de lo que encontró Pérez, et al., (2018) con un valor de 8.8±0.3 % para galletas dulces conteniendo cascarilla de cacao donde se incorporó un 30 %.

Humedad. De la cascarilla de cacao se obtuvo 5.425±0.069 % casi a lo que reportó Pérez (2018) de 5.7±0.3 %, sin embargo, para las galletas dulces adición con un 30 % de cascarilla de cacao el promedio fue de 4.6±0.1 %, siendo más alto lo que se encontró de 15.983±0.134 % para las galletas adicionadas con harina de maíz, harina de castaña y polvo de cascarilla de cacao. Además, con el método de termobalanza se comprobó que no existen variaciones significativas entre ambos métodos, ya que tanto la humedad de las repeticiones en cada tratamiento es similar.

Grasa. La cascarilla de cacao en los análisis representa el 33.316 \pm 0.193 %, un valor alto en comparación 4.8 ± 0.2 que obtuvo Pérez, et al., (2018). En la galleta, él encontró 16.3 ± 0.8 % para el 30 % de harina de castaña y 70 % harina de trigo, siendo aún bajo al tratamiento 6 que dio como resultados 19.775 \pm 0.157 %, este fue de la combinación de 50 % de harina de castaña y la harina de maíz.

Por lo tanto, hay valores superiores al 20 %, debido a que en la formulación del producto se utilizó cascarilla de cacao y harina de castaña que, de acuerdo con la literatura, presentan un alto contenido de grasa. De igual forma, se aprecia que en este caso no existen diferencias significativas entre cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, lo cual puede justificarse en que la cantidad de cascarilla de cacao utilizada en cada tratamiento permaneció constante y las variaciones son producto de la cantidad de harina de castaña utilizada en cada formulación.

Ceniza. El 6.142 ± 0.228 % de la cascarilla de cacao, en comparación con Pérez, et al., (2018) que publicó 7.8 ± 0.2 % existe aproximadamente un 2 % de diferencias, pero en la galleta hay valores parecidos en 2.4 ± 0.1 y 2.405 ± 0.063 el tratamiento 2 para el 100 % de harina de maíz y el 30 % de cascarilla de cacao. En este caso, no existen diferencias significativas entre los tratamientos ni en sus repeticiones, puesto que los porcentajes de cenizas se encuentran comprendidos en un rango del 2 % al 3 %, ya que esta presenta un alto contenido de materia inorgánica, al igual que la harina de maíz utilizada en la formulación del producto.

Proteínas. Tanto para Pérez, et al., (2018) que fue un valor de 19.2 ± 0.4 % de proteínas, también se encontró 19.571 ± 0.220 % muy cercanos para la cascarilla de cacao de "Campo bueno" de Teapa, Tabasco. En las galletas dulces conteniendo cascarilla de cacao 9.2 ± 0.3 % es muy cercano a el valor que se reportó de 9.333 ± 0.220 % para el tratamiento 1 de harina de castaña al 100 % y para el tratamiento 3 de 9.042 ± 0.141 % elaborado con 80 % de harina de castaña, 20 % de harina de maíz y 30 % de cascarilla de cacao. De acuerdo a la clasificación de Secretaria de Comercio y Fomento Industrial (1983) para la norma NMX-F-006-1983 de "Alimentos – Galletas" la calidad de las galletas de tipo I galletas finas, tipo II galletas entrefinas y el tipo III galletas comercial, los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6 se encentran dentro del valor permitido a partir de 8.0 % para los tipos I y el tipo II solo la galleta del T2 que tenga como minimo el 6.0 % de proteínas. También, Navarro, (2016) usando harina de maíz al 80 % en las galletas con quínoa y huevo en polvo obtuvo 2.29 ± 0.17 valores muy bajo porque el mínimo fue de 6.096 ± 0.177 para el tratamiento 6.

pH. El pH para los tratamientos T1 (100/0), T2 (0/100), T3 (80/20), T4 (70/30), T5 (60/40), T6 (50/50) fue de 7.0±0.1, 7.7±0.1, 7.5±0.0, 7.3±0.1, 7.5±0.1, 7.5±0.0, respectivamente, obteniendo así un promedio de 7.4±0.0 para todas las galletas. Se observó que en cada tratamiento y sus repeticiones los valores de pH mantienen una relación cercana, puesto que todos se encuentran en un rango de acidez de entre 7 y 7.8. Estos resultados pueden considerarse aceptables, ya que no interfieren con las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas del producto. En relación a la norma NMX-F-006-1983 de "Alimentos – Galletas" el pH están dentro el rango de 6.0 a 8.0 para la clasificación de los tres tipos.

CONCLUSIONES

Todas las combinaciones presentan diferencias muy pequeñas, se destaca que la adición de cascarilla incremento la cantidad de fibra presente en las galletas, debido a que la harina de castaña es baja en esta, sin embargo, las cantidades de proteínas presentes en el alimento son altas y todos los tratamientos cumplen con la NMX-F-0006-1983

Este tipo de galletas pueden ser una alternativa nutritiva para consumidores de todas las edades y con enfermedades celiacas. La combinación de estos ingredientes es una nueva opción de aprovechar las materias primas en las galletas por los productores y consumidores locales.

PROPUESTAS

Elaborar las galletas con castaña cruda y castaña cocida por separado y combinadas con la harina de maíz y el polvo de la cascarilla de cacao para determinar sus propiedades a través de los análisis proximales.

Realizar el análisis de carbohidratos para obtener la tabla nutrimental de acuerdo a la norma NOM-051--SCFI/SSA1-2010 que busca establecer la información comercial y sanitaria que debe contener el etiquetado de bebidas no alcohólicas y alimentos pre-envasados destinado

al consumidor final, de fabricación nacional o extranjera, comercializado en territorio mexicano.

Continuar con los análisis microbiológicos de las galletas para mesofílicas aerobias, hongos y coliformes para cumplir con la norma NMX-F-006-1983 de "Alimentos – Galletas".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basurto, D. D. (2015). utilización de harina de fruta de pan" artocarpus altilis" en la elaboración de galletas y las características sensoriales del producto (Doctoral dissertation). https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/1710
- Benítez, F. J. (2011). Desarrollo del proceso de elaboración de harina de las semillas del árbol de pan (Artocarpus camansí) y determinación de una mezcla nutritiva con harina de soya (Glycine max L.) para uso humano (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2011). https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2745
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (22 de noviembre de 2023). Las propiedades de la cascarilla de grano de cacao. https://www.ciad.mx/las-propiedades-de-la-cascarilla-de-grano-de-cacao/
- Chavez, A. Y., Silva, R. J., y Pampa, N. B. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de galletas enriquecidas con harina de castaña (Bertholletia excelsa). Peruvian Agricultural Research, 2(1). https://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/PeruvianAgriculturalResearch/article/view/6
- Durán, E. C., y Martinez, J. M. C. (2018). Aprovechamiento de la fruta del árbol de pan (Artocarpus Altilis) para la obtención de un derivado alimenticio (harina). Investigación e innovación en ingenierías, 6(2), 30-46. https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/3110
- Gómez, M. D. (2022). Utilizacion de la harina de castaña (Artocarpus canani) para la elaboracion de productos alimenticios: Alimento tradicional. INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LA REGIÓN SIERRA, Ingeniería Bioquímica, Taepa.
- Lopez, C., y Gómez, J. (2017). Obtención de harina a partir del fruto de pan de árbol (artocarpus altilis) para elaboración de galleta enriquecida con sustitución parcial de harina de trigo (Doctoral dissertation, Tesis de pregrado). Chachapoyas: universidad nacional toribio rodríguez de mendoza de amazonas. http://repositorio. untrm. edu. pe/bitstream/handle/UNTRM/1169/Tesis% 20Lo pez-Gomez. pdf).
- Navarro, Y. C. (2016). Desarrollo de galletas a base de harina de maíz (Zea mays) y quínoa (Chenopodium quinoa) con adición de cáscara de huevo en polvo (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2016.).

- Nuñez, J., Ortiz de Bertorelli, L., Graziani de Fariñas, L., Ramírez, R., y Trujillo, A. (2011). Caracterización del fruto y semilla de frutopan (Artocarpus camansi blanco). Bioagro, 23(1), 51-56. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612011000100007&script=sci_arttext
- Pérez, D., Rodriguez, J. L., Calle, J., de Villavicencio, M. N., Diaz-Ortega, L., y Herrera-Llanes, L. (2018). Utilizacion de la cascarilla de cacao como fuente de fibra dietética y antioxidantes en la elaboración de galletas dulces/Use of cocoa bean shell as a source of dietetic fiber and antioxidants in the production of sweet cookies. Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 28(3), 62-68.
- Rojas, F., y Torres, G. (2013). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Castaña (Artocarpus altilis (Parkinson) Fosberg). Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 10(24), ág-55.
- Rosales, D. (2021). Caracterización bromatologica de la harina de castaña (Artocarpus camansi) para elaboración de alimentos funcionales. Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra, Ingeniería Bioquímica, Teapa, Tabasco.
- Sangronis, E., Soto, M. J., Valero, Y., y Buscema, I. (2014). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. Archivos latinoamericanos de nutrición, 64(2), 123-130.
- NMX-F-006-1983 "ALIMENTOS GALLETAS". https://studylib.es/doc/5938240/nmx-f-006-1983.-alimentos.-galletas.-food
- Taricuarima, G. S. (2021). Determinación de las características fisicoquímicas y sensoriales de la conserva de pan de árbol (Artocarpus Altilis) con dos diferentes líquidos de cobertura en Pucallpa. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_INGENIERIA_">http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4978/B69_UNU_ING

Capítulo X

APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL SECTOR AGROALIMENTARIO DE TABASCO

Mireya Martínez Rodríguez

https://orcid.org/0000-0003-4894-0969 mrmireya25@hotmail.com

Citlali Guadalupe Hernández Hernández

https://orcid.org/0009-0002-8856-4216 192s1013@alumno.ujat.mx

Candelaria Pérez Sánchez

https://orcid.org/0004-0002-0324-7815 192S1072@alumno.ujat.mx

Mary Carmen Rodríguez Suárez

https://orcid.org/0000-0001-8736-9465

mary.rodriguez@ujat.mx

Rosario del Carmen Suárez Jiménez

https://orcid.org/0000-0003-4211-042X

rosario.suarez@ujat.mx

RESUMEN

La biotecnología es una rama de la ciencia que utiliza organismos vivos o sus derivados para crear productos o procesos nuevos o mejorados. Esta ciencia aplicada a la alimentación y salud humana tiene como objetivo mejorar la calidad, la seguridad y la disponibilidad de los alimentos, así como promover la salud y el bienestar humano. El sector agroalimentario de Tabasco está compuesto por la producción agrícola, pecuaria y pesquera, de las cuales la producción de los distintos sectores según el SIAP a Nivel Estatal en el 2022 se produjo: Agrícola con una cifra de 3, 734,344 t, mientras que el sector pecuario produjo 221,666 t y el pesquero 28,496 t. Es importante tomar en cuenta la salud en los cultivos, debido a que estos son la principal fuente de alimentación y economía del estado. Por lo que, hay que tener prevención ante las enfermedades y plagas de los cultivos producido por los diferentes tipos de microorganismos, ya que este puede causar un desabasto para su comercialización

internacional, nacional y local. Debido a que las enfermedades reducen la cosecha, disminuye la calidad del producto, y limita la disponibilidad de esta misma. Como consecuencia de la ciencia y a la tecnología, en la actualidad han surgido técnicas para poder contrarrestar las pérdidas agroalimentarias. Con el uso de la biotecnología se ha obtenido nuevas herramientas moleculares para seguir implementando mejoras en los productos del sector agroalimentario, mismas que son utilizadas para mejorar la calidad de los alimentos, aumentar la productividad de leche, carne, huevo, entre otros productos, y hacer que estos, sean más seguros para el consumo humano.

Palabras clave: Biotecnología, herramientas moleculares, mejoramiento agroalimentario.

Introducción

El estado de Tabasco cuenta con una serie de oportunidades para que, las regiones de Centro, Chontalpa, Ríos y Sierra alcancen un potencial y competitividad en los sectores productivos. Para lo anterior, se necesitan hacer estudios que establezcan mejoras tangibles en la productividad sostenible de los sectores vitales para el crecimiento de la economía de Tabasco como son: la agricultura, la ganadería, pesca e industria. La biotecnología como herramienta es un campo interdisciplinario que combina la biología, la química, la genética, la microbiología y la ingeniería para utilizar organismos vivos o sus sistemas biológicos para desarrollar o crear productos, tecnologías y aplicaciones que beneficien a la humanidad. Esta área de estudio tiene una amplia gama de utilización, que incluyen la mejora de cultivos agrícolas, la producción de medicamentos y vacunas, la producción de alimentos modificados genéticamente, la biodegradación, entre otras aplicaciones (Silva et al., 2012).

A su vez, la biotecnología se divide en dos categorías: tradicional y la moderna (Baroni, 2018). La biotecnología tradicional se refiere a la utilización de organismos vivos para la producción de alimentos y bebidas, como el pan, el queso y la cerveza. La biotecnología moderna, por otro lado, se enfoca en la manipulación genética de organismos vivos para crear productos y procesos útiles para la humanidad, como la producción de insulina y la creación

de plantas resistentes a las plagas (*Definición de biotecnología*; tradicional, moderna, ejemplos y categorías [roja, verde, gris. . .], s. f.). Por lo tanto, tiene una amplia variedad de aplicaciones, desde la producción de alimentos y medicamentos hasta la creación de biocombustibles y la eliminación de contaminantes del medio ambiente a partir del uso de bacterias genéticamente modificadas. Además, la biotecnología también se utiliza en la investigación científica para estudiar la biología de los organismos vivos y para desarrollar nuevas terapias médicas o nuevos productos que beneficien el sector agropecuario.

DESARROLLO

La biotecnología es un promisorio campo de desarrollo científico y tecnológico para un país, dentro del cual aún se puede realizar aportes a nivel mundial. El estado de Tabasco se centra en una gran diversidad de actividades con la finalidad de incrementar los ingresos o recursos económicos para la población, sin embargo, cabe resaltar que las actividades con mayor índice de producción monetario son la agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y silvicultura; destacando de esta forma que el estado de Tabasco tiene un enorme potencial para el desarrollo agrícola y pecuario utilizando esto a favor del pueblo convirtiéndolo en el principal generador de ingresos.

El sector agropecuario se ha convertido fundamental para la economía de muchos países, debido a que permite la obtención de productos alimenticios y productos esenciales permitiendo satisfacer las necesidades humanas sin comprometer las generaciones futuras, esto ha llevado incluso a la exportación de productos alimenticios a otras zonas del estado o fuera del país. Aunado a ello, en las últimas décadas, este sector ha experimentado una serie de decadencias que han afectado su productividad, calidad, rentabilidad y sostenibilidad. Algunos de los factores que han contribuido a la decadencia del sector agropecuario ha sido: El cambio climático, la urbanización, los costos elevados de los productos agrícolas, las enfermedades y plagas en los cultivos. Estos factores han perjudicado ampliamente la producción de los cultivos, lo cual afecta significativamente la economía en el estado de Tabasco, además de, afectar otros sectores entre ellos el área de la salud y el área ambiental, por tanto, se ha buscado la manera de contrarrestar estos problemas estableciendo ideas innovadoras que favorezcan a los cultivos y al ser humano, sin generar afectaciones en el

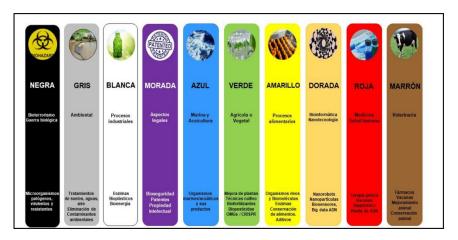
medio ambiente. Por lo tanto, se requiere difundir que, la aplicación de la biotecnología contribuye el desarrollo sustentable en el sector agroalimentario.

En este sentido, el término de la palabra Biotecnología según la revista International Journal of Horticultural Science, es un término creado por el ingeniero agrónomo húngaro Karl Ereky en el año 1991. Por tanto, podemos decir que Erely tiene asociado el título de "padre de la Biotecnología" (Fari y Kralovanszky, 2006). Sin embargo, considerando todos los avances previos y posteriores en campos como la genética o la bioquímica desde las leyes de Mendel, pasando por el descubrimiento de la estructura del ADN, hasta el desarrollo de la PCR, todos ellos han contribuido a la consolidación de la Biotecnología como ciencia (De Polanco, 2006).

Colores de la biotecnología

La biotecnología es un campo amplio que se divide en áreas de investigación las cuales tienen distintivos para diferenciar el uso y su aplicación. A menudo, se utilizan colores para diferenciar las principales áreas en las que se ve centrada su investigación (Figura 1), como por ejemplo: la biotecnología verde o agrícola es aquella que tiene que ver con el sector agropecuario de la cadena productiva y que busca incidir en la alimentación humana, a través de la obtención de especies más productivas, más resistentes o con nuevas propiedades adicionales, por otra parte, la biotecnología amarilla o nutricional se dedica a la industria alimentaria, es decir; a la obtención de alimentos más sanos, resistentes, nutritivos y/o sabrosos, mediante la incorporación de elementos de origen biológico (Scientia, 2019).

Fig. 1 Colores del uso de la biotecnología.



Nota. Descripción de los colores y actividades que se analizan en la biotecnología. https://febiotec.es/que-es-la-biotecnología.

Según Morris, (1989) La biotecnología es el conjunto de técnicas que utilizan organismos vivientes o sustancias provenientes de éstos para elaborar o modificar un producto, mejorar plantas o animales, o desarrollar microorganismos para usos específicos. Actualmente la biotecnología ha proporcionado beneficios (figura 2), permitiendo ser aplicada a diversas áreas como la seguridad agroalimentaria, la salud humana y el medio ambiente, algunas de las herramientas que son aplicadas hoy en días son las herramientas moleculares, las cuales han demostrado una gran viabilidad en el mejoramiento vegetal y animal.

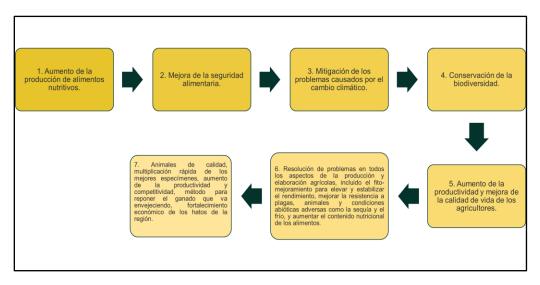


Figura 2. Algunos beneficios que se obtienen con el uso de la biotecnología.

Nota. Descripción de un diagrama de flujos de los beneficios al hacer uso de la biotecnología, de acuerdo con las actividades de sus colores. https://febiotec.es/que-es-la-biotecnología.

MÉTODO

Se realizó una revisión bibliográfica del sector agropecuario de Tabasco, para conocer qué tipos de cultivo se llevan a cabo en la agricultura, ganadería y pesca, que sustentan la alimentación del ser humano.

RESULTADOS

Sector agropecuario, agrícola y acuícola de Tabasco

El sector agroalimentario es uno de los más importantes a nivel mundial, pero sobre todo en el estado de Tabasco, además de tener un impacto sumamente grande en el nivel económico de este mismo, debido a que abarca actividades como lo son la producción, procesamiento, distribución y venta de alimentos, productos y servicios. En la industria agroalimentaria la producción está conformada por los sectores: agrícola, pecuaria y pesquero. Según los datos SIAP en el año 2021, la producción agropecuaria en Tabasco (Tabla 1.) fue de 4, 242,047 t, teniendo una aportación y distribuida entre los principales cultivos.

Tabla 1 Sector agroalimentario de Tabasco.

Sector	Volumen	Aportación	Ranking	Valor en
	en t		Nacional	MDP
	4,000,650	1.1%	23°	7,856
	220,339	1.5%	21°	7,733
	21,058	1.6%	12°	714

Nota. Datos obtenidos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/siap.

Este sector complejo y dinámico, está sujeto a una serie de factores entre ellos se destaca las plagas y enfermedades en los cultivos agrícolas, agropecuarios y acuícola, que causan pérdidas significativas en la producción agroalimentaria, siendo estas económicas, sociales y ambientales. Es por ello, es importante hacer uso de la Biotecnología para prevenir y mejorar los cultivos como: Diagnóstico de patologías, Programas de Mejoramiento genético, caracterización molecular de virus.

Figura 3. Principales cultivos agrícolas en Tabasco.



Nota. Los principales cultivos agrícolas en Tabasco, los cuales están expuestos a diferentes enfermedades y plagas. Secretaría de Desarrollo Forestal y Pesca. https://tabasco.gob.mx/sedafop

Fig. 3a Principales cultivos pecuarios en Tabasco



Nota. Los principales cultivos pecuarios en Tabasco, los cuales están expuestos a diferentes enfermedades y plagas. Secretaría de Desarrollo Forestal y Pesca. https://tabasco.gob.mx/sedafop

Fig. 3b Principales especies pesqueras y acuícola en Tabasco



Nota. Las principales especies pesqueras y acuícola en Tabasco, los cuales están expuestos a diferentes enfermedades y plagas. Secretaría de Desarrollo Forestal y Pesca. https://tabasco.gob.mx/sedafop

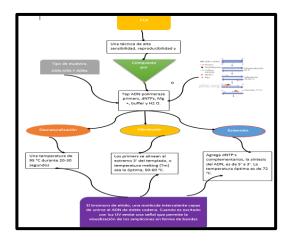
Herramientas moleculares para la mejora animal y vegetal

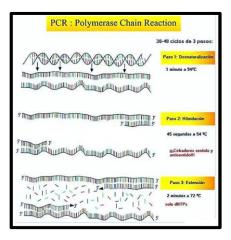
Las herramientas moleculares son técnicas y tecnologías que utilizan la biología molecular para mejorar las características de las plantas y los animales. Estas herramientas se utilizan para mejorar la productividad, la calidad, la resistencia a las enfermedades y las plagas, y la adaptación a los cambios ambientales (Figura 4).

La implementación de nuevas técnicas moleculares de diagnóstico basadas en la Reacción en Cadena de la Polimerasa [PCR], como la Amplificación Isotérmica de Ácidos Nucleicos [NASBA], la Reacción en Cadena de la Ligasa [LCR], la Amplificación por Desplazamiento de Hebra [SDA] y a Amplificación de la Replicasa *Qb* (MONIS et al., 2005), permiten detectar y diferenciar los microorganismos hasta el nivel de especie, genotipo y subtipo en base a su

material genético [DNA o RNA]; siendo este tipo de herramientas cada vez más usadas en estudios diagnósticos y epidemiológicos mejorando significativamente la compresión y transmisión de las infecciones en animales y vegetales (XIAO, 2010).

Figura 4. Técnica de PRC.





Nota. Se describe la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), se utiliza en todos los protocolos de biología molecular, es una herramienta que sirve para diferentes áreas como la biología, medicina, agronomía, veterinaria, acuicultura, Luque y Herráez, 2001; Polido et al 2012; Yang et al, 2013.

CONCLUSIONES

La producción de alimentos funcionales mediante biotecnología ayuda a mejorar la salud de los consumidores prevenir enfermedades y mejorar las funciones del cuerpo humano, ha demostrado ser una herramienta eficaz para ayudar a producir alimentos de calidad, y su papel en la alimentación, seguirá creciendo en los próximos años aportando valor. En este sentido, la biotecnología contribuye a reducir el impacto ambiental de la industria alimentaria. Este enfoque mejora el procesamiento de alimento, reduce los costos y aumenta la productividad industrial, ayudando a reducir el riesgo de contaminación de los alimentos, garantizando la seguridad y previniendo la propagación de enfermedades. También, se utiliza para desarrollar métodos para detectar y eliminar contaminantes en los alimentos.

PROPUESTAS

En el estado de Tabasco, que está en constante crecimiento poblacional, se debe tener una interrelación de Gobierno con Centros de Investigaciones que se dediquen a la aplicación de la biotecnología como una herramienta clave para afrontar las diversas problemáticas que se enfrentan en el sector agropecuario en la agricultura, ganadería, pesca y acuacultura.

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

- Baroni, M. J. L. (2018). Las narrativas de la biotecnología. Argumentos de razón técnica, 21, 47-76. https://doi.org/10.12795/argumentos/2017.i21.03
- De Polanco, M. M. E. (2006). Cincuenta y tres años del descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN: Homenaje a James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins y Rosalind Franklin. Tumbaga, 1(1), 21-42.
- Fari, M., y Kralovanszky, U. P. (2006). The founding father of Biotechnology: Karoly (Karl) Ereky. International Journal of Horticultural Science. 12(1): 9-12. https://doi.org/10.31421/IJHS/12/1/615
- FEBiotec. (2021, agosto 4). ¿Qué es la Biotecnología? https://febiotec.es/que-es-la-biotecnologia/
- Luque, J., y Herráez, A. (2001). Texto ilustrado de biología molecular e ingeniería genética: conceptos, técnicas y aplicaciones en ciencias de la salud. Editorial Elsevier. Madrid
- Morris, M.S. (1989). Historia de la biotecnología. Ciencia y desarrollo. XIV (84):19-32
- Monis, P., Giglio, S., Keegan, A. y Thompson, R. (2005). Emerging technologies for the detection and genetic characterization of protozoan parasites. Trends Parasitol. 21:340-346
- Polido, P., Ferreira, F., Alberton, O., y Hülse, S. (2012). Marcadores Moleculares aplicados no melhoramento genético de bovinos. Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR 15(2): 161-169.
- Scientia. (2019, 17 febrero). Aplicaciones de la biotecnología y sus colores Método Scientia. https://metodoscientia.com/aplicaciones-de-la-biotecnologia-y-sus-colores/
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca [SEDAFOP] . Portal Tabasco. 05 de octubre de 2023. https://tabasco.gob.mx/sedafop.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s/f). Gob.mx. 23 de febrero de 2024.http://www.gob.mx/siap
- Silva, D. B. D. S., Da Silva, L. E., Crispim, B. D. A., Vaini, J. O., Barufatti, A., & De Oliveira, K. M. P. (2012). Biotecnologia aplicada a la alimentación y salud humana. Revista chilena de nutrición, 39(3), 94-98 https://doi.org/10.4067/s071775182012000300014 98.

XIAO, L. 2010. Molecular epidemiology of cryptosporidiosis: an update. Experimental parasitology 124(1): 80-9.

Capítulo XI

DESARROLLO Y EVALUACIÓN SENSORIAL DE UN QUESO CREMA UNTABLE A BASE DE LECHE DE BÚFALA (BUBALUS BUBALIS)

Franco Lucio Ruiz Santiago
https://orcid.org/0000-0002-2899-2326
flruiz.tc@uttab.edu.mx
Irma López Álvarez
https://orcid.org/0009-0006-7981-9917
irmalpalv@gmail.com
Rafael García Jiménez
https://orcid.org/0000-0002-1725-8716
rgarcia.tc@uttab.edu.mx
Josafat Alberto Hernández Becerra
https://orcid.org/0000-0001-5105-2263
jahernandez.tc@uttab.edu.mx

RESUMEN

La necesidad de aprovechar la leche de búfala para la producción de queso crema surge de consideraciones tales como el valor nutricional esta leche, que es conocida por ser más rica en nutrientes que la leche de vaca, incluyendo proteínas, vitaminas y minerales como calcio y hierro. Esto la convierte en una opción atractiva para aquellos que buscan una fuente de nutrientes más completa en su alimentación. Además, la leche de búfala tiene sabor y textura distintivos, siendo más cremosa y densa que la leche de vaca, lo que la hace ideal para la producción de queso crema. El queso crema elaborado con leche de búfala puede tener un sabor más sutil y una textura aún más suave. La materia para la elaboración de este proyecto se obtuvo de un rancho en el municipio de Huimanguillo Tabasco, dedicado a la cría de búfalos para la obtención de carne y leche para la elaboración de queso. El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en la planta piloto de la Universidad Tecnológica de Tabasco y se realizó en tres partes, la primera consistió en el análisis de la materia prima como el porcentaje de acidez, pH, porcentaje de grasa, conductividad y densidad, esto permitió

identificar los parámetros de calidad de la materia prima, la segunda parte consistió en la

elaboración del queso crema tomando como referencia bibliografía existente y revisada. La

tercera etapa en el análisis sensorial de este queso. El resultado de este proyecto es el

prototipo de queso crema, y los análisis sensoriales del producto a través de una prueba

hedónica descriptiva.

Palabras clave: Queso, crema, leche, búfala.

Introducción

La población mundial de búfalos de agua es de alrededor de 204 millones de cabezas: más

del 98 por ciento se encuentra en Asia; el 0,8 por ciento en África, particularmente en Egipto;

otro 0,9 por ciento en América del Sur, y el 0,2 por ciento en Europa. Las búfalas de río

generalmente producen entre 1 500 y 4 500 litros de leche por lactación. Tienen una vida

productiva considerablemente mayor que la del ganado vacuno, puesto que proporcionan

crías y leche hasta después de los 20 años de edad. (FAO, 2023).

Desde el 2012, la producción de carne de Búfalo se introdujo en Tabasco como una nueva

opción en el sector productivo. Cárdenas y Huimanguillo son hasta el momento, los únicos

municipios de Tabasco en los cuales la producción de carne de búfalo se ha implementado

como nueva alternativa de producción pecuaria. Se estima que existen poco más de 1900

cabezas de ganado de este tipo. En Tabasco, los productores han encontrado un buen mercado

por explotar no solamente con la carne, sino con leche y quesos de búfala que son aceptados

con mucho agrado por el consumidor local (SENASICA, 2023). El búfalo de agua (Bubalus

bubalis) contribuye con una parte importante de la producción lechera mundial y en varios

países es el principal animal productor de leche (FAO, 2023).

El queso crema es un queso de pasta blanda, fresco tajable o untable; puede contener un

exceso de grasa, comparado con un queso normal, aunque existen variantes en relación con

este aspecto (Villegas y Santos, 2012).

Este proyecto aborda la falta de opciones en el mercado para el queso fresco, que se produce principalmente a partir de leche de vaca. La creación de un mercado especializado en queso crema de leche de búfala es una oportunidad para atraer a los consumidores que buscan alternativas nutritivas que satisfagan sus necesidades dietéticas. La utilización de la leche de búfala en la producción de queso crema también aborda la limitada disponibilidad y diversidad de opciones en el mercado. La producción de queso crema se basa principalmente en leche de vaca, lo que excluye a aquellos que buscan alternativas.

Los beneficios de este proyecto es la creación de un mercado especializado y diferenciado para el queso crema elaborado con leche de búfala representa un área de oportunidad. Al ofrecer productos elaborados con esta materia prima, se puede atraer a consumidores que buscan opciones más nutritivas y adaptadas a sus necesidades dietéticas. Esto abre puertas a la innovación en distintos aspectos del queso crema y genera un interés y una demanda crecientes en un sector de mercado específico.

DESARROLLO

Obtención de la materia prima

La materia para la elaboración de este proyecto se obtuvo de un rancho en el municipio de Huimanguillo Tabasco, dedicado a la cría de búfalos para la obtención de carne y leche para la elaboración de queso. Las muestras fueron obtenidas a 4°C, conservadas y transportadas así en una nevera hasta su procesamiento.

Desarrollo del producto

El proceso de elaboración del queso crema a partir de leche de búfala se llevó a cabo en el área de leche y productos lácteos de la Universidad Tecnológica de Tabasco. Una vez analizada la materia prima se procedió a la filtración y pasteurización de la leche a una temperatura de 63°C por 30 minutos y posteriormente se fijó la temperatura a 32°C para el cuajado. En esta etapa se le agregó un cultivo láctico para contribuir a la formación de acidez en la premaduración de la leche, posteriormente se procedió al cuajado utilizando cuajo

enzimático y dejando reposar la cuajada (*dormido*) durante 16 horas a temperatura de 32°C. Una vez concluido este tiempo se procedió a cortar la cuajada utilizando liras de acero inoxidable, luego se procedió al manteado o bolseado donde la cuajada previamente cortada se colocó con toda delicadeza en una tela de pañalina y se suspendió en alto para que, por auto compresión, permita al suero drenar durante 6 horas. Una vez eliminado el exceso de suero, la cuajada filtrada se colocó a un recipiente donde se adicionó sal según la formulación deseada, y se amasó manualmente para incorporar completamente la sal para después de colocarlos en pañalina y en moldes circulares de metal para prensarlo durante 14 horas. Después del prensado se dejó orear durante 10 horas en un lugar con flujo constante de aire, finalmente, el queso se empaquetó en dos capas, utilizando vitafilm y papel aluminio para asegurar su conservación. El producto se conservó en refrigeración a 4°C para su conservación y análisis. La formulación para la elaboración del queso crema se encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1. Materias primas utilizadas en la elaboración del queso crema

Materia prima	Cantidad	Porcentaje
Sal	0.045kg	0.516%
Leche de búfala	8.3L = 8.6735kg	99.419%
Cloruro de calcio	0.0045kg	0.052%
Cultivo	0.000101	0.002%
microbiano	0.00019kg	0.00276
Cuajo enzimático	0.001kg	0.011%
Total	8.72419kg	100%

Nota: Elaboración propia, formulación para la elaboración del queso crema.

Análisis sensorial

Para llevar a cabo la prueba sensorial de este producto, se realizó una prueba hedónica de 5 puntos, la cual fue aplicada a 26 jueces no entrenados, quienes fueron los encargados de evaluar el producto tanto de manera general como de puntos específicos. La escala de puntuación de la prueba hedónica se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de puntuación de la prueba hedónica.

Me disgusta mucho	Me disgusta	Neutral	Me gusta	Me gusta mucho
1	2	3	4	5

Nota: Elaboración propia, describe escala de puntación.

El objetivo principal de esta evaluación fue determinar la aceptación del producto por parte de un grupo de consumidores, y se enfocó en cinco puntos principales: Sabor, textura, aroma, apariencia y características generales. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente para detectar posibles diferencias significativas entre los diferentes puntos de evaluación y para identificar tendencias comunes en las respuestas de los jueces.

MÉTODO

Antes de iniciar el proceso de elaboración de queso crema, se llevaron a cabo el análisis fisicoquímico de la materia prima (leche de búfala) con los procedimientos normativos mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis realizados a la materia prima y su referencia.

Métodos de prueba	Referencias normativas				
Determinación de la densidad	NOM-F-424-S-1982, productos alimenticios para uso humano -				
2000	Determinación de la densidad en leche fluida				
	NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y				
Contenido de grasa	servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados				
	lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.				
	NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y				
Acidez titulable	servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados				
	lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba				
рН	NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos"				
h	NOM-F-317-S-1978.				

Nota: Elaboración propia, describe métodos y referencias normativas de los procedimientos.

RESULTADOS

Análisis fisicoquímicos a la materia prima (leche de búfala)

El resultado de los análisis practicados a la leche de búfala se encuentra en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima (leche de búfala).

Parámetro	Valor obtenido	a Valor en bibliografía	b Valor leche de vaca
Acidez(°D)	$0.21\% \pm 0.016\%$	17.60- 20.11	16 – 19
Grasa butírica (%)	$6.33\% \pm 0.512\%$	4.3- 9.6	3.5 - 5.25
Densidad (g/ml)	1.045	1.037- 1.045	1.026 - 1.034
pН	6.8	6.66- 6.75.	6.6 - 6.8
Conductividad	3.05 mS/cm	-	-

Nota: Describe los resultados de los análisis aplicados, Patiño (2011).

De acuerdo con la información de rumiNews, R. (2020), la leche de búfala presenta un pH entre 6.66 y 6.87. Debido a que naturalmente cuenta con un pH ligeramente ácido, un pH menor que 6 indica que la leche se está acidificando. El resultado de la conductividad en la leche fue de 3.05 mS/cm, lo que indica la presencia de iones y sólidos disueltos. Una mayor conductividad puede sugerir impurezas o contaminación. Se utiliza como indicador de calidad y salud del ganado, la NOM-155-SCFI-2012, establece que la conductividad eléctrica de la leche cruda de bovino no debe exceder de 5.0 milisiemens por centímetro (mS/cm) a 20°C. Según los estudios realizados por Kumar, la leche bubalina puede tener desde un 6% hasta un 7% de grasa presente en su composición. Tomando este valor como referencia, el análisis realizado dio un resultado del 6.33% \pm 0.512% de grasa. Por otra parte, la cantidad de ácido láctico presente en la muestra fue de 0.21% \pm 0.016%, mientras que rumiNews, R. (2020) indica que cuenta con un porcentaje de ácido láctico desde el 0.157% hasta el 0.223%, coincidiendo con los resultados obtenidos en el laboratorio.

Análisis sensorial.

Los puntajes promedio obtenidos en cada uno de los aspectos evaluados en el análisis sensorial se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Puntajes promedio de los aspectos evaluados.

Criterio	Promedio	Comentarios		
Sabor	3.92	Mayoría de evaluadores puntúan con "me gusta"		
Textura	4.50	Alta valoración con "me gusta mucho"		
Aroma	4.31	Mayoritariamente positivo, "me gusta" como más común		
Amanianaia	4.46	Ningún puntaje bajo, predominación de "me gusta" y "me gusta		
Apariencia	4.40	mucho"		
General	4.54	Evaluación mayoritariamente positiva, "me gusta mucho" como		
General	4.34	más común.		

Nota: Elaboración propia, describe los promedios de aspectos evaluados.

Estos resultados demuestran una percepción generalmente favorable por parte de los jueces, ya que las puntuaciones promedio están por encima del punto 3 (neutral) de la escala. La textura y las características generales recibieron las calificaciones más altas, con puntajes promedio de 4.50 y 4.54, respectivamente, lo que indica una buena aceptación en estos aspectos. El sabor y el aroma también obtuvieron calificaciones positivas, con puntajes promedio de 3.92 y 4.31, correspondientemente, aunque existe una oportunidad de mejora en estos aspectos para aumentar aún más la satisfacción del consumidor. En cuanto a la apariencia, el producto obtuvo un puntaje promedio de 4.46, lo que también indica una evaluación positiva por parte de los jueces.

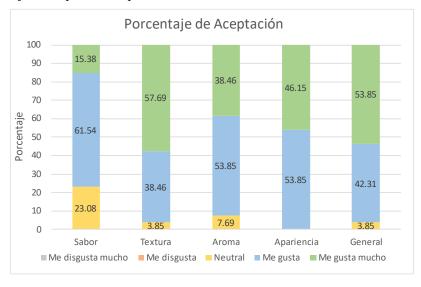


Figura. 1. Porcentaje de aceptación del producto terminado.

Nota: Elaboración propia, describe los porcentajes de aceptación del producto.

Con una media de 4.35, el producto ha recibido una valoración general positiva por parte de los evaluadores, posicionándolo entre el intervalo de "me gusta" y "me gusta mucho". Este promedio sugiere que la mayoría de los aspectos evaluados han sido bien recibidos. Los criterios de sabor, textura, aroma y apariencia han demostrado ser satisfactorios, con un puntaje destacado de 4 como el más común entre las respuestas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo proporcionaron información valiosa acerca de la composición de la leche de búfala utilizada y los parámetros de producción, así como las percepciones de los jueces sobre el. Los resultados de analisis fisicoquimicos indicaron que la leche de búfala presenta niveles de grasa y acidez aceptables, lo que es fundamental para obtener un queso de calidad. La densidad y la conductividad también estuvieron dentro de los estándares establecidos, lo que sugiere una buena calidad de la materia prima y un adecuado manejo del ganado. Durante el proceso de fermentación y acidificación, se agregaron cultivos microbianos que contribuyeron a la formación de la cuajada, lo cual es esencial para el desarrollo de las características deseadas en el queso. La adición de cuajo y

sales también fue crucial para obtener la textura y el sabor adecuados. La prueba sensorial reveló una aceptación favorable por parte de los jueces, lo que sugiere que el queso tiene un potencial comercial prometedor. Sin embargo, es importante seguir buscando mejoras y ajustes en el proceso de elaboración para perfeccionar el producto y satisfacer las preferencias del mercado.

PROPUESTAS

Se recomienda comparar sensorialmente el queso crema elaborado en este proyecto, con un queso crema de marca comercial, para identificar la diferencia y aceptacion. Asi mismo también se sugiere aplicar el proceso para elaborar prototipos de queso crema con variacion de algunas variables como el contenido de grasa, para lo cual será necesario la estandarizacion y descremado de la materia prima. Tambien, se debe variar la temperatura de cuajado y evaluar la textura final del queso como consecuencia de ésta. Otra de las propuestas es, elaborar un queso crema con adicion de un conservador y evaluar la vida de anaquel del queso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FAO (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura. Búfalo.<u>https://www.fao.org/dairy-production-products/production/dairy-animals/buffaloes/es/</u>
- Kumar, P. M. (2020). Comparative Study on Milk Fat from Buffalo, Cow, Goat, and Human for Their Fatty Acid Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity. Indian Journal of Animal Research, 54(10), 1341-1345.
- Patiño, E. M. (2011). Producción y calidad de la leche bubalina. Revista Especial, 24(5), 25-35.
- RumiNews, R. (2020, Enero 19). Rumiantes el portal de rumiNews. Obtenido de Leche de búfala: producción, composición y valores nutricionales II: https://rumiantes.com/leche-bufala-produccion-composicion-nutricionales
- SENASICA (2023). Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

 Búfalo, alternativa de producciónen Tabasco.

 https://www.gob.mx/agricultura/tabasco/articulos/bufalo-alternativa-de- produccion-en-tabasco?idiom=es
- Villegas, A., y Santos, A., (2011). Manual básico para elaborar productos lácteos. México: Editorial Trillas.

Capítulo XII

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EL CONTROL DE DATOS EN UN SISTEMA DE ACUAPONÍA

Oscar Medina Espinosa

https://orcid.org/0009-0001-1222-906X oscar.medina@utparras.edu.mx

Antonio Picasso Fuentes

https://orcid.org/0009-0001-7307-9077 picassoantonio31@gmail.com

Alejandro Rivas Rivera

https://orcid.org/0009-0009-2468-9061 alejandro-r2002@hotmail.com

Alberto Baruc Vázquez Vargas

https://orcid.org/0009-0002-8095-7509 vazquez.albertobaruc@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas de acuaponía buscan maximizar el aprovechamiento de recursos, principalmente el agua, para la producción de alimentos. En estos sistemas se crea un ecosistema artificial donde interactuan tres tipos de organismos: peces, plantas y bacterias. Esto permite un mejor uso del agua al estar produciendo alimentos en un procedimiento de recirculación. Si bien, el concepto es factible y ya hay sistemas de producción funcionales, principalmente para el apoyo de comunidades rurales y pequeños productores, persiste la falta de investigación y desarrollo para lograr una mejor adaptación de estos procedimientos en beneficio de la población. Por lo que el objetivo fue desarrollar un sistema de alerta temprana para el control de datos del sistema de acuaponía con el uso de las tecnologias de la informacion de bajo costo que permitan dar un seguimiento a su funcionamiento y prevenir

situaciones que podrían colapsar el sistema. La metodologia usada es la Scrum la cual se lleva mediante un enfoque ágil de gestión de proyectos que se centra en la colaboración, la adaptabilidad y la entrega de valor constante que permiten responder rápidamente a los cambios en los requisitos o las necesidades del cliente. Como resultado del proyecto, se ha desarrollado un sistema informático integral para el control de datos en acuaponía. Este sistema abarca la medición, captura, registro, métricas, evaluación y generación de gráficas, además de proporcionar una respuesta temprana y monitorización de datos a traves de un servidor remoto. Su objetivo es brindar acceso a datos y alertas tanto a usuarios como al administrador general, mejorando la gestión y eficiencia del sistema de acuaponía.

Palabras Clave: Acuaponía, Tecnologías de la información, Alerta temprana.

INTRODUCCIÓN

La acuaponía constituye un método de producción alimentaria que fusiona la cría de organismos acuáticos con el cultivo de plantas en entornos de agua. Este sistema presenta ventajas significativas al optimizar el uso del espacio, agua y energía, al tiempo que minimiza o elimina los residuos al aprovechar todos los componentes. Su escalabilidad permite su aplicación tanto a nivel doméstico como industrial (Agrotendencia, s. f.). Este enfoque integra las prácticas de acuicultura e hidroponía, donde los desechos metabólicos de los peces sirven como nutrientes para las plantas, y estas, a su vez, purifican el agua al eliminar sustancias tóxicas para los peces. La acuaponía se distingue por su capacidad para generar tanto hortalizas como peces en un único entorno, destacándose por su eficiencia en la utilización del agua (INTAGRI, 2017).

El objetivo principal del proyecto del sistema gestor de acuaponía es implementar una solución innovadora y sostenible que permita medir y alertar de manera anticipada las diferentes mediciones y con esto controlar el nivel de nutrientes y el pH del agua haciendo uso del sistema de alerta temprana el cual monitorea el sistema de acuaponía en tiempo real por medio de los datos obtenidos, considerando esto como respaldo de la información que posteriormente el sistema analiza, aumentando así la eficiencia y estado de los parámetros,

mejorando la calidad de los cultivos obtenidos del sistema acuapónico y la medición de datos con fines de análisis.

Además, el proyecto tiene como propósito promover la agricultura urbana con la finalidad de incentivar prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente mejorando la calidad de vida en muchas localidades del país. Asimismo, la acuaponía representa una excelente alternativa para combatir la carencia de acceso a la alimentación, pues posibilita crear economías de autoconsumo o comunales, que apoyan a grupos vulnerables.

DESARROLLO

Al mejorar la calidad de los cultivos obtenidos mediante el sistema acuapónico y el hecho de poder medir en tiempo real los datos obtenidos, se está procurando la garantía de asegurar el desarrollo de los cultivos al permitir a los usuarios monitorear y controlar el sistema gestor desde cualquier lugar a través de una interfaz fácil de usar y accesible a través de dispositivos móviles y desde cualquier navegador. Los sistemas de monitoreo remoto permiten a los agricultores supervisar y vigilar constantemente sus cultivos, así como realizar ajustes necesarios lo que posibilita que puedan analizar datos en cualquier instante, tomar decisiones informadas y optimizar sus prácticas agrícolas (Pacifici, 2021).

De acuerdo con Stewart (2021) la agricultura digital ha facilitado la gestión de campos a distancia, permitiendo un seguimiento preciso y sostenible de los cultivos al utilizar sensores remotos, drones e imágenes satelitales para recopilar datos sobre la humedad del suelo, el pH, la temperatura, la radiación UV, los caudales de riego y el manejo eficiente del ganado. Este tipo de software no sólo está orientado a la captura de información, también mediante sus funciones daría la posibilidad de generar las recomendaciones necesarias para hacer que cualquier persona pueda implementar un sistema de acuaponía. Mediante la recopilación de datos en tiempo real la agricultura de precisión permite la predicción del comportamiento de los cultivos y la toma de decisiones preventivas (INPROFIT, s. f.).

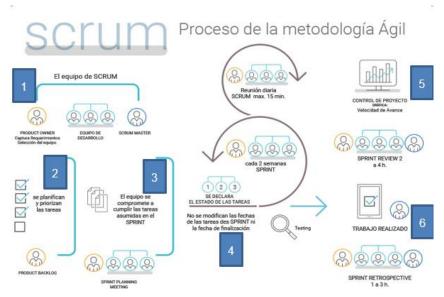
Teniendo en cuenta el seguimiento en todo momento, se podrá determinar y dar asesoría técnica sobre cómo llevar el sistema de acuaponía permitiendo que la comunidad en donde sea implementada la aplicación pueda darse cuenta de que tener el control de un sistema de acuaponía es relativamente fácil.

La automatización y monitoreo permite la sistematización de procesos y el monitoreo inmediato de variables ambientales como el suelo y el clima, para tomar acciones informadas sobre el riego, la fertilización y el control de plagas (Rodríguez, s. f.).

MÉTODO

Para esta investigación se usó la metodología Scrum (figura 1) la cual es considerada como uno de los marcos de trabajo dedicado al desarrollo ágil de software que es ampliamente usado por industrias. El proceso de este implica la aplicación de manera regular de un conjunto de prácticas para trabajar sobre algún desarrollo. Scrum es una metodología para la gestión de proyectos complejos en la que se busca obtener resultados rápidos en entornos cambiantes. Se basa en el marco de trabajo ágil a través del cual las personas pueden abordar problemas complejos adaptativos a la vez que se entregan productos de forma eficiente y creativa con el máximo valor (Martins, 2023).

Figura 1. Proceso de la metodología Scrum.



Nota: Grupo Garatu, Development. SCRUM [Ilustración]

- 1. Principalmente se define el equipo de scrum que será el encargado de llevar el proyecto, en este es necesario que se incluya al dueño de proyecto.
- 2. Se genera el backlog de producto el cual es un documento o una lista de actividades y requerimientos establecidos por el dueño de proyecto el cual define cada parte de estos; a los elementos del backlog se les conoce como historias.
- 3. Posterior al desarrollo del backlog se realiza la planificación de sprint la cual consiste en una reunión donde se desglosan todos los requerimientos del backlog de manera más realista y en el orden que el equipo de desarrollo elija, una vez que se establezca se convierte en sprint backlog.
- 4. Se toma de la lista de sprint backlog las actividades a realizar y se entra al proceso de sprint o iteración el cual no puede ser modificado una vez se inicie; en este se desarrollarán las actividades del sprint backlog que el equipo de desarrollo haya elegido, este puede tener una duración de hasta 30 días para el desarrollo. Es importante mencionar que es necesario que durante la fase de iteración se realice una junta diaria de pie de no más de 15 minutos sobre el avance del proyecto.

- 5. El entregable es un avance del proyecto junto con algunos otros documentos y métricas las cuales ayudan a comprender lo que se realizó al finalizar el sprint que se haya realizado, generalmente este análisis del avance de proyecto puede durar desde 2 a 4 horas.
- 6. Finalmente se realiza la retrospectiva y se entrega el trabajo al dueño y se empieza con una reunión de equipo scrum con la finalidad analizar qué se hizo bien, qué hay que mejorar y qué se aprendió durante el desarrollo.

Ejecución y construcción. El software se desarrolló usando las tecnologías necesarias como HTML5 (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets). HTML y CSS son dos tecnologías fundamentales en el desarrollo de páginas web. HTML se utiliza para estructurar el contenido de una página, mientras que CSS se utiliza para darle estilo a los elementos de la página (HTML Styles CSS, s. f.).

Para el área de Front-End y para el apartado de Back-End se eligieron los lenguajes de programación PHP y JavaScript, además de incorporar el sistema de gestión de bases de datos MySQL e incorporar el modelo MVC (Modelo – Vista - Controlador) para mantener un mejor control y organización en el desarrollo. El front-end es la parte de un sitio web que interactúa con los usuarios, también conocida como el lado del cliente. Se encarga de la interfaz de usuario, la presentación y la interacción. Por otro lado, el back-end es la parte que se conecta con el servidor y se encarga del procesamiento de la lógica y los datos necesarios para el funcionamiento correcto y seguro del sitio (Descubre Comunicación, 2019).

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS) de código abierto respaldado por Oracle. Se basa en un modelo cliente-servidor, donde el servidor MySQL maneja todas las instrucciones de la base de datos, y está disponible como un programa independiente para su uso en un entorno de red cliente-servidor (Londoño, 2023).

Una vez definidas las herramientas para el desarrollo, se inició la creación del programa. Tras completar estructuralmente cada función necesaria, se subió a un servidor y se entregó a los voluntarios que decidieron participar. Estos contaban con una comprensión básica de cómo interactuar con el programa, lo que les permitió identificar errores y sugerir mejoras durante su interacción con el sistema.

En la segunda prueba, se implementaron cambios, incluyendo ajustes en el sistema de sesiones de administración, la incorporación de nuevas funciones de información con sistemas de validación de tipos de datos y la definición de características para tipos específicos de peces y plantas. Esto implicó establecer valores que debían cumplirse para el estado óptimo de los peces y plantas, además de corregir errores gráficos en el sistema de navegación por páginas. Se entregó el programa a voluntarios sin conocimiento previo de su uso, obteniendo resultados más positivos que en la primera prueba.

Al aprovechar la página web, que ya tenía todo lo necesario para ser operable, se optó por implementar el código existente del programa en una PWA (Progressive Web Application o Aplicación Web Progresiva) para contar con una aplicación para teléfonos inteligentes. Aunque es posible utilizar la página web desde el navegador móvil, la PWA proporciona una experiencia más optimizada.

El proyecto será sometido a pruebas en un entorno real (figura 2) utilizando el sistema acuapónico de la Universidad Tecnológica de Parras. Este sistema cuenta con todo lo necesario para realizar mediciones, seguimiento y análisis de los datos del sistema acuapónico, lo que permitirá determinar su eficiencia en entornos reales.

Figura 2. Sistema de Acuaponía.



Nota. Lechuga y el sistema de acuaponía en funcionamiento. Elaboración Propia.

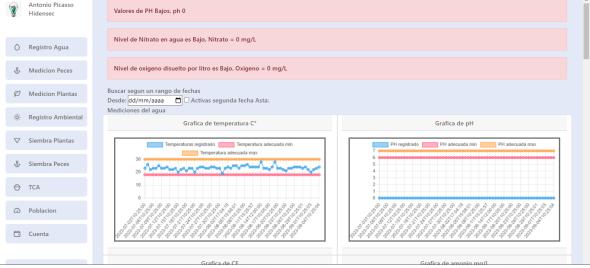
RESULTADOS

El software se encarga de registrar meticulosamente las mediciones de un sistema acuapónico, presentándolas de manera gráfica para un análisis detallado. Su funcionalidad incluye la detección e informe inmediato de cualquier valor no apto para el crecimiento, como se muestra en la figura 3, respaldando así el desarrollo integral del sistema acuapónico.

Figura 3. Sistema de graficas junto al sistema de alerta temprana en la página de inicio.

Antonio Picasso

Volumes de BH Brigg, ph 0



Nota. Vista previa del inicio. Elaboración Propia.

Hasta el momento, la aplicación se destaca por ser accesible a cualquier persona interesada en aprender a usarlo. Como se observa en la figura 4, sobresale al presentar la información y los avances de manera visual y gráfica. Esto no solo simplifica la comprensión de los datos, sino que también mejora significativamente la experiencia de seguimiento y análisis para los usuarios.

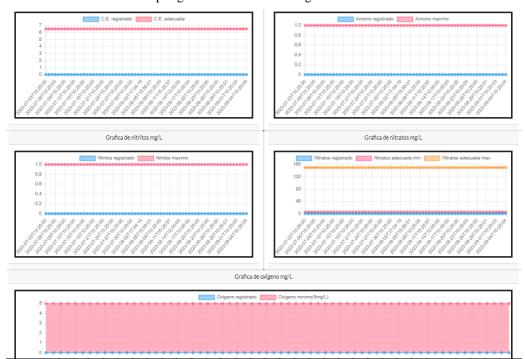


Figura 4. Sistema de visualización por graficas del estado del agua.

Nota. Módulo grafico para la representación de la información de manera clara. Elaboración Propia.

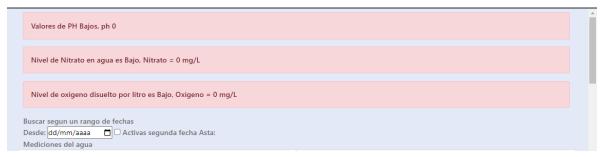
Además, como se observa en la figura 5, se dispone de una tabla que registra los valores ingresados. Esta tabla se encuentra en los formularios de carga de información, dentro de la sección correspondiente a cada parámetro del sistema. Cabe destacar que la información se almacena con precisión de hora y fecha, lo cual resulta fundamental para su posterior procesamiento por el módulo de alerta temprana, tal como se visualiza en la figura 6. Este módulo se encarga de detectar y alertar sobre cualquier valor que no sea adecuado para el funcionamiento óptimo del sistema acuapónico.

Figura 5. Tabla de visualización de la información ubicada en uno de los formularios.

Datos de Agua (Mostrando los ultimos 8 datos Registrados)							
PH	CE	Temperatura	Amoniaco	Nitrito	Nitrato	Oxigeno	Fecha
0	0	24	0	0	0	0	2023-09-04T10:25:04
0	0	23	0	0	0	0	2023-09-03T10:25:04
0	0	22	0	0	0	0	2023-09-02T10:25:03
0	0	20	0	0	0	0	2023-09-01T10:25:03

Nota. Formulario utilizado para la captura y registro de información. Elaboración Propia.

Figura 6. Módulo de alerta temprana mostrando las alertas en base a lo capturado.



Nota. Sistema de alerta temprana. Elaboración Propia.

Destacando el proceso de carga de información, a diferencia de otros sistemas, el control sobre la información registrada y almacenada en el sistema es rigurosamente validado y almacenado, tal como se ilustra en la figura 7. Los formularios implementados en el sistema actúan como una barrera efectiva para evitar la inclusión de datos vacíos o con instrucciones incorrectas. Esto se logra mediante una limpieza previa de los datos, asegurando que únicamente se cargue información válida en formato de texto plano.

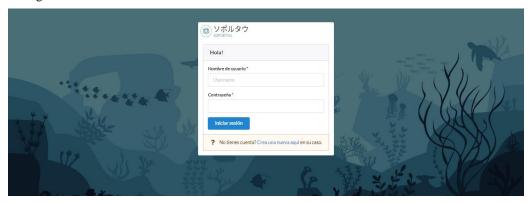
Figura 7. Módulo de captura de datos.



Nota. Formulario utilizado para la captura y registro de información. Elaboración Propia.

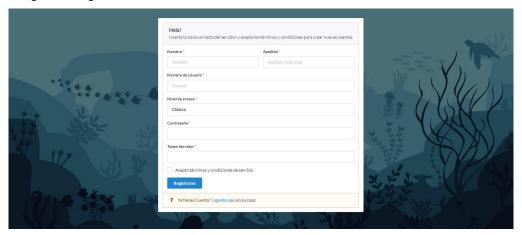
Finalmente, se debe resaltar la importancia del almacenamiento de información y datos personales en el sistema. La implementación de un inicio de sesión, incluso para el almacenamiento de datos, se presenta como la opción más prudente. Además, al establecer un sistema de sesiones, se garantiza la privacidad y la capacidad de modificación exclusivamente para los usuarios autorizados, como se ilustra en la figura 8, que representa el sistema de inicio de sesión, y en la figura 9, que muestra el proceso de registro.

Figura 8. Página de inicio de sesión.



Nota. Vista previa acerca del inicio de sesión. Elaboración Propia.

Figura 9. Página de Registro de nuevos usuarios.



Nota. Vista previa acerca de la página de registro de usuarios. Elaboración Propia.

Se establece la representación visual del mapa del sitio, plasmada en la figura 10, la cual demuestra el funcionamiento técnico del sistema. En este esquema, el color morado simboliza el inicio de sesión, el azul denota la persistencia una vez que la sesión ha sido iniciada, indicando que el usuario, tras acceder, mantiene el acceso completo al sistema. Por último, el color rojo señala el cierre de sesión.

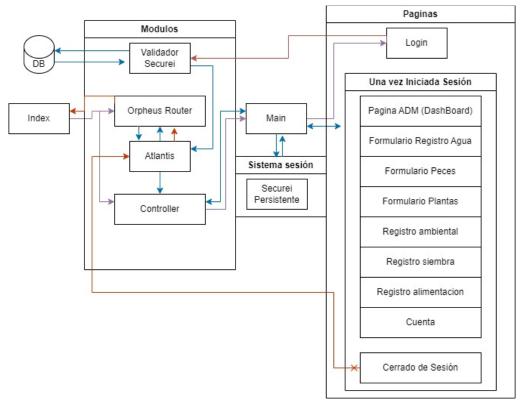


Figura 10. Esquema y Mapa del funcionamiento del sitio.

Nota. Esquema del funcionamiento y mapa del sitio del proyecto. Elaboración Propia.

El proyecto se caracteriza por su versatilidad, ya que no se adhiere a un estilo de estructura específico para los sistemas acuapónicos. Hasta la fecha, el monitoreo del sistema acuapónico se realiza exclusivamente a través del ingreso manual de información. Sin embargo, se contemplas resolver esta limitación en el futuro mediante la integración de sensores, lo que permitirá una recopilación automatizada de datos.

CONCLUSIONES

El software es esencial para la implementación de sistemas de acuaponía, permitiendo la transferencia de conocimientos a las comunidades. Su capacidad para registrar datos facilita la toma de decisiones para el funcionamiento correcto del sistema. Además, desempeña un papel crucial en la sostenibilidad, reduciendo costos futuros y beneficiando tanto a la sociedad actual como a las generaciones futuras.

El impacto tecnológico, demostrado en el proyecto de acuaponía, garantiza condiciones de trabajo óptimas, visualizando valores no aptos para el cultivo y mejorando la sostenibilidad. El software aborda problemas específicos del sistema, proporcionando información esencial para tomar medidas correctivas. En resumen, no solo facilita el control y medición de condiciones, sino que también asegura la eficacia continua y la robustez del proyecto.

PROPUESTAS

Actualmente, el monitoreo del sistema acuapónico se lleva a cabo mediante la inserción manual de información, una práctica que, si bien ha demostrado ser efectiva, presenta ciertas limitaciones en términos de eficiencia y rapidez en la recopilación de datos.

Con miras hacia el futuro y con el objetivo de superar estas limitaciones, se plantea implementar una solución innovadora mediante la integración de sensores. Esta medida no sólo simplificará el proceso de recolección de datos, sino que también mejorará significativamente la precisión y frecuencia de la información recopilada. La incorporación de sensores permitirá una monitorización continua y en tiempo real del sistema acuapónico, facilitando la detección temprana de cambios o condiciones inusuales.

La automatización a través de sensores no solo optimizará la eficiencia operativa, sino que también liberará recursos humanos para tareas más estratégicas y analíticas. Además, esta evolución tecnológica fortalecerá la capacidad del sistema para adaptarse dinámicamente a las fluctuaciones ambientales y garantizará un monitoreo más preciso y detallado de los parámetros críticos del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrotendencia. (s. f.). Una alternativa rentable para la producción de alimentos. 4 de septiembre de 2023 de https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/la-acuaponia/
- Descubre Comunicación. (26 de julio 2019). ¿Qué es Backend y Frontend? https://descubrecomunicacion.com/que-es-backend-y-frontend/
- Grupo Garatu Development. (s.f.). El corazón del Scrum en proyectos de desarrollo de IoT y SmartFactory. https://development.grupogaratu.com/metodologia-scrum-desarrollo-software/
- HTML Styles CSS. (s. f.). https://www.w3schools.com/html/html_css.asp
- INPROFIT. (s.f.). IoT en la agricultura. Tecnología para cultivos inteligentes. https://inprofit.es/es/blog/iot-en-agricultura-tecnologia-para-cultivos-inteligentes
- INTAGRI (2017). Acuaponía para la Producción de Plantas y Peces. Serie Horticultura Protegida, (32), 1-6

 https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces
- Londoño, P. (19 de enero de 2023). Qué es MySQL, para qué sirve y características principales. https://blog.hubspot.es/website/que-es-mysql
- Martins, J. (19 de junio de 2023). Scrum: conceptos clave y cómo se aplica en la gestión de proyectos. https://asana.com/es/resources/what-is-scrum
- Pacifici, F. (2021). IoT Worlds. ¿Qué es un sistema de monitoreo remoto de granjas? https://www.iotworlds.com/es/que-es-un-sistema-de-monitoreo-remoto-de-granjas/
- Rodríguez, A. (s. f.). IoT en la agricultura de precisión. https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/como-funciona-iot-en-agricultura-de-precision
- Stewart, J. (3 de septiembre de 2021). TrackitAgro. ¿Es posible la gestión agrícola de forma remota? https://www.trackitagro.com/es-posible-la-gestion-agricola-de-formaremota/

Capítulo XIII

DESARROLLO DE UN RECORRIDO VIRTUAL DEL HOTEL TABASCO INN

Karina Guadalupe Calcáneo Martínez
https://orcid.org/0009-0008-0320-3766
422110675@uttab.edu.mx
Ana Aurora Guerrero González
https://orcid.org/0000-0001-7889-9296
aaguerrero.tc@uttab.edu.mx
Martha Ofelia Jiménez Velázquez
https://orcid.org/0000-0001-8405-0731
mojimenez.tc@uttab.edu.mx

RESUMEN

La realidad virtual se ha convertido en una herramienta revolucionaria que permite ofrecer a los clientes una experiencia inmersiva y cautivadora, permitiendo explorar virtualmente todas las áreas y servicios que se pueden ofrecer en un sitio turístico. Se implementó la metodología para el desarrollo de proyectos multimediales, donde se pudo dar un seguimiento certero de cada una de las etapas que debían cumplirse para llegar a obtener una animación de calidad, verificando que cada una de estas se cumplieran de la mejor forma posible, se utilizaron software de desarrollo como Adobe Illustrator, Blender, Unity, Audacity, Mixamo y C++. El resultado obtenido fue un recorrido virtual diseñado para mostrar las áreas que componen el Hotel Tabasco Inn, el cual puede ser visualizado en dispositivos móviles o utilizando lentes de realidad virtual compatibles con la aplicación.

Palabras Claves: Realidad Virtual, Marcadores, Entorno tridimensional.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más tecnológico, es esencial que las empresas se adapten a las nuevas tendencias y brinden experiencias innovadoras a sus clientes. En este sentido, la realidad virtual se ha convertido en una herramienta revolucionaria que permite ofrecer a los huéspedes una experiencia inmersiva y cautivadora, permitiéndoles explorar virtualmente todas las áreas y servicios que el prestigioso hotel Tabasco Inn tiene para ofrecer.

El objetivo principal de este proyecto es proporcionar a los clientes una experiencia única y memorable, permitiéndoles realizar un recorrido virtual por las instalaciones del hotel desde cualquier ubicación. A través del uso de gafas de realidad virtual o dispositivos móviles compatibles, los huéspedes podrán sumergirse en un entorno tridimensional de alta calidad y vivir una experiencia interactiva que les brindará una visión completa del hotel.

Durante este recorrido virtual, los usuarios tendrán la oportunidad de explorar las habitaciones, los espaciosos salones de eventos, las áreas de descanso y recreación, así como los restaurantes y servicios exclusivos. Este recorrido virtual permitirá tener una idea clara de lo que pueden esperar al elegirlo como su destino de hospedaje.

Se podrán disfrutar de vistas panorámicas, escuchar sonidos ambientales y obtener información adicional sobre las características especiales y servicios exclusivos, todo ello en un entorno virtual inmersivo y realista. El Hotel Tabasco Inn ubicado en el corazón de Villahermosa, es una empresa 100% tabasqueña que ofrece espacios y servicios de la más alta calidad. Con más de 15 años en el mercado hotelero de la ciudad, Hotel Tabasco Inn es una marca reconocida, la cual se invita a vivir la experiencia.

DESARROLLO

Un recorrido virtual, también conocido como tour virtual, es una recreación de un entorno completamente virtual sobre el que puedes desplazarte e interactuar para conocer y recorrer diferentes espacios o lugares de determinado entorno libremente (Pérez, 2016). Permite

añadir fotografías o vídeos desplegándose sobre determinadas zonas, además posibilita la inserción de archivos de sonido para poder acompañar el recorrido con una voz explicando las características de cada sección que se recorra.

Detección de requerimientos. En esta etapa, se recopilan y analizan los requerimientos del cliente y los usuarios del recorrido virtual del hotel (Fernández, 2018).

- Contenido visual: Se determinaron qué áreas del hotel se incluirán en el recorrido virtual, como habitaciones, áreas comunes, restaurantes, piscina, etc.
- Interactividad: Algunos elementos serán interactivos en el recorrido, como botones menús de navegación, huéspedes y personal de hotel.
- Plataformas y dispositivos compatibles: Para acceder al recorrido virtual se tendrá acceso a computadoras, smartphones, gafas de realidad virtual, etc.
- Integración con otras plataformas: Posiblemente alguna plataforma en la que se podrá tener acceso es la página oficial del Hotel Tabasco Inn en la se le hará entrega de una liga y un código QR que tendrá dirección a la descarga de los archivos posibles a utilizar para la visualización del recorrido virtual.

Descripción de la alternativa de solución. Descripción de cada uno de los pasos a realizar para obtener la aplicación en base a los requerimientos.

- Una vez que se han identificado los requerimientos, se procede a diseñar la alternativa de solución para el recorrido virtual del hotel. Esto implica:
 - o Definir la arquitectura tecnológica
 - Definir las herramientas
 - O Definir los recursos necesarios para su implementación.
- Tecnología de desarrollo: Para desarrollar dicho recorrido virtual se hizo uso de los programas Blender, Unity y la plataforma de Mixamo.
- Diseño de interfaz: Se creó una interfaz intuitiva y atractiva que facilita la navegación del usuario a través del recorrido virtual.
- Programación y desarrollo: Se definieron los componentes interactivos y la lógica detrás de la experiencia del recorrido virtual.

- Pruebas y calidad: Se realizaron a cabo procedimientos para verificar que la solución cumpla con los requerimientos y expectativas establecidas.
- Implementación y lanzamiento: Planificar la implementación del recorrido virtual en las plataformas seleccionadas y gestionar su lanzamiento.

MÉTODO

La Metodología para el desarrollo de proyectos multimedia establecida por Saeed (2004) consta de 6 pasos:

- Desarrollo de la Idea: se define en términos generales el proyecto a diseñar, participan todos los integrantes del grupo y el cliente, tiene como objetivo definir el proyecto que se va a desarrollar, hay que tener en cuenta aspectos como: objetivo, sinopsis, estilo, target y perfil de usuario, estudio de la competencia y plataforma.
- Diseño: se realiza el Storyboard del proyecto, que son las escenas que contendrá la aplicación, así como los medios que serán utilizados para transmitir el mensaje: guion literario, mapa de navegación y guion técnico interactivo.
- Prototipo: es la primera prueba del proyecto en el cual se puede observar cómo será el resultado final y el cliente tiene la responsabilidad de aprobarlo. Se debe garantizar al cliente que el desarrollo está dentro de lo planeado y, a su vez, poder ver y probar una parte de la aplicación. También se realiza la investigación de nuevas tecnologías que puedan ser parte del demo, el cual debe ser representativo de lo pactado.
- Producción: teniendo como base el prototipo se producen todas las imágenes, animaciones y videos para posteriormente integrarse y darle interactividad. Se definen los Criterios de producción y se producen los diversos elementos de acuerdo con el Guion Técnico Interactivo.
- Testeo: se realizan las pruebas de funcionamiento y calidad tanto por el cliente como
 por el equipo de trabajo para que el proyecto no tenga ningún inconveniente en el
 futuro. Cuando todas las partes aseguran que el producto está listo y funcionando, la
 beta testers se encargan. Se realizan diversas versiones de la aplicación, a fin de ir
 corrigiendo los errores que se van encontrando.

• Distribución: una vez terminado el proyecto se almacena en un servidor, sitio web o en un CD para que pueda ser reproducido o en un puesto interactivo de consulta.

RESULTADOS

Mapa de Navegación. A continuación, se visualiza la estructura del recorrido virtual Hotel Tabasco Inn.

Figura 1. Mapa de navegación del recorrido virtual del Hotel Tabasco Inn



Nota. Elaboración propia.

Modelado 3D de la alternativa de solución. Este proceso implica la creación de modelos tridimensionales de los diferentes espacios y elementos dentro del hotel, como las habitaciones, áreas comunes, piscina, restaurante, jardines, entre otros (Modelado 3D Y Renderizado: Las Diferencias Y Los Usos, 2022).

Integración. Al ser desarrollado en dos máquinas diferentes, debido a esto fue fundamental asegurarse de que todas las partes encajen correctamente y de que no se presentaran problemas de escala o posición entre los diferentes pisos. La precisión y coherencia en la integración son cruciales para garantizar un recorrido virtual del hotel sin problemas y realista.

Programación y Animación. La programación y la animación juegan un papel fundamental para crear una experiencia inmersiva y atractiva para los usuarios, por lo tanto, se utilizaron en diversas áreas del hotel de principio a fin, así como la entrada, lobby, piscina (Miranda, 2020).

Menú. El diseño y la implementación de un menú son aspectos importantes para permitir a los usuarios acceder a diferentes secciones y características del recorrido. El menú es intuitivo, fácil de usar y proporciona una navegación clara para que los visitantes puedan explorar el hotel de manera cómoda.

Descripción de los procesos. Se comenzó el modelando la estructura del edifico en Blender, utilizando las herramientas que el mismo programa proporciona (Paola y Villeda, s.f). Para ello se llevó a cabo la toma de fotografías de referencia detalladas del entorno que se iba a modelar. Para empezar a modelar la estructura del edificio se utilizó un cubo, en vista edición se cortó el cubo dependiendo la cantidad de paredes que se necesitara extruir para ir formando cada piso del hotel.

Figura 2: Entorno de modelado en Blender

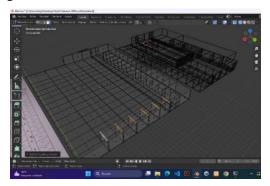
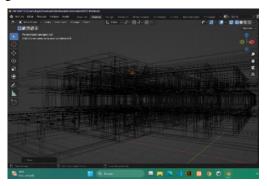


Figura 3: Estructura del edificio



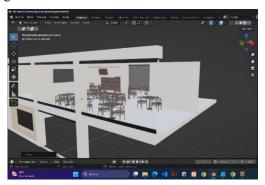
Nota. Elaboración propia.

Se modeló cada espacio del hotel de manera individual, para facilitar el manejo de cada modelo, se utilizaron las fotografías de referencia que se tomaron de cada espacio, se texturizaron los modelos creando un nuevo material y arrastrando la textura para colocársela al objeto modelado.

Figura 4: Oficinas planta baja en Blender



Figura 5: Estructura de restaurante



Nota. Elaboración propia.

Se continuó acomodando todos los objetos para ir dando forma a todo el edificio, se terminó de texturizar y se procedió a exportar los modelos.

Figura 6: Texturizado de mesa restaurante

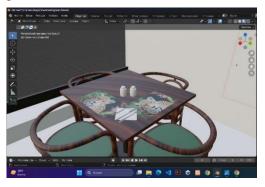


Figura 7: Texturizado de Edificio Terminado

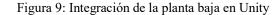


Nota. Elaboración propia.

La integración del entorno en Unity consta de exportar los objetos en formato FBX desde Blender para integrarlos en Unity, posteriormente extraer las texturas y los materiales que se arrastraron de Blender directamente en la exportación.

Figura 8: Integración del 1er piso en Unity







Nota. Elaboración propia.

Ya con todo el entorno acomodado en Unity, se crearon materiales nuevos para acomodar las texturas de los pisos y paredes modificando su escala para que se siga manteniendo el realismo del hotel en el modelado.

Figura 10: Integración de las habitaciones en Unity



Figura 11: Integración de la alberca en Unity



Nota. Elaboración propia.

Se diseñó el menú de la aplicación utilizando como base los colores del logotipo del Hotel, se realizó un diseño sencillo para facilitar su manejo a los usuarios y así brindarles una mejor experiencia dentro del entorno.

Figura 12: Menú de aplicación



Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El proyecto de recorrido virtual del Hotel Tabasco Inn proporciona a los visitantes una experiencia inmersiva y detallada de las instalaciones del hotel. A través de tecnologías de vanguardia y una cuidadosa planificación, se ha logrado capturar la esencia y la belleza del hotel, brindando a los usuarios la oportunidad de explorar sus diferentes áreas y servicios desde la comodidad de sus propios dispositivos. (Firtman, 2016).

El recorrido virtual ha demostrado ser una herramienta efectiva para promover el Hotel Tabasco Inn, ya que ha permitido a los posibles huéspedes tener una visión completa de las habitaciones, restaurantes, piscinas, áreas comunes y otros espacios relevantes. Esto ha ayudado a generar un mayor interés y confianza en los servicios ofrecidos por el hotel, lo que a su vez ha aumentado la probabilidad de reservas y visitas futuras.

Además, el recorrido virtual ha resultado beneficioso en términos de accesibilidad, ya que ha brindado la oportunidad a personas de diferentes ubicaciones geográficas y capacidades físicas de explorar el hotel de manera virtual. Esto ha ampliado la audiencia potencial del Hotel Tabasco Inn y ha aumentado su visibilidad en el mercado.

La implementación del recorrido virtual también ha resultado en ahorros significativos en términos de tiempo y recursos. En lugar de realizar visitas físicas al hotel, los posibles clientes pueden obtener una idea clara de las instalaciones a través del recorrido virtual, lo que ahorra tiempo tanto a los huéspedes como al personal del hotel.

PROPUESTAS

Los requerimientos mínimos para ejecutar un recorrido virtual pueden variar dependiendo de la complejidad del recorrido, la calidad de los gráficos y la tecnología utilizada (Material Docente de La UOC Recorridos Virtuales Álvaro Ulldemolins PID_00159309, s.f). Sin embargo, aquí se proporciona una descripción general de los requisitos mínimos para diferentes dispositivos y plataformas:

Teléfono Inteligente:

- Sistema Operativo: Android 7.0 o posterior / iOS 11 o posterior.
- Memoria RAM: 2 GB o más.
- Procesador: Quad-core o superior.
- Almacenamiento: Espacio suficiente para descargar y almacenar los recursos del recorrido virtual (imágenes, videos, etc.).
- Conexión a Internet: WiFi o datos móviles para la descarga de la aplicación.
 Computadora Personal:
- Sistema Operativo: Windows 10 / macOS 10.14 o posterior / Linux (dependiendo de la plataforma de desarrollo).
- Procesador: Dual-core o superior.
- Memoria RAM: 4 GB o más.
- Tarjeta Gráfica: Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 3.3 o superior.
- Almacenamiento: Espacio suficiente para descargar y almacenar los recursos del recorrido virtual.

Se debe tener en cuenta que estos son solo requerimientos generales y podrían variar según la plataforma específica de desarrollo y las tecnologías utilizadas. Si se está utilizando una plataforma de realidad virtual, como gafas de RV, los requisitos técnicos serán más altos para admitir la inmersión en 3D y los gráficos de alta calidad. Siempre es recomendable realizar pruebas exhaustivas en diferentes dispositivos y configuraciones para asegurarte de que el recorrido virtual se ejecute de manera óptima para los usuarios.

Si bien el recorrido virtual ha sido un éxito, es importante seguir actualizándolo y mejorándolo para mantenerlo relevante y competitivo en un mercado en constante evolución. Esto implica mantener actualizadas las imágenes y descripciones, incorporar tecnologías emergentes como la realidad virtual o aumentada si es necesario, y garantizar una experiencia fluida y de alta calidad para los usuarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernández, P. E. (2018). Usabilidad Web. Teoría y uso. Ra-Ma Editorial.
- Firtman, M. (2016). High Performance Mobile Web. "O'Reilly Media, Inc."
- Material docente de la UOC Recorridos virtuales Álvaro Ulldemolins PID_00159309. (s.f.). Retrieved July 30, 2024, from https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/8505/6/Animaci%C3%B3n%203D_Port ada_Recorridos%20virtuales_.pdf
- Miranda, H. (2020). Modelado 3D. Elementos prácticos y técnicas análogas en la producción de ilustración tridimensional: tradicional y digital. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- Modelado 3D y renderizado: las diferencias y los usos. (2022, May 25). https://www.gopillarnews.com/es/modelado-3d-y-renderizado-las-diferencias/
- Paola, B., y Villeda, M. (s.f.). UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES ESCUELA DE ARTES "INTRODUCCIÓN A BLENDER: MANUAL DE USUARIO" PRESENTAN. https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4777/2/Manual%20Blender.pdf
- Pérez, R. (2016). Realidad aumentada. Tecnología para la formación. Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa, 57. https://doi.org/10.21556/edutec.2016.57.768
- Saeed, D. (2004). Metodología para el desarrollo de proyectos multimediales. XII Jornadas de Reflexión Académica En Diseño Y Comunicación 2004. Procesos Y Productos Experiencias Pedagógicas En Diseño Y Comunicación, 12, 171–172. Universidad de Palermo. chttps://www.palermo.edu/dyc/publicaciones/jornadas/pdf/jornadas12.pdf

Capítulo XIV

IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN EL DISEÑO DE APLICACIÓN MÓVIL EN EL TURISMO SOSTENIBLE PARA TABASCO

Domingo Román Guillén

https://orcid.org/0000-0003-4305-7915

<u>domingo.roman@ujat.mx</u>

Rosario del Carmen Suárez Jiménez

https://orcid.org/0000-0003-4211-042X rosario.suarez@ujat.mx

Aida Dinorah García Álvarez

https://orcid.org/0000-0002-2846-6924

adgaral@hotmail.com

Jorge Rebollo Meza

https://orcid.org/0000-0003-0159-6259

jorge_rebollo_58@hotmail.com

Lenin Martínez Pérez

https://orcid.org/0000-0001-7656-1865

leninmartinez@outlook.com

RESUMEN

El desarrollo tecnológico ha llevado a nuevas formas de comprender y compartir la información, incluso transformar la vida. El turismo no ha sido la excepción, su impacto se ha visibilizado de manera transversal, particularmente por el nacimiento de la telefonía celular y con ello, la integración de las redes sociales y las aplicaciones en los teléfonos móviles. Cada vez más las personas utilizan más un teléfono y que la computadora para comunicarse; debido a su portabilidad y fácil acceso. Por lo anterior, el presente estudio es una mirada holística del análisis de los recursos turísticos del estado de Tabasco para establecer una propuesta para el diseño de una aplicación móvil, que permita flexibilizar la integración de productos turísticos satisfaciendo de manera integral las experiencias de los visitantes. Asimismo, se considera de enfoque cualitativo y a su vez descriptivo; debido a que busca enunciar los principales componentes que deberán integrarse en la aplicación del potencial turismo del estado de Tabasco.

Palabras Clave: Difusión turística, TIC en el turismo, desarrollo turístico.

Introducción

La gestión turística implica el desarrollo de acciones de colaboración estrecha entre el sector

público y el privado, los cuales deberán diseñar productos, establecer procesos, generar y

cumplir legislación, certificación de calidad, control y fiscalización de establecimientos,

promoción y comercialización que se realice en este sector para contribuir a su desarrollo.

Sin embargo, también se requiere establecer procesos de investigación, planificación,

desarrollo y evaluación en esta actividad económica para fortalecerla, existiendo procesos de

formación y concientización de usuarios y el personal que labora en él, sin olvidar que se

requiere también de ambos sectores inviertan recursos para la mejora.

La existencia de recursos turísticos da la posibilidad de estructurar atractivos o productos que

se encontrarán disponibles para atender las necesidades de personas visitantes. Sin embargo,

la aplicación que se propone en este estudio provee la posibilidad al usuario de construir o

conocer estos recursos para estructurar sus propios productos, a través de una aplicación

móvil. La navegación permitirá un acceso fácil que podrá motivar a los visitantes a utilizar

los servicios de hospedaje, traslado y vivir experiencias.

DESARROLLO

En el presente estudio deber partir de que, para el 2021 el tráfico móvil era superior al 54%,

siendo mayor al uso de los ordenadores o computadoras (Kinsta, 2021). Sin embargo, esto

no implica desarrollar una única estrategia de acceso a la información, sino que se requiere

diversificar la manera en que, se acerca a los turistas a la información de experiencias o

recursos turísticos. La coexistencia en el uso de ordenadores y dispositivos móviles está por

lo menos hasta ahora indefinida respecto a esto Aguado, Martínez, y Cañete (2015)

consideran que el uso de internet en los dispositivos móviles ha evolucionado rápidamente

hacia el uso mayor de aplicaciones móviles en detrimento de los navegadores.

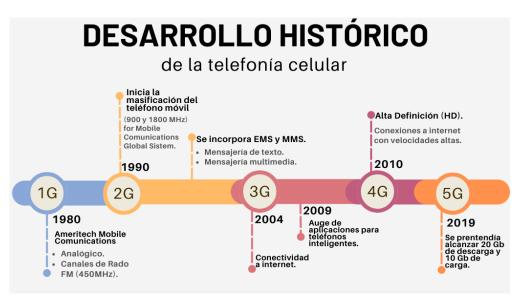
En los inicios de la implementación de las Tecnologías de la Información y Comunicación se realizó a través de la llamada Web 1.0 era más lectura y con páginas bastante estáticas que conllevó a tener una comunicación unidireccional y un sujeto pasivo. Pero esto cambió cuando en un segundo momento con la invención de la Web. 2.0 dio paso a un nuevo paradigma de uso; dónde la comunicación se establece bidireccional considerándose lo más relevante de este momento, fue la constitución de un sujeto más activo con una comunicación bidireccional, con páginas más dinámicas y contenidos abiertos (García, 2007). Aunque ya existen las definiciones de Web 3.0 o incluso quienes afirman la existencia de una Web 4.0 en el presente estudio no se abordarán porque sería entrar en un debate innecesario por las características del estudio. Lo anterior a que, se trata de la propuesta de un estudio para analizar la propuesta de una aplicación móvil donde se considera que ésta debe ser para un sujeto activo que busca experiencias o identificar recursos turísticos que más adelante se definirán.

Para comprender el uso de las aplicaciones móviles se requiere comprender el desarrollo histórico de la telefónica celular o móvil, en este sentido un hecho importante reconocer que según la Enciclopedia Humanidades (s.f) el teléfono inalámbrico o celular fue inventado por Antonio Meucci a finales del siglo XIX y patentado en 1972 por Alexander Graham Bell. Mismo que fue diseñado para transformar impulsos eléctricos en la voz. Se considera al teléfono celular como un dispositivo de telecomunicación independiente que realiza operaciones de llamadas, mensajes de texto, con acceso a internet y aplicaciones digitales, es el resultado de los grandes cambios tecnológicos atravesaron las sociedades desde finales del siglo XX.

El desarrollo de la telefonía móvil tiene cinco generaciones la primera apareció en 1980 cuando se utilizó canales de radio analógicos con frecuencias alrededor de 450 MHz, modulada FM, los cuales fueron aparatosos y poco útiles se compara con los actuales. La segunda en 1990 utilizado el sistema Global System for Mobile Comunicación, de origen europeo utilizando frecuencias entre 900 y 1800 MHz representando así el paso hacia la digitalización de este tipo de comunicaciones, mejorando la calidad de voz, los niveles de

seguridad, permitiendo el roaming o itinerancia y la masificación del teléfono móvil. Dentro de esta etapa se dio lo que se llamó 2.5 que incorporó la tecnología Enhanced Message Service (EMS) y Multimedia Message Service (MMS) que permitieron el envío de texto y multimedia, aunque con limitaciones para su recepción. No obstante, este tipo tecnologías requirieron de mayores velocidades de transmisión, por tanto, se tuvo que actualizar las redes a General Packet Radio Service (GPRS), que logró velocidades de hasta 120 kb/s, y EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), de hasta 384 kb/s (Ver figura 1).

Figura 1. Generaciones de la telefonía celular.



Nota. Describe las generaciones de la telefonía celular a partir de datos en la Enciclopedia Humanidades (s.f). Elaboración propia.

La tercera generación a principios del siglo XXI se logró la conectividad a internet convirtiéndose en un pequeño ordenador que permitió videoconferencia, televisión y descarga de archivos constituyéndose los primeros smartphones o teléfonos inteligentes. La cuarta, desarrolló lo que se conoce como alta gama a través a su conexión a internet de velocidades con un ancho de banda alta que logra la recepción de vídeos en Alta Definición (HD) Y finalmente, la Quinta que consideró que para el 2020 se alcanzaría velocidades de hasta 20 Gb/s de descarga y 10 Gb/s de carga, optimizando la tecnología con nuevos

estándares. Aunque, los teléfonos prometían ser más pequeños y discretos cada vez más, la llegada de los Smartphones implantó la necesidad de grandes pantallas debido a que tiende realizar tareas similares a la de los ordenadores o computadoras. También en estas dos últimas generaciones por la necesidad de desplegar la información en las pantallas se suprimieron los teclados remplazándose por instrucciones táctiles en la pantalla conocidas como tecnología touch-screen (Ver figura 1).

En cierre, dentro de este proceso histórico en teléfono celular durante la tercera generación particularmente para el año 2009 se dio el auge del diseño de aplicaciones para teléfonos inteligentes dando paso a una nueva forma de gestionar el acceso a internet y diversos servicios a través de accesos directos en la pantalla de los teléfonos. Las aplicaciones móviles entonces, son aquellas que fueron desarrolladas para ser ejecutadas en dispositivos fáciles de transportar, considerándose así un atributo más alto la portabilidad. El término móvil se refiere a poder acceder a los datos, las aplicaciones y los dispositivos desde cualquier lugar.

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Software (SE: Software Engineering), una de las principales características que tiene que tener una aplicación para ser exitosa entre los usuarios es que sea de calidad (Enríquez y Casas 2014). Dicha calidad puede valorarse a partir de aspectos generales como su accesibilidad dado por su peso, utilidad, imagen gráfica, actualización, entre otros. En este estudio, estableceremos aspectos de su utilidad, lo anterior, porque Enríquez, y Casas, (2014) mencionan que para desarrollar un software de este tipo aún existen restricciones que tiene el hardware de los dispositivos; por ejemplo son de dimensiones reducidas, tienen bajo poder de cómputo, escasa capacidad almacenamiento, ancho de banda limitado, entre otros que pudieran afectar la compatibilidad y que en su momento deberá ser analizado por especialistas en el tema de hardware y software.

Un aspecto importante en el uso de las aplicaciones móviles es comprender el potencial que esta representan en la integración directa de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el sector turístico porque reconoce el desarrollo del turismo como agente

social en el ámbito geográfico. En este contexto se puede hablar ya de un Turismo en línea (e-Turismo) y en concreto en el ámbito que nos ocupa, del citado Turismo móvil (m-Tourism) que recurre a las Apps como una tecnología cada vez más innovadoras para aumentar los hábitos cotidianos de los turistas mientras viajan. (Saura et al., 2017).

El ecosistema de las aplicaciones móviles de turismo, han tenido un crecimiento exponencial un estudio realizado por Global Mobile Market Report (2017) durante diez años. Se puede observar la penetración del mercado de Smartphones alrededor del mundo describiendo al país, la población y el número de usuarios que utilizan este tipo de dispositivos móviles.

Tabla 1. Penetración de Smartphone en el mercado.

Ranking	País	Población total	Penetración Smartphone	Usuarios Smartphone
1	Emiratos Árabes	9.398.000	80.6%	7.573.000
2	Suecia	9.921.000	72.2%	7.167.000
3	Suiza	8.454.000	71.7%	6.061.000
4	Corea del Sur	50.705.000	71.5%	36.262.000
5	Taiwan	23.564.000	70.4%	16.596.000
6	Canadá	36.626.000	69.8%	25.556.000
7	Estados Unidos	326.474000	69.3%	226.289.000
8	Holanda	17.033.000	68.8%	11.720.000
9	Alemania	80.636.000	68.8%	55.492.000
10	Reino Unido	65.511.000	68.6%	44.953.000

Nota: Global Mobile Market Report, Saura, et al., (2017). Marketing a través de aplicaciones móviles de turismo (m-tourism): un estudio exploratorio.

Tres aspectos han logrado cambiar al mundo de los negocios el primero es el Internet que ha revolucionado en el mundo empresarial, el segundo los usos y costumbres de la población y la forma en que la misma percibe el mundo actual, y el tercero es el impacto directo de estas nuevas formas de vivir, teniendo una repercusión en los distintos ámbitos económicos, sociales , políticos y culturales. Un referente importante en esta nueva concepción de la vida resalta que, el 80% de los consumidores turísticos recurre a Internet como medio de información primario en sus decisiones de elección de destino y en la preparación del viaje

(ABC Tecnología, 2014; Fernández, y Cuadrado, 2014), lo que poco a poco se concreta como una visión representativa de la evolución y adopción de las nuevas tecnologías de internet y aplicaciones móviles en el sector turístico.

Estos avances tecnológicos han permitido a empresas y destinos turísticos otorguen un mayor valor a sus productos o servicios más allá de su valor económico, provocando nuevas experiencias en los consumidores, actuando bajo el enfoque del marketing experiencial, a través del cual se establece una vinculación con la marca o empresa, basado en las emociones, sentimientos o pensamientos que despierta el producto o servicio en el consumidor, de tal forma que se logre una experiencia de consumo única.

RESULTADOS

Después de analizar los aspectos generales sobre las implicaciones tecnológica es necesario realizar un análisis del potencial turístico del estado de Tabasco, sin embargo, antes de entrar en el análisis de la realidad local, es necesario resaltar que México tiene una variada y vasta diversidad cultural, que la oferta a nivel nacional e internacional por su valor en gran medida, debido al patrimonio histórico y cultural, incluyendo los sitios arqueológicos, los cuales son difundidos para su conocimiento, abriéndolos al público como tipo de museo, como monumento arqueológico o como un parque arqueológico (Tamayo, y García, 2014). Asimismo, cuenta con ciudades coloniales, festivales nacionales e internacionales que dan cuenta de la riqueza cultural tangible e intangible y sitios naturales que se pueden visitar y convivir con la naturaleza, entre otros que contribuyen a establecer esta riqueza.

A nivel mundial el sector turístico se encuentra en un proceso de cambio, estableciéndose espacios turísticos especializados en las necesidades y gustos de los visitantes, cubriendo un mayor mercado, por este principio se han desarrollado destinos que atienden particularmente a quienes buscan participar de actividades relativas a áreas verdes y poco modificadas en los que son llamados destinos de naturaleza y aventura; con esto gran parte del territorio tabasqueño tiene la posibilidad de concretarse como un destino. Por otra parte existen lugares

en los cuales la cultura propia la localidad forma parte fundamental de la oferta del destino, así los destinos culturales ofrecen monumentos históricos, folclore, tradiciones y arquitectura que atrae a las personas que buscan disfrutar de éstos; en nuestro país los principales destinos, es decir, los que presentan mayor índice de oferta y ocupación hotelera son los llamados destinos de sol y playa cuya oferta se basa principalmente de las costas marítimas del país, de la vida nocturna en restaurantes, bares y discotecas; además de las zonas hoteleras con cadenas comerciales de lujo (Landero et al, 2019).

Existe en la actualidad dos perspectivas importantes e incluso contrapuestas, por un lado, el turismo convencional que se fortalece en México y por el otro, el turismo alternativo; que busca mitigar los efectos del turismo tradicional, pero que usa los atractivos naturales y culturales desarrollando nuevas áreas y contextos. En este sentido, analizando el territorio tabasqueño, López (2010) establece que, dentro de este tipo de turismo, el municipio de Tacotalpa tiene grandes oportunidades para consolidarse como un destino turístico de naturaleza, sin embargo, esto puede ser aplicable a otros municipios como Balancán, Tenosique, Centla, entre otros, que por su riqueza natural son un potencial para el turismo de naturaleza.

Es de reconocer que Tabasco como destino turístico, resalta principalmente considerando como primer factor de su potencial; los paisajes que se caracterizan por sus anchos ríos y profundas aguas. Aunque la llegada y estancia de turistas extranjeros a la entidad es reducida, se cuenta con todos los servicios turísticos para ofrecer al visitante. Es conocido por los altos niveles de humedad y por la basta vegetación tropical, entre su territorio se encuentran las dos grandes cuencas del Grijalva y Usumacinta respectivamente, por lo que, la mitad de la entidad se encuentre cubierta por agua distribuida en ríos, lagunas y pantanos que predominan en el paisaje, donde existen más de 2 mil 200 especies de plantas, así como una diversidad de fauna que se puede apreciar en su reserva de la biosfera, Pantanos de Centla (Fócil, 2017). En este sentido, podemos afirmar que una de las riquezas turísticas del estado corresponde a su territorio en este sentido Martínez, et al., (2021), menciona que el paisaje le confiere a un territorio un valor significativo, debido a que representa el espacio en el que

viven las personas, su cultura e identidad, por ello todo lo relacionado con su conservación y aprovechamiento determina en el ser humano su bienestar y calidad ambiental, social, económica y cultural.

Un segundo elemento de la riqueza turística que resalta el potencial de Tabasco son los recurso intangibles y dentro de ellos se encuentran los festivales, mismos que se definen como un conjunto de manifestaciones artísticas, culturales y tradicionales, que tienen presencia de un público general local y que tiene un potencial para volverse parte de la oferta turística de una región o localidad, que además atraen todo tipo de turismo desempeñando un papel fundamental en la economía, la promoción de la y la exposición de productos locales.

Dentro de los festivales más reconocidos en el estado de Tabasco se encuentran el festival del queso artesanal, el primero celebrado en año 2013 en el Espacio Cultural "Pedro Vega Martínez" ubicado en el malecón de la ciudad de Tenosique, participando con éxito empresarios de la industria ubicados en los municipios que conforman la región de los ríos, siendo un referente para promover las vocaciones productivas de la región, la cultura, gastronomía y el turismo rural, considerando como eje temático la variedad y originalidad de los quesos producidos en esta zona del Estado (Alcocer, et al., 2023). También Tabasco cuenta con el festival de la Butifarra en el municipio de Jalapa de Méndez Tabasco, iniciando en el año 2015 buscando promover a la entidad como motor gastronómico demostrando su riqueza culinaria (Castellanos, et al., 2024), el festival del ostión en el puerto de Chiltepec en el municipio de paraíso, Tabasco y el festival del chocolate realizado en el Parque Tabasco, mismo que se utiliza como recinto para la feria del estado de Tabasco.

Un tercer elemento de su potencial turístico se concreta con el reconocimiento de pueblos mágicos, este es un programa de política y gestión turística, marca distintiva del turismo de México, que identifica las localidades que a través del tiempo y ante la modernidad ha conservado, valorado y defendido su herencia histórica, cultural y natural, así como la manifiesta de expresiones a través de su patrimonio tangible e intangible con atributos únicos,

simbólicos, historias auténticas, hechos trascendentes, cotidianidad, siendo un aprovechamiento turístico atendiendo a las motivaciones y necesidades de los viajeros (Secretaría de Turismo [SECTUR], 2014; Jiménez et al., 2018).

Este programa dio inicio en 2001 teniendo como finalidad diversificar y complementar la oferta turística nacional aprovechando la riqueza cultural y natural del país otorgando una nueva marca orientada al consumidor de productos turísticos que busca experiencias a partir del aprovechamiento de los recursos locales con una visión de responsabilidad social (Jiménez, et al.2018). En el estado de Tabasco una localidad que ha recibido este distintivo es Tapijulapa municipio de Tacotalpa en 2010, sin embargo, Sandoval y Rubí(2016) mencionan que estos esfuerzos emprendidos se han visto empañados por una falta de coordinación entre los beneficiarios de la política y las autoridades locales, estatales y federales involucradas, al tratar de conjuntar esfuerzos para fortalecer las capacidades productivas de la localidad de manera sustentable. También es de resaltar que en esta localidad el turismo ha sido una de las actividades más relevantes desde 1926 cuando Tomás Garrido Canabal trató de promover los valores curativos de las aguas sulfurosas de los arroyos de la zona construyendo 30 cabañas de piedra en el Parque Natural Villa Luz.

MÉTODO

El presente estudio es cualitativo y descriptivo (Hernández, et. al, 2014) atendiendo dos variables: el análisis de los recursos turísticos y el desarrollo histórico de internet incluyendo las aplicaciones móviles. A través, de una investigación documental en sitios electrónicos e impresos.

CONCLUSIONES

- Tabasco cuenta con recursos turísticos mayormente paisajes naturales que se pueden convertir en un potencial turístico para atraer visitantes.
- Existe una tendencia a utilizar más las aplicaciones móviles que los sitios web.

- Contar con una aplicación móvil da mayor accesibilidad a los usuarios de poder todo en un único sitio de consulta.
- La flexibilidad para integrar productos turísticos a través de la aplicación móvil otorga una mayor experiencia en los usuarios.

PROPUESTA

La realización de la aplicación móvil debe contener:

- Descripción de los principales festivales y fechas que se realicen a través de la actualización directa de los datos desde las entidades que lo realizan. Deberá haber una versión que permita integrar los eventos y fechas (integración de información y su actualización).
- Los restaurantes y hoteles deberán integrarse dentro de la aplicación para conocer sus principales servicios.
- Las autoridades encargadas de la gestión turística deberán integrar la descripción de sitios naturales y recintos culturales que se pueden visitar.
- Se requiere que la iniciativa privada y gubernamental pongan a la disposición de los usuarios de la aplicación, todos los recursos turísticos con que cuentan las localidades, municipios y el estado para satisfacer las necesidades de los turistas.
- Poner a disposición una versión que permita únicamente la consulta para los usuarios finales (visitantes), con la finalidad que sean ellos quienes integren a su necesidad la generación de productos turísticos considerando su individualidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, J.M., Martínez, I. J. Cañete, L. (2015). "Tendencias evolutivas del contenido digital en aplicaciones móviles". El profesional de la información, v. 24, n. 6, pp. 787-795.http://dx.doi.org/10.3145/epi.2015.nov.10
- Alcocer, M. D. C. A., Rodríguez, W. B. L., y Jiménez, D. M. J. (2023). La feria del queso, un impulso turístico para Tenosique, Tabasco. Journal of Tourism and Heritage Research: JTHR, 6(2), 324-330.
- Castellano, M. V., Aparicio, C. G. M., y Rojas, R. H. (2024). El festival de la butifarra como oferta turística. Cuadernos gestión turística del patrimonio, 3(1), 160-174.
- Enciclopedia Humanidades (s.f). Historia del Celular. https://humanidades.com/historia-del-celular/#ixzz8qOl4gBbQ
- Enríquez, J. G., y Casas, S. I. (2014). Usabilidad en aplicaciones móviles. Informes Científicos Técnicos UNPA, 5(2), 25–47. https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v5i2.71 https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/view/581/560
- Fernández, M.T. y Cuadrado R. (2014). El impacto de las nuevas tecnologías en el sector turístico: Aplicación de la realidad aumentada al turismo cultural. https://institucional.us.es/revistas/IJWT/Vol.1N.2/2.pdf
- Fócil, A. B. V. (2017). El festival del chocolate como estrategia de promoción del turismo cultural en el estado de Tabasco, México. International Journal of Scientific Management and Tourism, 3(2).
- García L. (2007). ¿Web 2.0 vs Web 1.0? <u>https://ddd.uab.cat/pub/dim/16993748n10/16993748n10a4.pdf</u>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. P. (2014). Metodología de la investigación (6° ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. . ISBN | DOI: 978-1-4562-2396-0.
- Jiménez, F. J., Mazón, A. I. M., y Gouveia, C. S. (2018). Modelo de turismo humano para el bienestar de Tapijulapa Pueblo Mágico, Tabasco, México. PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural, 16(3), 685-700 https://www.pasosonline.org/Publicados/16318/PASOS57.pdf#page=143
- Kinsta. (2021). Móvil vs. Escritorio Cuota de Mercado y Estadísticas de Uso. https://kinsta.com/es/movil-vs-escritorio-cuota-mercado/
- Landero, K., Coop, R. E., y Huicab, Y. (2019). Creación de una ruta turística en el municipio de Balancán, para su proyección como principal destino turístico en el estado de Tabasco.

- López, E. G. (2010). Los planes institucionales y el desarrollo turístico alternativo de Tacotalpa, Tabasco. Tecsistecatl,(8).
- Martínez, A. A., Juárez, J. F., Ortiz, L., y Galmiche, Á. (2021). El paisaje como recurso turístico en Áreas Naturales Protegidas: Caso Ranchería Chilapa 2da. Sección (Cañaveralito), Centla, Tabasco. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(I).
- Sandoval, L., y Rubí, M. E. O. (2016). Implementación de la política pública de Pueblos Mágicos. Caso de estudio: Tapijulapa, Tabasco. SOCIAL REVIEW. International Social Sciences Review/Revista Internacional de Ciencias Sociales, 5(1), 145-152.
- Saura, J. R., Palos, P. R., y Reyes, A. (2017). Marketing a través de aplicaciones móviles de turismo (m-tourism): un estudio exploratorio. International journal of world of tourism, 4 (8), 45-56.
- Tamayo, M. O., y Garcia, J. A. V. (2014). La musealización, una vía para la preservación de los sitios arqueológicos en Campeche, México. Jangwa Pana, 13(1), 34-50.





¡Excelencia académica, innovación con sentido social!