

Handbook T-I

**Ciencia multidisciplinaria para el desarrollo
sostenible: estudios y aplicaciones desde la UNACAR**

Rangel-Marrón, Marcela. PhD

Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín. PhD

Canedo-López, Yunuén. PhD

Coordinadores

ECORFAN®

Coordinadores

Rangel-Marrón, Marcela. PhD
Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín. PhD
Canedo-López, Yunuén. PhD

Editor en Jefe

Vargas-Delgado, Oscar. PhD

Directora Ejecutiva

Ramos-Escamilla, María. PhD

Directora Editorial

Peralta-Castro, Enrique. MsC

Diseñador Web

Escamilla-Bouchan, Imelda. PhD

Diagramador Web

Luna-Soto, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

Rosales-Borbor, Eleana. BsC

Filóloga

Ramos-Arancibia, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8948-59-8

Sello Editorial ECORFAN: 607-8948

Número de Control HCMPDS: 2025-01

Clasificación HCMPDS [2025]: 300725-0101

©ECORFAN-México, S.C.

Park Pedregal Business 3580 – Adolfo Ruiz Cortines Boulevard, CP-01900. San Jeronimo Aculco Álvaro Obregón - Mexico City.

Ninguna parte de este escrito protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, nombres registrados, marcas o nombres comerciales en esta publicación no implica, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres estén exentos del protector relevante en leyes y reglamentos de México y por lo tanto libres para uso general por la comunidad científica internacional. HCMPDS es parte de los medios de ECORFAN [www.ecorfan.org]. Publicado por ECORFAN-Mexico. Todos los derechos reservados.

Obras derivadas: Los usuarios pueden reproducir tablas de contenido o preparar listas de capítulos incluyendo resúmenes para circulación interna dentro de sus instituciones o empresas. Excepto los capítulos publicados bajo la licencia CC BY.

Almacenamiento o uso: Salvo lo indicado anteriormente o lo establecido en la correspondiente licencia de uso, ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, grabación o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito del editor.

Los Autores. Publicado por ECORFAN-México, S.C. para su Holding México en nombre de Handbook HCMPDS. Este es un manual de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Handbooks

Definición de Handbooks

Objetivos Científicos

Apoyar a la Comunidad Científica Internacional en su producción escrita de Ciencia, Tecnología en Innovación en las Áreas de investigación SECIHTI y PRODEP

ECORFAN-Mexico S.C es una Empresa Científica y Tecnológica en aporte a la formación del Recurso Humano enfocado a la continuidad en el análisis crítico de Investigación Internacional y está adscrita al RENIECYT de SECIHTI con número 1702902, su compromiso es difundir las investigaciones y aportaciones de la Comunidad Científica Internacional, de instituciones académicas, organismos y entidades de los sectores público y privado y contribuir a la vinculación de los investigadores que realizan actividades científicas, desarrollos tecnológicos y de formación de recursos humanos especializados con los gobiernos, empresas y organizaciones sociales

Alentar la interlocución de la Comunidad Científica Internacional con otros centros de estudio de México y del exterior y promover una amplia incorporación de académicos, especialistas e investigadores a la publicación Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas – Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados – Universidades Interculturales - Consejos de CyT - Centros de Investigación SECIHTI.

Alcance, Cobertura y Audiencia

Handbooks es un Producto editado por ECORFAN-Mexico S.C en su Holding con repositorio en México, es una publicación científica arbitrada e indizada. Admite una amplia gama de contenidos que son evaluados por pares académicos por el método de Doble-Ciego, en torno a temas relacionados con la teoría y práctica de las Área de investigación SECIHTI y PRODEP respectivamente con enfoques y perspectivas diversos, que contribuyan a la difusión del desarrollo de la Ciencia la Tecnología e Innovación que permitan las argumentaciones relacionadas con la toma de decisiones e incidir en la formulación de las políticas internacionales en el Campo de las Ciencias. El horizonte editorial de ECORFAN-Mexico® se extiende más allá de la academia e integra otros segmentos de investigación y análisis ajenos a ese ámbito, siempre y cuando cumplan con los requisitos de rigor argumentativo y científico, además de abordar temas de interés general y actual de la Sociedad Científica Internacional.

Consejo Editorial

Castillo - Téllez, Beatriz. PhD
ROR Universidad de Guadalajara, CUNorte •  S-2264-2018 •  0000-0003-3747-6320 •  210564

Cercado - Quezada, Bibiana. PhD
ROR Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. •  M-6312-2013 •  0000-0003-4760-5114 •  90675

Fernandez - Zayas, José Luis. PhD
ROR Universidad Nacional Autónoma de México •  AAJ-5625-2021 •  0000-0002-9914-6709 •  1568

Hernandez - Escobedo, Quetzalcoatl Cruz. PhD
ROR Universidad Veracruzana •  P-2638-2019 •  0000-0002-2981-7036 •  220140

Rivas - Perea, Pablo. PhD
ROR Marist College, NY. USA •  J-4894-2019 •  0000-0002-8690-0987

Rocha - Rangel, Enrique. PhD
ROR Universidad Politécnica de Victoria •  C-8709-2018 •  0000-0001-8654-3679 •  21235

Rodríguez - Morales, José Alberto. PhD
ROR Universidad Autónoma de Querétaro •  0009-0002-1104-6920 •  200320

Vazquez - Martinez, Ernesto. PhD
ROR Universidad Autónoma de Nuevo León •  R-8561-2018 •  0000-0002-5350-2421 •  12465

Vega - Pineda, Javier. PhD
ROR Instituto Tecnológico de Chihuahua •  JGD-5909-2023 •  0000-0003-4796-9639

Rodriguez - Robledo, Gricelda. PhD
ROR Universidad Tecnológica de Morelia •  0000-0002-8262-3230 •  949474

Comité Arbitral

Castillo - Quiñones, Javier Emmanuel. PhD
ROR Universidad Autónoma de Baja California • ID 0000-0002-2478-3375 • ORCID 228521

Chávez-Lugo, Pedro. PhD
ROR Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo • ORCID JMR-0073-2023 • ID 0000-0002-1681-3503 • ORCID 44921

Flores - Ramírez, Oscar. PhD
ROR Universidad Politécnica de Amozoc • ID 0000-0002-9780-937X • ORCID 92914

Gómez - Mercado, Abdiel. PhD
ROR Instituto Tecnológico de Pachuca • ORCID P-7684-2018 • ID 0000-0002-7598-7570 • ORCID 58742

Hernández - Gómez, Víctor Hugo. PhD
ROR Universidad Nacional Autónoma de México • ORCID S-6575-2018 • ID 0000-0001-9315-5869 • ORCID 122247

Herrera - Romero, José Vidal. PhD
ROR Universidad Veracruzana • ID 0000-0001-9462-0160 • ORCID 163163

Mejías - Brizuela, Nildia Yamileth. PhD
ROR Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica • ID 0000-0003-2973-473X • ORCID 253092

Pérez - Robles, Juan Francisco. PhD
ROR Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico • ORCID B-8421-2016 • ID 0000-0001-9738-6795 • ORCID 3240

Aguilar - Virgen, Quetzalli. PhD
ROR Universidad Autónoma de Baja California • ORCID K-2317-2017 • ID 0000-0002-4514-760X

Ramírez - Coutiño, Víctor Ángel. PhD
ROR Universidad Tecnológica de Querétaro • ID 0000-0003-2510-2030 • ORCID 212480

Cesión de derechos

El envío de una Obra Científica a ECORFAN Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones científicas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica.

Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que ECORFAN-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.

Declaración de Autoría

Indicar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en la participación de la Obra Científica y señalar en extenso la Afiliación Institucional indicando la Dependencia.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo con el Número de CVU Becario-PNPC o SNI-SECIHTI- Indicando el Nivel de Investigador y su Perfil de Google Scholar para verificar su nivel de Citación e índice H.

Identificar el Nombre de 1 Autor y 3 Coautores como máximo en los Perfiles de Ciencia y Tecnología ampliamente aceptados por la Comunidad Científica Internacional ORCID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID respectivamente

Indicar el contacto para correspondencia al Autor [Correo y Teléfono] e indicar al Investigador que contribuye como primer Autor de la Obra Científica.

Detección de Plagio

Todas las Obras Científicas serán testeadas por el software de plagio PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se mandará a arbitraje y se rescindirá de la recepción de la Obra Científica notificando a los Autores responsables, reivindicando que el plagio académico está tipificado como delito en el Código Penal.

Proceso de Arbitraje

Todas las Obras Científicas se evaluarán por pares académicos por el método de Doble Ciego, el arbitraje Aprobatorio es un requisito para que el Consejo Editorial tome una decisión final que será inapelable en todos los casos. MARVID® es una Marca de derivada de ECORFAN® especializada en proveer a los expertos evaluadores todos ellos con grado de Doctorado y distinción de Investigadores Internacionales en los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología el homologado de SECIHTI para los capítulos de America-Europa-Asia-Africa y Oceanía. La identificación de la autoría deberá aparecer únicamente en una primera página eliminable, con el objeto de asegurar que el proceso de Arbitraje sea anónimo y cubra las siguientes etapas: Identificación del ECORFAN Handbooks con su tasa de ocupamiento autoral - Identificación del Autores y Coautores- Detección de Plagio PLAGSCAN - Revisión de Formatos de Autorización y Originalidad-Asignación al Consejo Editorial-Asignación del par de Árbitros Expertos-Notificación de Dictamen-Declaratoria de Observaciones al Autor-Cotejo de la Obra Científica Modificado para Edición-Publicación

ECORFAN Ciencia multidisciplinaria para el desarrollo sostenible: estudios y aplicaciones desde la UNACAR

Volumen I

El Handbook ofrecerá contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyen a la actividad de divulgación científica de la Universidad Autónoma del Carmen en sus áreas de Ingeniería. Además de contar con una evaluación completa, a cargo de los coordinadores de la Universidad Autónoma del Carmen, de la calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada con estándares internacionales [V|LEX, RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR y REDIB], el Handbook propone así a la comunidad académica, informes recientes sobre nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de Ingeniería.

Ciencia multidisciplinaria para el desarrollo sostenible: estudios y aplicaciones desde la UNACAR T-I

Handbooks

Coordinadores

Rangel-Marrón, Marcela. PhD
Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín. PhD
Canedo-López, Yunuén. PhD

Universidad Autónoma del Carmen

Julio 2025

DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.1.116>



Prefacio

La presente obra es un testimonio del compromiso académico, científico y social de la Universidad Autónoma del Carmen con la generación y difusión del conocimiento en múltiples dimensiones. Este libro de investigación multidisciplinaria reúne una valiosa colección de capítulos que exploran diversas áreas del saber, producto del trabajo colaborativo entre profesoras, profesores y estudiantes de nuestra institución. En un contexto donde los retos sociales, ambientales, económicos y tecnológicos demandan enfoques integradores, este volumen representa una respuesta a la necesidad de construir puentes entre disciplinas, de dialogar desde distintos lenguajes científicos y de aportar soluciones conjuntas a problemas complejos. La convergencia de líneas de investigación tan diversas en estas páginas refleja el dinamismo de nuestra comunidad universitaria y su capacidad para innovar desde la pluralidad.

Cada capítulo es el resultado de procesos rigurosos de investigación y análisis, muchos de ellos impulsados desde cuerpos académicos y otros desde iniciativas lideradas por profesores y estudiantes en formación que ya contribuyen al desarrollo del conocimiento desde una perspectiva crítica y comprometida. Esta sinergia entre generaciones y disciplinas fortalece el quehacer universitario y honra la misión de nuestra alma mater.

Confiamos en que esta obra será de utilidad para especialistas, docentes, estudiantes e interesados en el conocimiento científico, y que servirá como punto de partida para nuevas investigaciones, colaboraciones e intercambios académicos. Agradecemos a todas las personas autoras por su entrega y a quienes, desde diversas trincheras, hicieron posible esta publicación.

La Universidad Autónoma del Carmen reafirma con esta obra su vocación como espacio de pensamiento libre, de encuentro entre saberes y de formación de profesionales que aportan con responsabilidad, ética y visión humanista al desarrollo sostenible de nuestra región y del país.

***Cerón-Bretón, Julia Griselda. PhD
Directora General de Investigación y Posgrado
Universidad Autónoma del Carmen
Julio 30, 2025***

Introducción

La investigación científica y tecnológica multidisciplinaria constituye el motor fundamental del desarrollo académico en las instituciones de educación superior, determinando las líneas de investigación que responden a demandas sociales y contribuyen al conocimiento universal. Las diversas áreas del saber científico abordan problemáticas de relevancia regional y global, tales como la sostenibilidad ambiental, el desarrollo de nuevos materiales y la caracterización de recursos naturales. El trabajo de investigación que se construye en esta obra versa sobre diez aspectos fundamentales de la ciencia y la tecnología, planteados por académicos e investigadores basados en sus experiencias regionales e internacionales.

El libro representa la vinculación de varios cuerpos académicos y grupos de investigación, planteando desde diversas perspectivas disciplinarias el análisis experimental y aplicado de temas actuales para adecuar los procesos de investigación a los requerimientos de innovación tecnológica.

Como primer aporte, Colaboración multidisciplinaria y visibilidad internacional de la Universidad Autónoma del Carmen: una exploración a través de su producción científica en Scopus plantea el panorama institucional de investigación como estrategia de posicionamiento académico.

Propiedades higroscópicas de betabel [*Beta vulgaris*] en polvo analiza la estabilidad de este producto agrícola mediante técnicas experimentales, contribuyendo al conocimiento en ciencias de los alimentos.

Caracterización química y microbiológica de jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche aporta análisis de una especie acuática de relevancia ecológica regional para el manejo de recursos hídricos.

Aprovechamiento de recursos agrícolas en el Estado de Campeche analiza el potencial de frutas tropicales y sus subproductos para el desarrollo económico sustentable regional. Comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación aporta soluciones para el tratamiento de contaminantes mediante oxidación avanzada.

Variabilidad fisicoquímica y proyección de escenarios climáticos sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos, Campeche muestra la vulnerabilidad de ecosistemas acuáticos ante el cambio climático.

Estudio experimental de la Goma Xantana como viscosificante en lechadas de cemento de baja densidad constituye un aporte a la ingeniería petrolera, proporcionando alternativas sostenibles para procesos de cementación.

Evaluación de la concentración de nanopartículas de SiO_2 en las propiedades petrofísicas del medio poroso analiza mediante modelación matemática las aplicaciones nanotecnológicas en ingeniería de yacimientos.

Estudio del electrodeposición de plata sobre materiales de carbón en medio neutro explora alternativas para electrocatalizadores eficientes en reducción de CO_2 .

Finalmente, Indicadores de sostenibilidad aplicados a comunidades rurales de la costa de Campeche: estudio de ciencia multidisciplinaria integra aspectos sociales, económicos y ambientales, proporcionando herramientas diagnósticas para el desarrollo sustentable costero y la comprensión integral del desarrollo regional.

Contenido		Pag
1	Colaboración multidisciplinaria y visibilidad internacional de la Universidad Autónoma del Carmen: una exploración a través de su producción científica en Scopus Ocaña, Frank A., Núñez-Lara, Enrique y Huesca-Zambrano, Natalia	1-11
2	Propiedades higroscópicas de betabel [Beta vulgaris] en polvo Rangel-Marrón, Marcela, Cerón-Bretón, Rosa María, Cerón-Bretón, Julia Griselda y Lara-Severino, Reyna del Carmen	12-22
3	Caracterización química y microbiológica de jacinto de agua [Eichhornia crassipes] presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche Ramírez-Elias, Miguel Ángel, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra, Córdova-Quiroz, Atl Víctor y Abatal, Mohamed	23-33
4	Aprovechamiento de recursos agrícolas en el Estado de Campeche Robles-Heredia, Juan Carlos & Narváez-García, Asteria	34-46
5	Comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación Arias-Mateo, María Cruz, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra, Vital-Ocampo, Angelica Gabriela y Montoya Hernández, Daniel de Jesús	47-55
6	Variabilidad fisicoquímica y proyección de escenarios climáticos sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos, Campeche Canedo-López, Yunuén, Ruiz-Marín, Alejandro y Ayala-Coronado, Kenya Amaranta	56-70
7	Estudio experimental de la Goma Xantana como viscosificante en lechadas de cemento de baja densidad Milán, María del Carmen, Martínez, Eliud, Martínez, Teresa del Jesús y Vital, Angelica Gabriela	71-79
8	Evaluación de la concentración de nanopartículas de SiO₂ en las propiedades petrofísicas del medio poroso Vital-Ocampo, Angelica Gabriela, Montoya-Hernández, Daniel de Jesús, Solana-Neri, Fernando del Jesús y Domínguez-Trujillo, Miguel del Carmen	80-97
9	Estudio del electrodeposición de plata sobre materiales de carbón en medio neutro Garrido-González, Josseline, Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín, Sierra-Grajeda, Juan Manuel Tadeo y Mandujano-Ramírez, Humberto Julián	98-105
10	Indicadores de sostenibilidad aplicados a comunidades rurales de la costa de Campeche: estudio de ciencia multidisciplinaria Núñez-Lara, Enrique, Martínez-Fernández, Cynthia y Acuña-Lara, Patricia	106-116

Colaboración multidisciplinaria y visibilidad internacional de la Universidad Autónoma del Carmen: una exploración a través de su producción científica en Scopus

Multidisciplinary collaboration networks and international visibility of the Universidad Autónoma del Carmen: an exploration through its scientific production in Scopus

Ocaña, Frank A.*^a, Núñez-Lara, Enrique^b y Huesca-Zambrano, Natalia^c

^a  Universidad Autónoma del Carmen •  V-9166-2019 •  0000-0002-9998-2109 •  448738
^b  Universidad Autónoma del Carmen •  A-2016-2015 •  0000-0003-1166-9714 •  81040
^c  Universidad Autónoma del Carmen •  NGS-1480-2025 •  0009-0003-2809-0191 •  1361063

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.1.11>

Área: Ciencias Sociales
Campo: Medios y Comunicación
Disciplina: Ciencias de la Información
Subdisciplina: Otras

Key Handbooks

Este capítulo se centra en el uso de herramientas bibliométricas avanzadas [como Bibliometrix y VOSviewer] aplicadas a una base de datos prestigiosa [Scopus] para evaluar de manera cuantitativa la evolución, el impacto y las dinámicas colaborativas de la producción científica institucional. Se destaca que hay un crecimiento sostenido de la producción científica en la Universidad Autónoma del Carmen [UNACAR] desde 2001, con una tasa de incremento anual del 15.8%, lo que supera la media nacional. Se evidencia que los campos prioritarios de generación de conocimiento en la UNACAR, están centrados en ciencias naturales, ingeniería, salud y medio ambiente, con énfasis en temas como ecología costera, contaminación, enfermedades crónicas y tecnologías aplicadas. Finalmente, el análisis detallado de redes de colaboración académica, mostró la existencia de núcleos fuertes de investigadores y su influencia en la productividad institucional. De estos aportes se derivan algunos aspectos claves a comprender para aplicar a la generación de conocimiento universal como el fortalecimiento del capital humano académico mediante políticas institucionales que fomenten la formación de doctores y su integración al SNII, lo cual tiene un impacto directo en la productividad científica y en el reconocimiento nacional e internacional. También, promover la colaboración multidisciplinaria e interinstitucional, tanto nacional como internacional, como vía para ampliar el alcance y el impacto del conocimiento generado, superando las fronteras institucionales y geográficas. Por último, se debe ampliar la participación de disciplinas subrepresentadas, como las ciencias sociales y humanidades, lo que permitiría una integración más equilibrada del conocimiento y una mayor aportación desde múltiples perspectivas a los desafíos locales, regionales y globales. Los dos primeros autores de este capítulo son profesores-investigadores en la Universidad Autónoma del Carmen, mientras que la tercera autora es estudiante de la licenciatura en biología marina de la Facultad de Ciencias de la UNACAR. El primer autor ha obtenido 32 citas en el 2024 y el segundo autor generó 30 citas.

Área: Promoción de la investigación de vanguardia y la ciencia básica en todos los campos del conocimiento

Citación: Ocaña, Frank A., Núñez-Lara, Enrique y Huesca-Zambrano, Natalia. 2025. Colaboración multidisciplinaria y visibilidad internacional de la Universidad Autónoma del Carmen: una exploración a través de su producción científica en Scopus. 1-11. ECORFAN.

* ✉ [\[focana@pampano.unacar.mx\]](mailto:focana@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>

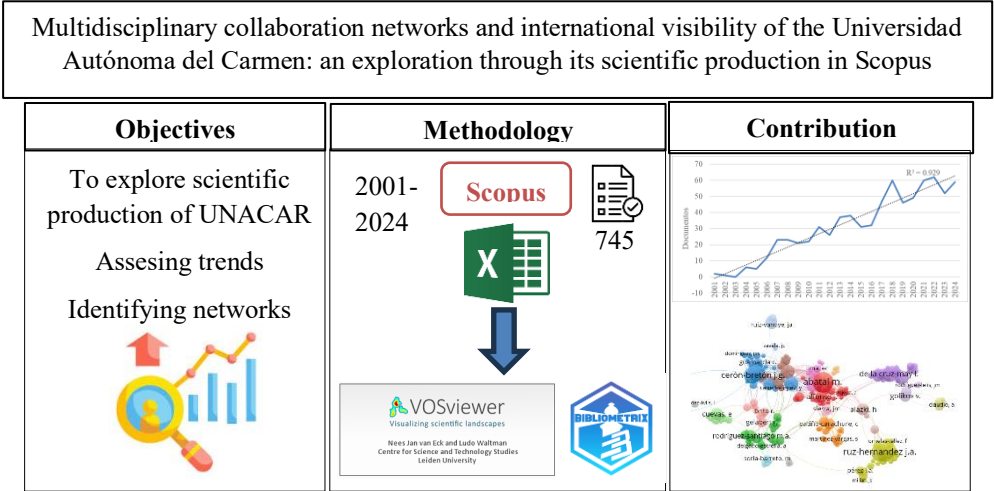


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

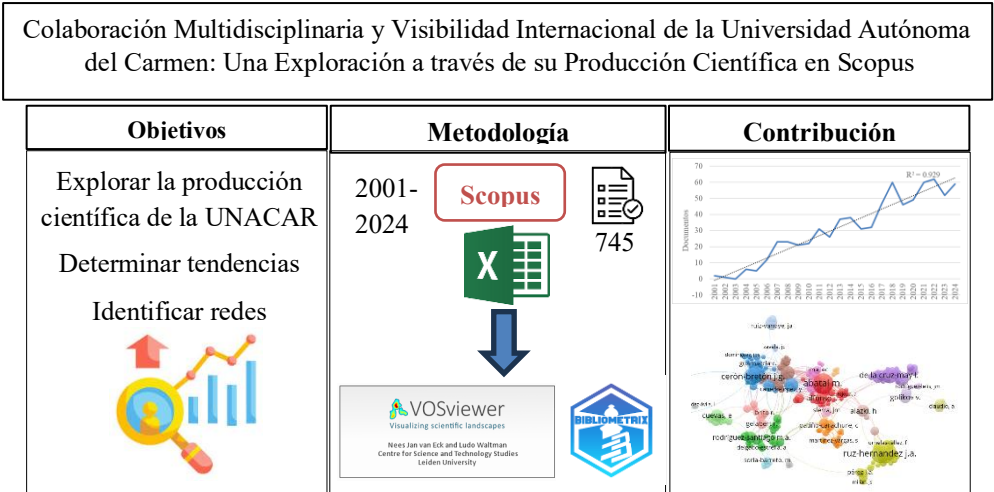
This chapter analyzes the scientific output of UNACAR between 2001 and 2024, based on 745 documents identified in the Scopus repository, with an annual growth rate of 15.8%. The research, published across 431 different sources, is concentrated in the natural sciences, engineering, and health, with limited representation from the social sciences and humanities. Productivity is strongly associated with the number of PhDs and members of the National System of Researchers. Although internal collaboration is strong, international co-authorship remains low [5.5%]. It is recommended to strengthen interdisciplinarity, promote the social sciences, foster international networks, support productive researchers, and adopt open science strategies. These actions aim to enhance UNACAR's academic visibility and establish it as a benchmark in the scientific landscape of southeastern Mexico and the country as a whole.



Bibliometrics, science mapping, collaboration networks

Resumen

Este capítulo analiza la producción científica de la UNACAR entre 2001 y 2024, basada en 745 documentos identificados en el repositorio Scopus, con un crecimiento anual del 15.8%. La investigación, publicada en 431 fuentes diferentes, se concentra en ciencias naturales, ingeniería y salud, con limitada representación de las ciencias sociales y humanidades. La productividad está fuertemente asociada a la cantidad de doctores y miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Aunque existe una colaboración interna sólida, la coautoría internacional es baja [5.5%]. Se recomienda fortalecer la interdisciplinariedad, incentivar las ciencias sociales, fomentar redes internacionales, apoyar a investigadores productivos y adoptar estrategias de ciencia abierta. Estas acciones buscan mejorar la visibilidad académica de la UNACAR y consolidarla como un referente en el contexto científico del sureste de México y del país.



Bibliometría, mapeo científico, redes de colaboración

Introducción

La productividad científica constituye un pilar fundamental en el desarrollo y la competitividad de las Instituciones de Educación Superior [IES] a nivel global. Entendida como la generación de conocimiento a través de actividades de investigación que se materializan en publicaciones, ponencias, patentes, y otras formas de difusión, la productividad científica no solo impulsa el avance de las diversas disciplinas del saber, sino que también fortalece la reputación y el impacto social y económico de las instituciones que la fomentan. En el contexto actual, marcado por la economía del conocimiento, la capacidad de las universidades para generar y aplicar nuevo conocimiento se erige como un factor crucial para el progreso de las naciones [De Jesús-Navarrete et al., 2023].

En México, el fomento de la productividad científica en las IES ha sido una preocupación constante, reflejada en la creación de organismos como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [actualmente Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación: SECIHTI] y el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores [SNII]. El SNII, en particular, busca reconocer y estimular la labor de los investigadores a través de una evaluación curricular en la que una métrica fundamental es la calidad y cantidad de sus contribuciones científicas [Acosta-Ramírez et al., 2015]. Este sistema, aunque con sus propios desafíos y debates, se ha convertido en un referente para medir y comparar la actividad investigadora a nivel nacional [Rodríguez-Miramontes et al., 2017].

La producción científica en las universidades mexicanas no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra en un número limitado de instituciones, principalmente universidades públicas federales y estatales con autonomía. Al respecto, la Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] destaca como la institución con la mayor producción científica en términos de artículos publicados y citas bibliográficas. Otras IES con una alta productividad científica son el Instituto Politécnico Nacional [IPN], Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad de Guadalajara [UDG], la Universidad Autónoma de Nuevo León [UANL], la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [BUAP], la Universidad de Guanajuato [UGTO] y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí [UASLP] [Rodríguez-Miramontes et al., 2017].

En el sureste de México las universidades públicas presentan un panorama particular en cuanto al desarrollo científico con indicadores de productividad académica por debajo de la media nacional [Luna-Jiménez et al., 2017]. Estos indicadores muestran cierta relación con contrastes económicos y sociales entre sus estados, con Yucatán liderando en desarrollo científico y tecnológico en términos de investigadores pertenecientes al SNII y número de publicaciones [Acosta-Ramírez et al., 2015]. Acosta-Ramírez et al. [2015] analizaron la productividad científica en la Península de Yucatán en general, mientras que Luna-Jiménez et al. [2017] incluyeron a la Universidad Autónoma del Carmen [UNACAR] dentro de un estudio más amplio sobre la gestión del conocimiento en universidades públicas del sureste de México. Estos autores señalaron que, en 2013, la UNACAR presentaba un porcentaje de cuerpos académicos consolidados por debajo de la media nacional y un nivel de profesores con perfil PRODEP también inferior a la media. Esto sugiere áreas de oportunidad para mejorar la gestión del conocimiento y, potencialmente, explorar el avance en la productividad científica de la institución. El presente capítulo se propone, por tanto, explorar la producción científica de la UNACAR para determinar el avance de la ciencia con reconocimiento internacional en esta institución, así como las redes de colaboración que se han establecido como un indicador de la integración multidisciplinaria en la producción del conocimiento.

Metodología

El análisis bibliométrico es una herramienta cuantitativa que permite evaluar la producción científica a partir de indicadores derivados de publicaciones académicas y sus citas. Su aplicación se ha expandido en disciplinas como la ciencia de la información, la gestión del conocimiento y la política científica proporcionando información valiosa sobre el volumen de la producción científica, las dinámicas de colaboración entre autores e instituciones, el impacto de las investigaciones y las tendencias temáticas emergentes [Broadus, 1987]. Asimismo, los resultados bibliométricos permiten a las universidades evaluar su desempeño investigativo, identificar fortalezas y debilidades, y diseñar estrategias para fortalecer su presencia en la comunidad científica global [Moed, 2005].

Entre los indicadores más utilizados en estudios bibliométricos destacan el número de publicaciones, el número de citas recibidas que se interpreta como un proxy de la influencia o el impacto que las publicaciones han tenido sobre la comunidad académica; estas dos métricas se combinan a través del índice H [Hirsch, 2005]. También es relevante la colaboración científica medida a través del análisis de coautorías que permite identificar las redes de cooperación entre investigadores, instituciones y países y el análisis temático basado en palabras clave, áreas de conocimiento o clasificaciones específicas que permite detectar las líneas de investigación dominantes y emergentes.

Para la realización de análisis bibliométricos, se utilizan bases de datos académicas que reúnen información estructurada sobre publicaciones, citas y métricas derivadas. Las principales fuentes incluyen la Web of Science [WoS] y Scopus que son consideradas las bases de datos más prestigiosas por su cobertura de revistas de alto impacto y su sistema de métricas normalizadas. Otras como Google Académico, Redalyc y SciELO aunque de cobertura más amplia sin restricciones de suscripción pagada, son útiles para detectar producción en revistas locales o emergentes y son particularmente relevantes en el contexto latinoamericano para visibilizar la producción regional. Sin embargo, estas últimas presentan el inconveniente de no poder ser analizadas mediante softwares especializados como VOSviewer, Bibliometrix [R] y Gephi, que permiten representar redes de colaboración, mapas temáticos y dinámicas de citación.

Para la presente investigación se ha realizado una búsqueda en la prestigiosa base de datos SCOPUS de ELSEVIER usando como criterio de búsqueda el nombre de la institución en sus diferentes variantes en español e inglés y acotada en un intervalo de tiempo de 24 años [2001-2024]. El análisis de la base de datos resultante se realizó empleando los softwares Bibliometrix [R] con su aplicación Biblioshiny [Aria & Cuccurullo, 2017] y VOSviewer [van Eck & Waltman, 2010].

Avances en la productividad científica de la UNACAR

En el repositorio SCOPUS se han identificado 745 documentos publicados a partir del 2001. Estos productos de investigación se han publicado en 431 fuentes diferentes como libros, capítulos de libros, artículos en revistas científicas o en memorias de eventos. Esto muestra una diversificación importante en los canales de difusión, evidenciando la estrategia de los investigadores por posicionar su trabajo en foros tanto nacionales como internacionales. En la figura 1 se observa que existe una tendencia a incrementar la producción científica, la que presenta una tasa de incremento anual de 15.8% con un promedio de 8.2 documentos por año. La mayor cantidad de productos de investigación [62] se publicó en 2022; durante 2018, 2021 y 2024 también hubo un número significativo de publicaciones. El 86% de los documentos fueron publicados en inglés acorde con las tendencias globales de publicación científica, donde el inglés actúa como la lengua franca de la ciencia; mientras que el 14% se publicó en español y un solo artículo se publicó en portugués.

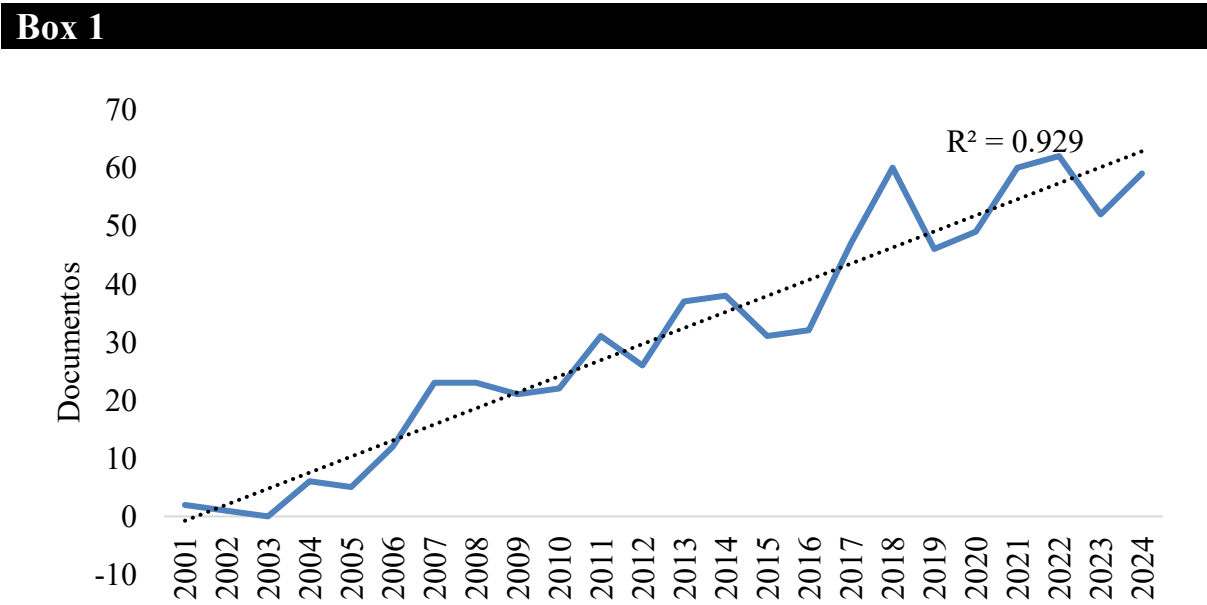


Figura 1
Producción científica de la UNACAR entre 2001 y 2024. La línea negra de puntos representa la tendencia positiva con un ajuste lineal.

Fuente: elaboración propia

La gran mayoría de los documentos [568], son artículos científicos publicados en revistas donde sobresalen *Universidad y Sociedad* con 19 artículos, *Laser Physics* con 11 artículos, así como *WIT Transactions on Ecology and the Environment* y *WSEAS Transactions on Environment and Development* con nueve artículos cada una [Figura 2]. La producción científica está significativamente relacionada con la cantidad de profesores de tiempo completo que tienen el grado de doctor [$R^2=0.84$] y con los que pertenecen al SNII [$R^2=0.90$]. Lo que destaca que la consolidación de doctorados y la incorporación de investigadores al SNII son factores clave en el crecimiento de la producción académica en instituciones de educación superior [Cruz, 2021]. Este hallazgo resalta la importancia estratégica de continuar fortaleciendo el cuerpo académico de la UNACAR mediante políticas de estímulo al posgrado y el ingreso al SNII. Cada documento recibe en promedio 8.6 citas por año con una variación considerable entre los 10 artículos más citados [Tabla 1]. Los artículos más citados abordan temas diferentes abarcando los campos de ciencias naturales, química, ingeniería, y educación. La mayoría de los autores con la más alta reputación científica tienen más de 10 años de antigüedad en la UNACAR y provienen de las facultades de Ingeniería, Ciencias Naturales y Ciencias Químicas [Tabla 2]. Estos 15 autores con la mayor reputación científica han sido responsables de participar en más del 50% de los productos de investigación de la UNACAR lo que indica que los esfuerzos de hacer ciencia aún no son homogéneos entre los investigadores, de manera similar a como ocurre en instituciones de investigación de la región como El Colegio de la Frontera Sur [De Jesús-Navarrete et al., 2023].

Box 2

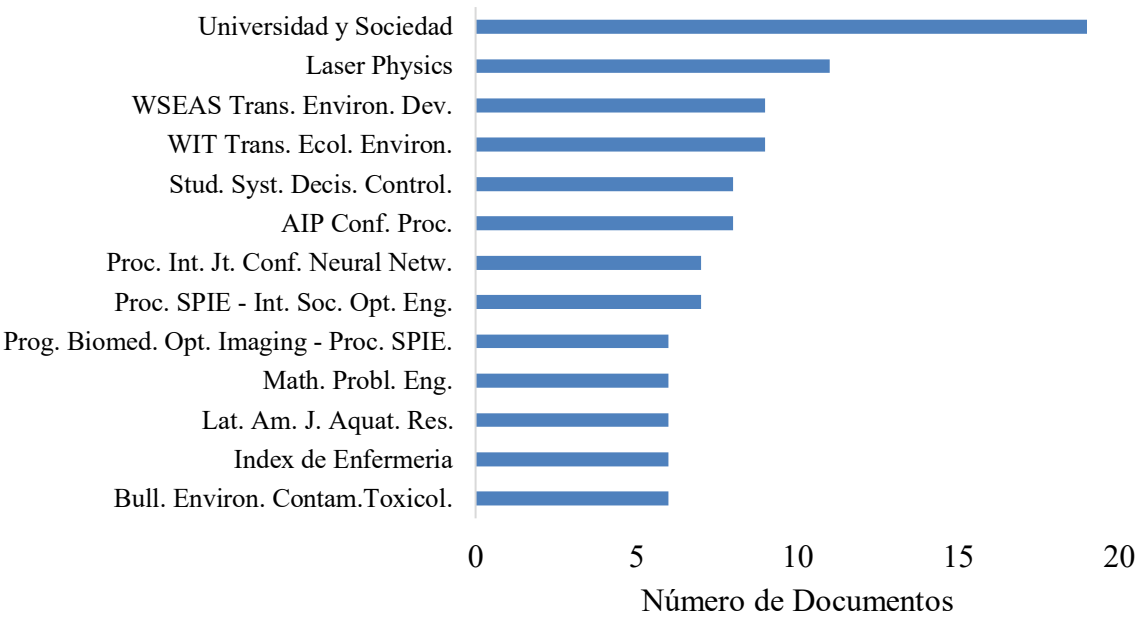


Figura 2
Fuentes más frecuentes donde se publican los trabajos de investigadores de la UNACAR.
Fuente: elaboración propia

Box 3

Table 1

Los 10 artículos más influyentes a nivel mundial [tomando como referencia el número de citas] en los que han participado investigadores de la UNACAR.

Documento/Fuente	Investigadores	Tema	citas	citas/año
HAYS GC, 2019 <i>TRENDS ECOL EVOL</i>	Cuevas, E.	Conservación animal	288	41.14
MOCTEZUMA E, 2012 <i>J HAZARD MATER</i>	Aguilar-Ucan C. Montalvo C.	Degradación de fármacos	245	17.50
LÓPEZ-LUNA J, 2019 <i>SN APPL SCI</i>	Martínez-Vargas S.	Nanotecnologías y contaminantes	234	33.43
CHÁVEZ V, 2020 <i>WATER</i>	Uribe-Martínez A. Cuevas E.	Arribazones de sargazo	152	25.33
IONIN T, 2008 <i>LINGUA</i>	Bautista-Maldonado S.	Conocimiento de la lengua inglesa	104	5.78
LÓPEZ-LUNA J, 2015 <i>SCI TOTAL ENVIRON</i>	Martínez-Vargas S.	Ecotoxicología	99	9.00
RODRÍGUEZ MA, 2007 <i>PESC REC IEEE ANNU POWER ELECTRON SPEC CONF</i>	Rodríguez-Santiago M.A.	Electrónica	98	5.16
MACEDO-VALENCIA J, 2016 <i>INT J HYDROGEN ENERGY</i>	Sierra J.M. Figueroa-Ramírez S.J. Díaz S.E. Meza M.	Modelaciones en energía	91	9.10
MARTINEZ-VARGAS S, 2018 <i>J MOL STRUCT</i>	Martínez-Vargas S. Patiño-Carachure C.	Absorción de contaminantes	80	10.00
PASCUAL C, 2006 <i>AQUACULTURE</i>	Gelabert R.	Acuicultura	79	3.95

La tasa de incremento anual en la producción científica de la UNACAR muestra un crecimiento sostenido que es superior a la media reportada para México por Villaseñor et al. [2017] y por Quiroga-Garza et al. [2022]. Sin embargo, el número de productos científicos está muy por debajo de otras universidades como la Autónoma de Querétaro según datos recabados por Oviedo-Pérez & Bravo-Vinaja [2022] en la Web of Science [WoS]. Por supuesto, al estar estrechamente relacionada la producción científica con el número de doctores y miembros del SNII, las universidades más grandes probablemente tengan una mayor producción de documentos como sería en el caso de la Universidad Autónoma de Querétaro. Por otra parte, es necesario aclarar que en Scopus puede haber menos representación de ciertas áreas del conocimiento con respecto a la WoS, e incluso estos dos repositorios no contemplan algunas revistas incipientes de alcance regional o local.

Box 4

Table 2

Investigadores con la mayor producción científica en la UNACAR de acuerdo al índice H que mide la reputación de autor en relación al número de publicaciones y las citas. Se incluye el año en que comenzaron a publicar dentro de la UNACAR.

Autor	Índice H	TC	NP	Año inicio
ABATAL M.	14	561	62	2012
CERÓN-BRETÓN J.G.	12	459	42	2007
CERÓN-BRETÓN R.M.	11	357	35	2007
AGUILAR-UCAN C.	10	565	29	2010
CUEVAS E.	10	638	22	2018
MONTALVO-ROMERO C.	10	517	19	2010
FLORES-GIL A.	8	156	28	2004
URIBE-MARTÍNEZ A.	8	316	15	2018
ANGUEBES F.	7	266	27	2006
GELABERT R.	7	213	15	2004
RODRÍGUEZ-SANTIAGO M.A.	7	194	19	2016
RUZ-HERNANDEZ J.A.	7	178	48	2005
SANCHEZ E.N.	7	167	42	2005
SIERRA J.M.	7	248	11	2013
ALAZKI H.	6	97	20	2013

Box 6

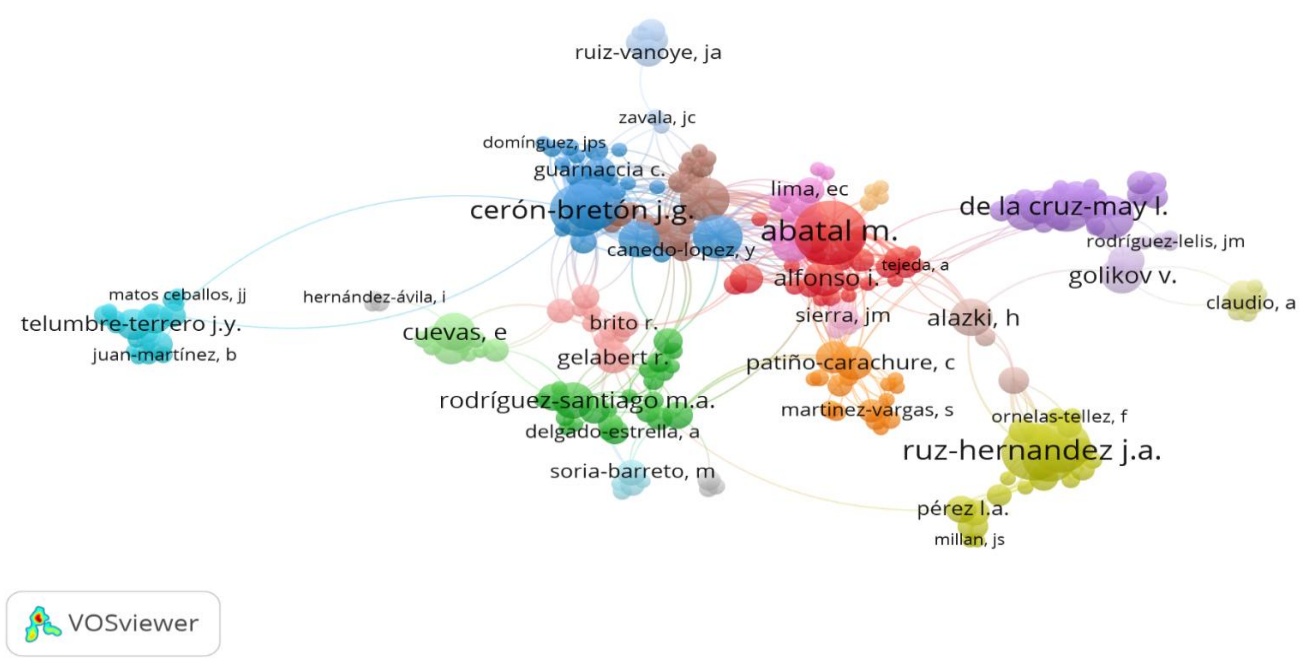


Figura 4
Visualización de las redes de coautoría de la UNACAR durante el periodo 2001-2021 según información recabada de Scopus.
Fuente: Elaboración propia

Estas colaboraciones entre investigadores se reflejan en el patrón de vínculos entre facultades e instituciones externas. En la figura 5 es evidente que el mayor nivel de colaboración ocurre entre las facultades de Ingeniería, Ciencias Químicas y Ciencias de la Salud con una colaboración más débil de la Facultad de Ciencias Naturales.

La producción científica en colaboración con instituciones externas es menos común, pero aun así han contribuido más de 100 instituciones nacionales y han colaborado 48 países de todos los continentes entre los que destacan Estados Unidos, España, Italia y Brasil [Figura 6]. La coautoría internacional aparece en el 5.5% de los documentos producidos desde 2001; este porcentaje sigue siendo bajo en comparación con estándares globales, donde las colaboraciones internacionales superan el 20% en muchas áreas científicas [Wagner et al., 2017]. Este resultado indica que la UNACAR tiene un área de oportunidad importante en su estrategia de internacionalización para fortalecer la colaboración con otras instituciones lo que le facilitará una mayor producción científica y, por tanto, una mayor visibilidad.

Box 7

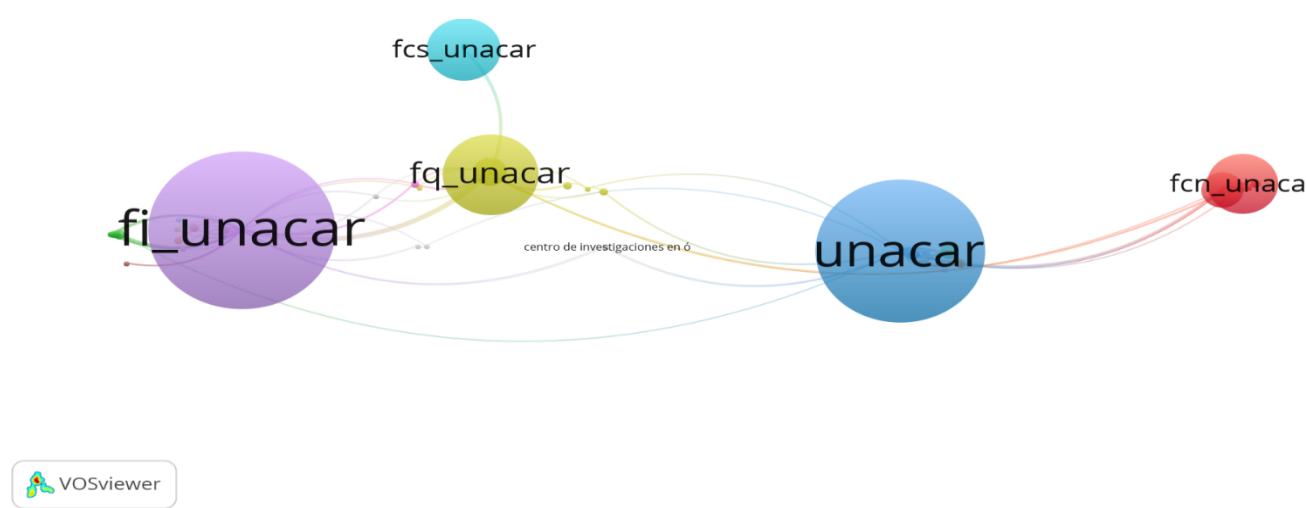


Figura 5
Visualización de las redes de colaboración institucional dentro y fuera de la UNACAR durante el periodo 2001-2021 según información recabada de Scopus. Acrónimos: fi = Facultad de Ingeniería, fcs = Facultad de Ciencias de la Salud, fq = Facultad de Química, fcn = Facultad de Ciencias Naturales.
Fuente: Elaboración propia

Box 8



Figura 6
Países con los que la UNACAR ha tenido vínculos de producción científica durante el periodo 2001-2024, según información recabada de Scopus. El grosor de las líneas indica el número relativo de documentos generados. El mapa de visualización se elaboró a través de la aplicación Biblioshiny.
Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Aunque este estudio presenta la limitación de realizar una evaluación sobre la producción científica de la Universidad Autónoma del Carmen basándose en el uso de un solo repositorio [Scopus], sus resultados muestran elementos relevantes que hasta ahora no se habían abordado en la literatura. Estos elementos se resumen en cinco aspectos fundamentales: 1] La UNACAR ha mostrado un crecimiento sostenido en su producción científica desde 2001, alcanzando su punto más alto en 2022; 2] La productividad está fuertemente asociada al fortalecimiento del cuerpo académico, particularmente a la presencia de doctores y miembros del SNII; 3] La producción está mayoritariamente concentrada en áreas de ciencias naturales, ingeniería y ciencias de la salud, con poca representación de ciencias sociales y humanidades; 4] La colaboración entre autores dentro de la institución es sólida, pero la colaboración internacional, aunque existente, todavía es limitada; y 5] La mayor parte de la producción se publica en inglés, siguiendo las tendencias internacionales de difusión científica.

En la UNACAR existen áreas de oportunidad para la integración interdisciplinar en la generación del conocimiento y en el incremento de la productividad científica. Por tanto, algunas recomendaciones son: incentivar la producción científica en áreas de ciencias sociales y humanidades mediante apoyos específicos y programas de investigación integradora; establecer programas de movilidad académica, redes de investigación transnacionales y proyectos conjuntos para aumentar el porcentaje de publicaciones en coautoría internacional; apoyar con recursos y facilidades administrativas a los núcleos de alta productividad para que actúen como “locomotoras” del desarrollo científico institucional; promover la publicación en revistas de alto impacto y el uso de estrategias de ciencia abierta para aumentar el acceso y la citación de los trabajos producidos. Finalmente es de suma necesidad la implementación de un mecanismo estandarizado de seguimiento bibliométrico anual para retroalimentar las políticas de investigación y la toma de decisiones estratégicas. Estas acciones no solo contribuirán a incrementar la productividad científica de la UNACAR, sino también a posicionarla como un referente académico en el sureste mexicano y a nivel nacional, en un entorno global que se muestra cada vez más competitivo.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Ocaña, Frank A.: Contribuyó a la idea del proyecto, el análisis formal de los datos y la redacción y revisión del documento.

Núñez-Lara, Enrique: Contribuyó a la idea del proyecto y a la redacción y revisión del documento.

Huesca-Zambrano, Natalia: Contribuyó a la curación de la base de datos y la revisión del manuscrito final.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos usados para esta investigación están disponibles sobre demanda al primer autor vía correo electrónico.

Financiación

Esta investigación no recibió algún tipo de financiación.

Abreviaturas

IES	Instituciones de Educación Superior
PRODEP	Programa para el Desarrollo Profesional Docente
SECIHTI	Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación
SNII	Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores
UNACAR	Universidad Autónoma del Carmen
VIH	Virus de Inmunodeficiencia Humana
WoS	Web of Science

Referencias

Antecedentes

Acosta-Ramírez, D. S., Ordaz-Cortes, A., & Baquero-Parra, R. [2015]. [Análisis del desarrollo científico en la península de Yucatán: el punto de vista de los investigadores](#). *International Journal of Educational Research and Innovation*, 2[4], 111–122.

Luna-Jiménez, A. L., Reyes-Cornelio, R., & Jiménez-Vera, Y. [2017]. [Gestión Del Conocimiento En Universidades Públicas Mexicanas](#). *European Scientific Journal, ESJ*, 13[1], 54.

Rodríguez-Miramontes, J., González Brambila, C. N., & Maqueda Rodríguez, G. [2017]. [El sistema nacional de investigadores en México: 20 años de producción científica en las instituciones de educación superior \[1991-2011\]](#). *Investigación Bibliotecológica*, 2017[Special Issue], 187–219.

Básicos

Aria, M., & Cuccurullo, C. [2017]. [bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis](#). *Journal of Informetrics*, 11[4], 959–975. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Broadus, R. N. [1987]. [Toward a definition of “bibliometrics”](#). *Scientometrics*, 12[5], 373–379.

Hirsch, J. E. [2005]. [An index to quantify an individual’s scientific research output](#). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102[46], 16569–16572.

Moed, H. F. [2005]. [Citation Analysis in Research Evaluation](#). Springer

Van Eck, N. J., & Waltman, L. [2010]. [Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping](#). *Scientometrics*, 84[2], 523–538.

SopORTE

De Jesús-Navarrete, A., Gómez-Morales, J. S., Zacarías-de-León, G., & Jacobson, B. [2023]. [Productividad científica y visibilidad de El Colegio de la Frontera Sur: 26 años de investigación multidisciplinaria en México](#). *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 37[95], 13–33.

Diferencias

Oviedo-Pérez, R. J., & Bravo-Vinaja, Á. [2022]. [La producción científica de la Universidad Autónoma de Querétaro indizada en WoS, 2010-2020](#). *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 36[93], 195–215.

Quiroga-Garza, A., Garza-Cisneros, A. N., Elizondo-Omana, R. E., Vilchez-Cavazos, J. F., Montes-de-Oca-Luna, R., Villarreal-Silva, E., Guzman-Lopez, S., & Gonzalez-Gonzalez, J. G. [2022]. [Research barriers in the Global South: Mexico](#). *Journal of Global Health*, 12, 03032.

Villaseñor, E. A., Arencibia-Jorge, R., & Carrillo-Calvet, H. [2017]. [Multiparametric characterization of scientometric performance profiles assisted by neural networks: a study of Mexican higher education institutions](#). *Scientometrics*, 110[1], 77–104.

Wagner, C. S., Whetsell, T. A., & Leydesdorff, L. [2017]. [Growth of international collaboration in science: revisiting six specialties](#). *Scientometrics*, 110[3], 1633–1652.

Discusiones

Cruz, E. S. [2021]. [Mexican Higher Education and the Production of Knowledge](#). *Journal of Higher Education Policy and Leadership Studies*, 2[2], 6–19.

Propiedades higroscópicas de betabel [Beta vulgaris] en polvo

Hygroscopic properties of beetroot [Beta vulgaris] powder

Rangel-Marrón, Marcela * ^a, Cerón-Bretón, Rosa María ^b, Cerón-Bretón, Julia Griselda ^c y Lara-Severino, Reyna del Carmen ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen •  GLT-5185-2022 •  0000-0001-8102-7966 •  226536
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen •  LFV-4405-2024 •  0000-0001-8647-022X •  30106
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen •  AGP-0379-2022 •  0000-0003-1551-7988 •  122903
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen •  AIB-1448-2022 •  0000-0001-6173-0187 •  357254

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.12.22>

Área: Ingeniería
Campo: Ciencias tecnológicas
Disciplina: Tecnología de alimentos
Subdisciplina: Conservación de alimentos

Key Handbooks

El betabel en la alimentación juega un papel importante para su consumo, es rico en antioxidantes, magnesio, ácido fólico, hierro y calcio, los cuáles se encuentran naturalmente disponibles. La forma de consumo de betabel es crudo, licuado, ensalada y cocido, siendo este último tener un efecto adverso a las propiedades benéficas que posee. Los productos deshidratados tienen la ventaja de mantenerse por largos periodos de tiempo sin cambiar los compuestos bioactivos presentes del alimento. La investigación ofrece un producto deshidratado en polvo que es estable y listo para ser consumido. Al mismo tiempo, logra extender el tiempo de permanencia de la hortaliza en el mercado por lo que facilita su aprovechamiento durante la postcosecha. Este trabajo evalúa la estabilidad del polvo de betabel mediante las isotermas de sorción a tres temperaturas de almacenamiento, así como también, el calor isostérico para conocer el mecanismo de sorción de agua. El estudio de las propiedades higroscópicas de betabel en polvo revela información del comportamiento fisicoquímico y termodinámico de un alimento deshidratado ante el proceso de ganancia o pérdida del contenido de humedad a diferentes temperaturas y humedades relativas durante su almacenaje, sugiere la temperatura y humedad máxima para su manejo. Las autoras del capítulo son profesoras-investigadoras de la Universidad Autónoma del Carmen institución pública del Estado de Campeche, integrantes del cuerpo académico consolidado de Ingeniería Química Aplicada, cada autora cuenta con el perfil deseable PRODEP y pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores [SNI]. Las autoras han generado al menos 10 citas en los últimos dos años. Las palabras clave más empleadas son: isotermas de sorción, betabel y propiedades higroscópicas.

Área: Fortalecimiento de la comunidad científica

Citación: Rangel-Marrón, Marcela, Cerón-Bretón, Rosa María, Cerón-Bretón, Julia Griselda y Lara-Severino, Reyna del Carmen. 2025. Propiedades higroscópicas de betabel [Beta vulgaris] en polvo. 11-22. ECORFAN.

* ✉ [\[mrangel@pampano.unacar.mx\]](mailto:mrangel@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>



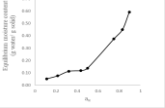
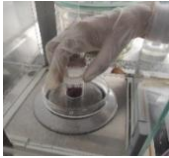
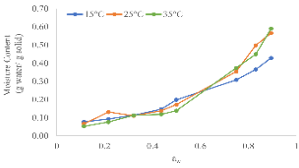
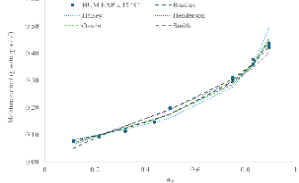
ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

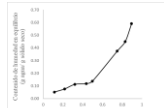
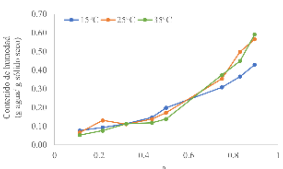
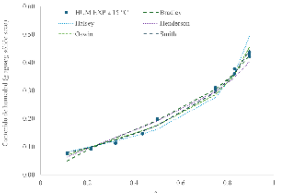
The stability of dehydrated beetroot powder at 50 °C was evaluated by sorption isotherms at 15, 25, and 35 °C using supersaturated saline solutions in the a_w range [0.11 – 0.90] using the isopiestic gravimetric method. Type II sorption isotherms characteristic of sugar-rich foods were obtained. The Bradley, G.A.B, Halsey, Henderson, Oswin, and Smith models described the moisture content based on the correlation coefficient $[R^2] > 0.95$ and the root mean square error percentage [%RMS < 10%]. The isosteric heat $[Q_s]$ was determined by using the Clausius-Clapeyron equation. The monolayer moisture values of 2.915, 4.814, and 2.556 g water/g dry solid for 15, 25, and 35 °C obtained by the G.A.B model demonstrated that the temperature of 35 °C is adequate to maintain the shelf life of beetroot powder.

Hygroscopic properties of beetroot (Beta vulgaris) powder		
Objectives	Methodology	Contribution
1 Determined at 15, 25, and 35°C   2 Predict the moisture content by models: Bradley, G.A.B, Halsey, Henderson, Oswin, and Smith 3 Get Q_s	Dehydration 1  Cost-90 2  3  4  a_w Storage	  Shelf life of beetroot

Sorption isotherms, beetroot, Hygroscopic properties

Resumen

Se evaluó la estabilidad de betabel en polvo deshidratado a 50 °C mediante isotermas de sorción a 15, 25 y 35 °C utilizando soluciones salinas sobresaturadas en el intervalo de a_w [0.11 – 0.90] mediante el método gravimétrico isopiéstico. Se obtuvieron isotermas de sorción tipo II características de alimentos ricos en azúcares. Los modelos de Bradley, G.A.B, Halsey, Henderson, Oswin y Smith, describieron el contenido de humedad en función del coeficiente de correlación $[R^2] > 0.95$ y el porcentaje de la raíz media cuadrática del error [%RMS < 10%]. Además, se utilizó la ecuación de Clausius-Clapeyron para determinar el calor isostérico $[Q_s]$. Los valores de humedad de la monocapa de 2.915, 4.814 y 2.556 g agua/g sólido seco para 15, 25 y 35 °C obtenidos por el modelo de G.A.B demostraron que la temperatura de 35 °C es adecuada para mantener la vida de anaquel de betabel en polvo.

Propiedades higroscópicas de betabel (Beta vulgaris) en polvo		
Objetivo	Metodología	Contribución
1 Determinar a: 15, 25 y 35°C   2 Predecir Contenido de humedad por los modelos de: Bradley, G.A.B, Halsey, Henderson, Oswin y Smith 3 Obtener Q_s	Deshidratación 1  Cost-90 2  3  4  a_w Almacenamiento	  Vida de anaquel de betabel

Isotermas de sorción, betabel, propiedades higroscópicas

Introducción

El betabel [*Beta vulgaris*] es una hortaliza de raíz que se consume ampliamente en México por su sabor dulce, y principalmente por poseer compuestos antioxidantes y antiinflamatorios como la betacianina [pigmento rojo] que contribuye a la prevención del cáncer. Además, el betabel o remolacha imparte beneficios a la salud como: fibra dietética [beneficia en la digestión y colesterol en la sangre], es fuente de vitamina C y B6, minerales [folato, hierro, magnesio y potasio]. [AGRICULTURA, 2023]. Las frutas y hortalizas se caracterizan por ser perecederas, además de sufrir pérdidas durante la etapa de postcosecha, debido a que las condiciones climáticas favorecen el proceso de maduración y conllevan al deterioro prematuro de muchas variedades de frutas. Pero no solo las condiciones climáticas difíciles es la única causa de las pérdidas y desperdicios de alimentos, también suma la infraestructura, producción, empaquetado y comercialización [FAO, 2025]. Por otra parte, el elevado contenido de humedad presente en ellas contribuye en gran medida a disminuir el periodo de conservación, la capacidad de procesamiento y la calidad del producto.

Actualmente, la conservación de alimentos se ha convertido en una práctica habitual con fines económicos. Para lograrlo, se emplean diversos métodos y técnicas que permiten aprovechar los excedentes de producción, transformarlos, preservarlos y disponer de ellos en periodos de escasez con el desafío constante de mantener su valor nutricional, calidad sensorial, garantizar su inocuidad y estabilidad. En este sentido, la deshidratación de alimentos evita el desarrollo de microorganismos, puesto que elimina el contenido de humedad [CH] presente, este parámetro es importante controlarlo para predecir la estabilidad de un alimento. La calidad de este dependerá de la migración de humedad, el grado de sorción o desorción del agua dependiendo de la presión de vapor de agua presente en la muestra y su entorno [Flores- Andrade et al., 2015, Basu et al., 2006].

Las isotermas de adsorción representan la relación entre la actividad de agua [a_w] y el contenido de humedad en equilibrio de un producto a temperatura y presión constante [Labuza et al., 1985]. El efecto de la temperatura es importante, puesto que los alimentos se exponen a diversas temperaturas durante su almacenamiento y procesamiento, afectando la a_w . En este sentido las isotermas permiten predecir los posibles cambios en la estabilidad de los alimentos durante su almacenamiento, seleccionar materiales de empaque y optimizar el proceso de deshidratación [Caballero-Cerón et al., 2015; Al-Muhtaseb et al., 2002; Basu et al., 2006]. Existen diferentes modelos matemáticos que describen las isotermas de sorción de alimentos, el que más se utiliza para determinar el contenido de humedad a nivel de la monocapa es el modelo de Guggenheim-Anderson-deBoer [G.A.B] y ha sido recomendado para varios productos agrícolas [Zhang et al., 2022; Al-Muhtaseb et al., 2002]. El objetivo de la presente investigación fue determinar las isotermas de sorción de betabel en polvo a 15, 25 y 35°C, predecir el contenido de humedad por medio de los modelos matemáticos de sorción de B.E.T, Bradley, G.A.B, Halsey, Henderson, Oswin y Smith y calcular el calor isostérico de sorción [Q_s] de betabel en polvo.

Metodología

Preparación de la muestra

Se utilizó betabel [*Beta Vulgaris* L.], adquirido en un mercado local de Ciudad del Carmen, Campeche. Se seleccionó la raíz del mismo tamaño, coloración roja y sin defectos. Se lavó y se desinfectó en una solución de cloro [50 ppm] durante 2 minutos [NOM 251, 2009]. Posteriormente, se peló y se cortaron en rodajas de 5 mm de espesor. Luego se colocaron las rodajas dentro de un secador [Excalibur, EE.UU] a 50 °C por 24 h. Al terminó del proceso, las rodajas secas se molieron y al polvo se le determinó el CH por un periodo de 24 h a 110°C y se registró el valor de a_w con un equipo Pawkit [EE.UU].

Determinación de las isotermas de sorción

Se adaptó la metodología del proyecto COST 90 [Spiess & Wolf, 1987] para determinar las isotermas de sorción de polvo de Betabel a 15 °C almacenadas en un refrigerador [IEM, México], a 25 °C se utilizó un horno [LabLine, EE. UU] y una estufa Lindberg/Blue [Asheville NC, EE. UU] para 35 °C. El procedimiento consiste en depositar 1g de muestra en pesafiltros por triplicado, los cuales serán almacenados en celdas de sorción a humedad relativa constante. Cada celda contiene soluciones salinas sobresaturadas de LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg[NO₃]₂, NaCl, KCl, BaCl₂ de actividad de agua conocida [Tabla 1]. El registro de la ganancia o pérdida de humedad se realizó cada tercer día hasta alcanzar una masa constante de [± 0.0001 g].

Box 1

Tabla 1

Soluciones salinas sobresaturadas

Reactivo	15 °C	25 °C	35 °C
LiCl	0.11	0.11	0.11
CH ₃ COOK	0.23	0.23	0.22
MgCl ₂	0.32	0.32	0.32
K ₂ CO ₃	0.43	0.43	0.43
NaCl	0.74	0.74	0.74
KCl	0.85	0.85	0.83
BaCl ₂	0.91	0.91	0.89

Fuente: Elaboración propia

Modelos matemáticos y análisis estadístico

Se emplearon los modelos matemáticos de Brunauer-Emmett-Teller [B.E.T], Guggenheim-Anderson-deBoer [G.A.B], Bradley, Halsey, Henderson, Oswin y Smith para realizar el cálculo de la estabilidad teórica ecuaciones [1-7]. Para resolver el modelo de G.A.B se utilizó regresión no lineal por medio de la función SOLVER de Excel.

B.E.T.

$$X_{(aw)} = \frac{X_{mb} C_b a_w}{[(1-a_w)(1+(C_b-1)a_w)]}$$

[1]

G.A.B

$$X_{(aw)} = \frac{X_{mg} C_g K a_w}{[(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)]}$$

[2]

Bradley

$$X_{[aw]} = a + b \ln(-\ln a_w)$$

[3]

Halsey

$$X_{[aw]} = \exp[a + b \ln(-\ln a_w)]$$

[4]

Henderson

$$X_{[aw]} = \exp[a + b \ln(-\ln(1-a_w))]$$

[5]

Oswin

$$X_{[aw]} = \exp(a + b \ln[a_w/(1-a_w)])$$

[6]

Smith

$$X_{[aw]} = a + b \ln(1-a_w)$$

[7]

En donde: X[a_w]=Humedad en equilibrio en base seca [g agua/g de solido seco]; a_w=Actividad de agua; X[m_b]=Humedad de la monocapa en base seca [B.E.T, g agua/g sólido seco]; C_b=Constante relacionada con el calor de porción [B.E.T]; X[m_g]=Humedad de la monocapa en base seca [G.A.B, g agua/g sólido seco]; C_g=Constante de Guggenheim; K=Constante de correlación de las propiedades de la multicapa con respecto al líquido [G.A.B]; a=Constante de los modelos de sorción de Bradley, Halsey, Henderson, Oswin y Smith; b=Constante de los modelos de sorción de Bradley, Halsey, Henderson, Oswin y Smith C=Constante característica del producto de los modelos de B.E.T y G.A.B.

Se eligió el modelo que mejor predijera el contenido de humedad tomando como parámetros el coeficiente de correlación [R²>90] y la raíz media cuadrática del error inferior del 10% [RMS <10%] ecuación 8

$$\%RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{W_e - W_p}{W_e} \right]^2}{N}} \times 100\%$$

[8]

Donde W_e es el contenido de humedad experimental en equilibrio [g agua/ g sólido seco], W_p es el contenido de humedad teórico [g agua/ g sólido seco]; N es el número de puntos experimentales: i es el número de secuencia.

Calor isostérico de sorción

Para determinar la energía requerida durante el proceso de desorción, se calculó el calor isostérico [Q_s] aplicando la ecuación de Clausius-Clapeyron [ecuación 9]. Se relacionó el ln [a_w] vs [1/T] a través de la pendiente generada.

$$\frac{\partial \ln a_w}{\partial \left(\frac{1}{T}\right)} = - \frac{Q_s}{R}$$

[9]

Donde: a_w es la actividad de agua, T es la temperatura en $^{\circ}\text{K}$, R es la constante universal de los gases $1.98717 \text{ cal/mol}^{\circ}\text{K}$, Q_s es el calor isotérico cal/mol .

Resultados

Isotermas de sorción

El polvo de betabel al término del proceso de deshidratación alcanzó un contenido de humedad de 0.109 g agua/ gramos de sólido seco. En la Figura 1 representa el contenido de humedad en equilibrio de betabel en polvo. La isotermas obtenidas corresponden a isotermas de tipo II, que poseen una adsorción física en multicapas, este tipo de isotermas se caracterizan por exhibir una tendencia asintótica conforme aumenta el valor de actividad de agua, la cuál es común en los productos alimenticios de acuerdo con la clasificación de Branauer et al. [1940a]. Así como también presentan Los resultados dejaron en evidencia que, el efecto de la temperatura es importante, puesto que al exponer el betabel en polvo a diversas temperaturas durante su almacenamiento se ve afectada la a_w y el contenido de humedad en equilibrio. Se observó que, el contenido de humedad incrementa conforme aumenta la temperatura cuando las muestras de betabel en polvo son almacenadas en una atmósfera de a_w superior a 0.60, alcanzando 0.591 g agua/g sólido seco a 35°C y va disminuyendo a 0.566 y 0.429 g agua/g sólido seco a 25 y 15°C , respectivamente. Sugiriendo que las interacciones de los componentes con el agua se ven disminuidos con la superficie de adsorción debido a la temperatura. Este tipo de comportamiento es observado en alimentos con alto contenido de azúcares como son las frutas, puesto existe una mayor solubilidad de los azúcares generados por el incremento de la temperatura de almacenamiento [Ramírez-Miranda et al., 2014; Labuza et al., 1985]. Por otra parte los resultaron mostraron que, en el intervalo de a_w 0.11 – 0.49, el comportamiento del contenido de humedad en equilibrio es inverso, la disminución de la temperatura afecta el parámetro de interés. Este comportamiento se puede atribuir, a que las moléculas de agua se encuentran unidas débilmente, es decir que, se observa la transición a agua ligada a agua libre y posteriormente el agua se comporta como agua libre la cuál puede unirse a los espacios disponibles generados durante el proceso de deshidratación [Basu et al., 2006]

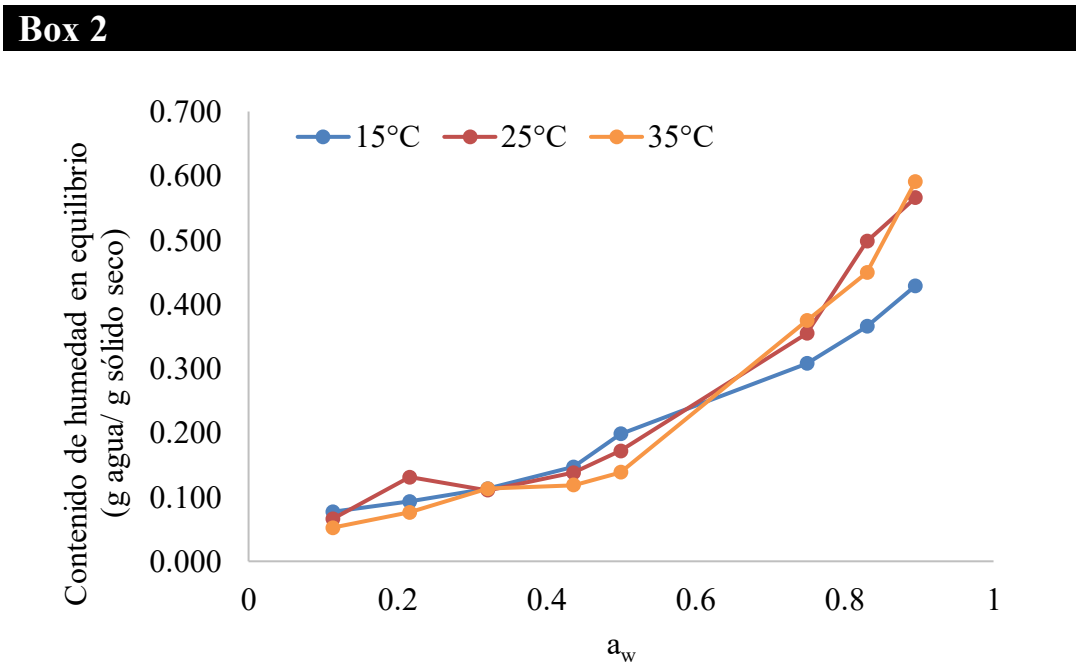


Figura 1
Isotermas de sorción de betabel en polvo a 15, 25 y 35°C
Fuente: Elaboración propia

Modelos matemáticos para predecir el contenido de humedad

En la figura 2 se representa el contenido de humedad predicha de betabel en polvo a 15 ,25 y 35°C figura 2A, 2B, y 2C, respectivamente para los modelos de Bradley, Halsey, Henderson, Oswin y Smith.

Se observa que los modelos de sorción describen el contenido de humedad experimental a las tres temperaturas estudiadas en todo el intervalo de a_w [0.1 -1.0] con un valor de R^2 superior del 90% y un %RMS inferior del 10% como se observa en las Tablas 2, 3 y 4 para 15, 25 y 35 °C respectivamente. Por lo que queda en evidencia que la aplicación de los modelos es pertinente para este tipo de alimento. El modelo de B.E.T no describió el comportamiento del contenido de humedad experimental puesto que excede el 10% de RMS. El modelo de G.A.B predice el contenido de humedad experimental en el intervalo de a_w estudiado [Figura 3a, 3b y 3c] obteniéndose coeficientes de correlación superiores. Al mismo tiempo, el modelo de G.A.B obtuvo un R^2 superior al 94% y un %RMS inferior del 5% para las tres temperaturas del almacenamiento [Tabla 2, 3 y 4], lo que indica que esta ecuación es adecuada en la predicción de isothermas de adsorción de betabel en polvo. Los valores de humedad de monocapa obtenidos por el modelo de G.A.B fueron: 2.915, 4.814 y 2.56 g agua/g sólido seco para 15, 25 y 35 °C, respectivamente [Tablas 2, 3 y 4]. Observándose que, a la temperatura de 35 °C la adsorción de agua en la monocapa es menor.

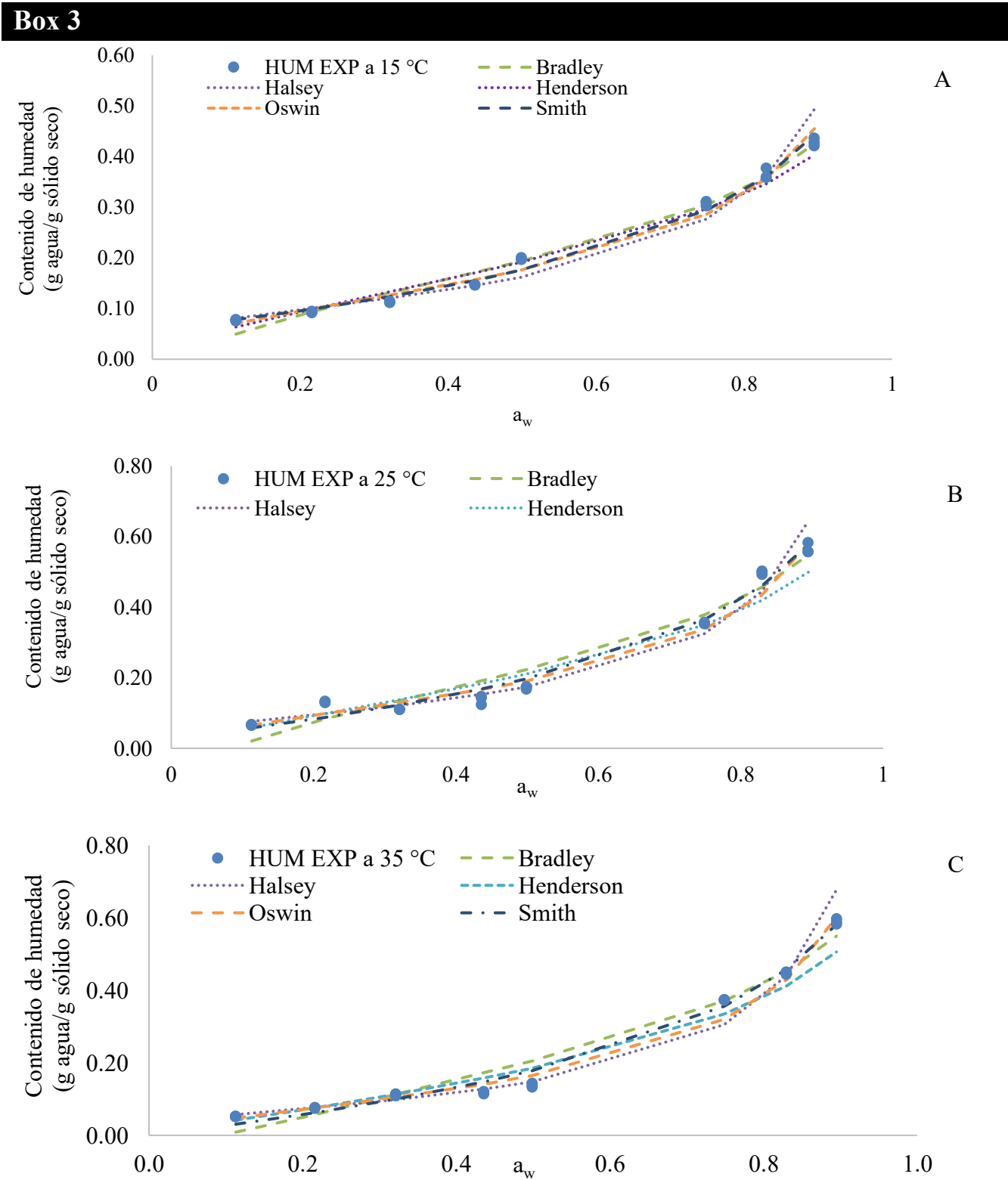


Figura 2
Predicción del contenido de humedad de betabel en polvo a 15 , 25 y 35 °C

Fuente: Elaboración propia

Box 4

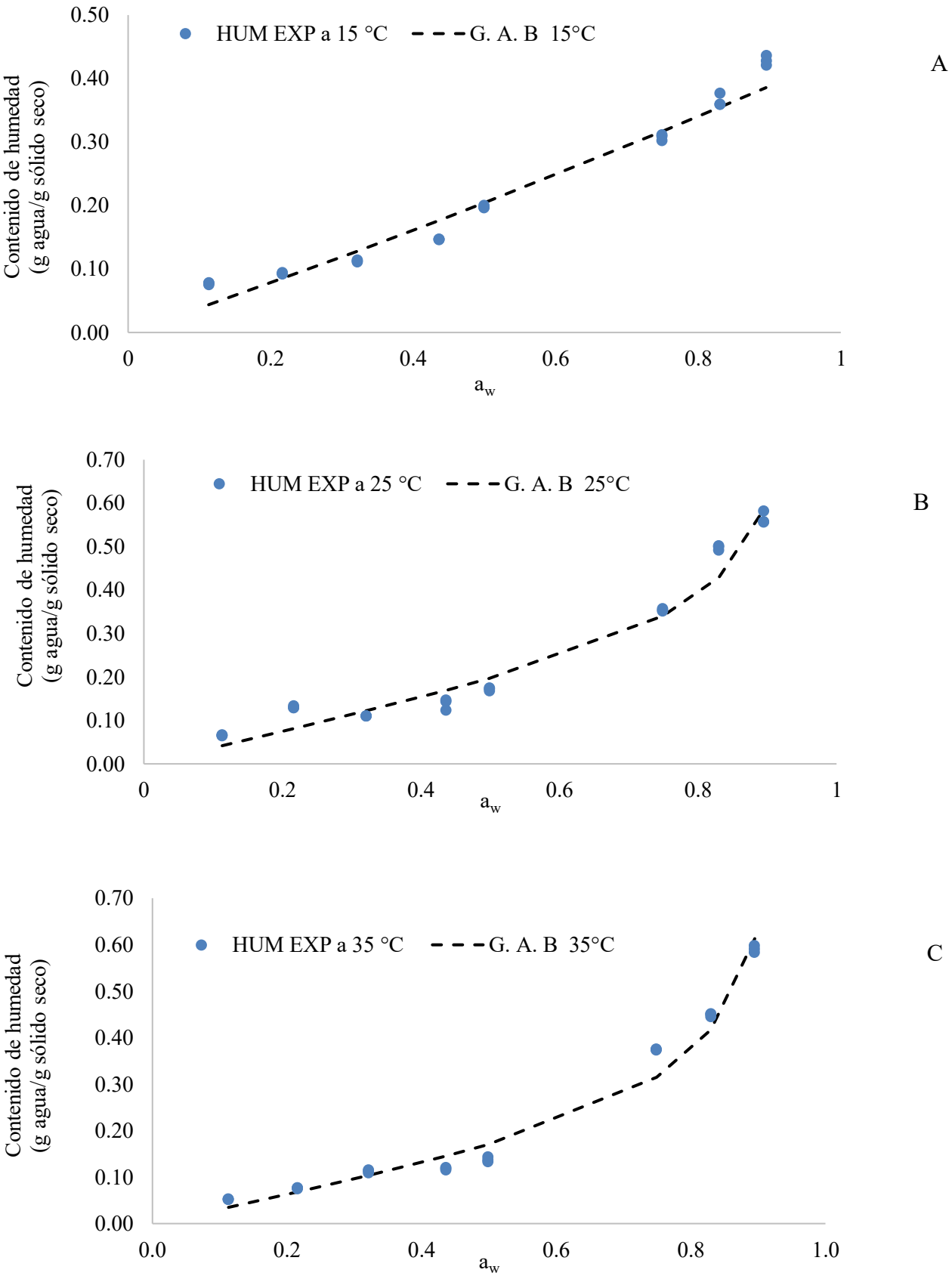


Figura 3
Predicción del contenido de humedad de betabel en polvo a 15, 25 y 35 °C por el modelo de G.A.B
Fuente: Elaboración propia

Box 5

Tabla 2

Valores de criterios de predicción de betabel en polvo a 15 °C

	Bradley	Halsey	Henderson	Oswin	Smith	G.A.B
A	0.147	-2.039	-1.419	-1.736	0.057	-
B	-0.126	-0.606	0.629	0.443	-0.170	-
R ²	0.984	0.971	0.966	0.981	0.989	0.994
% RMS	3.106	2.059	2.308	1.685	1.347	3.727
K	-	-	-	-	-	0.106
C1	-	-	-	-	-	1.229
Mo	-	-	-	-	-	2.915

Fuente: Elaboración propia

Box 6

Tabla 3

Valores de criterios de predicción de betabel en polvo a 25 °C

	Bradley	Halsey	Henderson	Oswin	Smith	G.A.B
A	0.158	-2.012	-1.287	-1.654	0.029	-
B	-0.176	-0.714	0.729	0.518	-0.243	-
R ²	0.948	0.959	0.922	0.954	0.978	0.962
% RMS	6.954	2.867	4.294	3.089	3.421	4.566
K	-	-	-	-	-	1.020
C1	-	-	-	-	-	0.074
Mo	-	-	-	-	-	4.814

Fuente: Elaboración propia

Box 7

Tabla 4

Valores de criterios de predicción de betabel en polvo a 35 °C

	Bradley	Halsey	Henderson	Oswin	Smith	G.A.B
A	0.137	-2.215	-1.372	-1.800	-0.0002	-
B	-0.187	-0.830	0.850	0.602	-0.257	-
R ²	0.953	0.982	0.951	0.980	0.986	0.975
% RMS	7.945	2.204	4.017	2.439	4.373	3.749
K	-	-	-	-	-	1.022
C1	-	-	-	-	-	0.116
Mo	-	-	-	-	-	2.556

Fuente: Elaboración propia

Calor isostérico de sorción

Se utilizó la ecuación de Clausius-Clapeyron para determinar el calor isostérico de sorción, se relacionaron los valores del ln [a_w] frente al 1/T en °K para cada contenido de humedad en equilibrio a las tres temperaturas de estudio.

Se observa en la Figura 4 que el valor de Q_s alcanza su valor máximo cuando el contenido de humedad en equilibrio se encuentra alrededor de 0.10 g agua/ g sólido seco, posteriormente disminuye hasta alcanzar un valor de Q_s de 196 cal/mol con un contenido de humedad de 0.53 g agua/g sólido seco, lo resultados sugieren a una rápida absorción de agua proveniente de los azúcares presentes en el betabel, por lo anterior el Q_s disminuye conforme aumenta el contenido de humedad en equilibrio.

Box 8

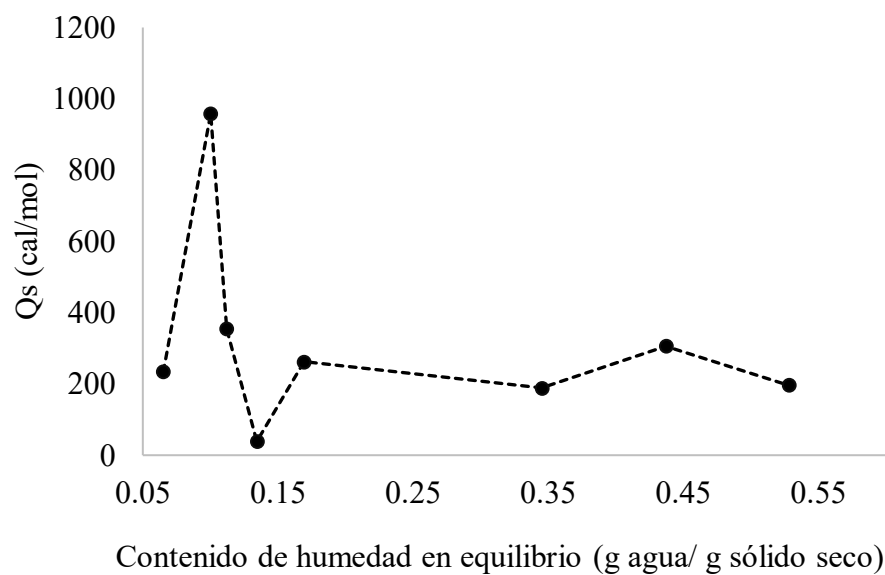


Figura 4
Calor isostérico de sorción de betabel en polvo en función del contenido de humedad en equilibrio [g agua/ g sólido seco]
Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Las isotermas de sorción obtenidas para betabel en polvo a las tres temperaturas de estudio corresponden a Isotermas Tipo II, para alimentos ricos en azúcares. Se observó que la temperatura de almacenamiento tuvo un efecto en el contenido de humedad en equilibrio. El modelo de B.E.T no exhibió un buen ajuste de los datos experimentales. Por otro parte el resto de los modelos matemáticos utilizados para predecir el contenido de humedad, exhibieron un ajuste superior de R^2 del 90% y un %RMS inferior al 10%, en el intervalo de a_w de 0.1 a 0.9, a 15, 25 y 35 °C. El calor isostérico de sorción reveló que, existe una rápida absorción de agua y disminuye conforme aumenta la humedad en equilibrio hasta alcanzar un valor de Q_s de 196 cal/mol. La temperatura optima de almacenamiento a 35 °C resultó ser adecuada para mantener el betabel en polvo sin generar apelmazamiento.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Rangel-Marrón, Marcela: Responsable del proyecto de investigación, desarrollo del experimento, análisis de datos y escritura del trabajo.

Cerón-Bretón, Rosa María: Responsable de la ejecución de los experimentos, análisis de datos.

Cerón-Bretón, Julia Griselda: Responsable del análisis de laboratorio, escritura del trabajo.

Lara-Severino, Reyna del Carmen: Responsable del formato del trabajo.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos están disponibles en el presente documento.

Financiación

La investigación fue financiada por Marcela Rangel Marrón

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Carmen por las facilidades otorgadas

Abreviaturas

a_w	Actividad de agua
B.E.T	Brunauer-Emmett-Teller
CH	Contenido de humedad
G.A.B	Guggenheim-Anderson-deBoer
HUM EXP	Humedad Experimental
Q_s	Calor isostérico de sorción
RMS	Raíz media cuadrática del error

Referencias

Antecedentes

Basu, S., Shivhare, U. S., & Mujumdar, A. S. [2006]. [Models for sorption isotherms for foods: A Review](#). *Drying Technology*, 24[8], 917-930.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [AGRICULTURA]. [2023]. El Betabel: Un tesoro bajo la tierra. [El Betabel: Un tesoro bajo la tierra | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx](#)

Básicos

Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. [2002]. [Moisture sorption isotherm characteristics of food products: A review](#). *Food and Bioprocess Technology*, 80[2], 118-128.

Caballero-Cerón, C., Guerrero-Beltrán, J. A., Mújica-Paz, H., Torres, J. A., & Welte-Chanes, J. [2015]. [Moisture sorption isotherms of foods: Experimental methodology, mathematical analysis, and practical applications](#). En G. F. Gutiérrez-López, L. Alamilla-Beltrán, M. del Pilar Buera, J. Welte-Chanes, E. Parada-Arias, & G. Barbosa-Cánovas [Eds.], *Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems* [pp.187-214].

Flores-Andrade, E., Azuara-Nieto, E., Beristain-Guevara, C. I., Monroy-Villagrana, A., Téllez-Medina, D. I., Pascual-Pineda, L. A., Alamilla-Beltrán, L., & Gutiérrez-López, G. F. [2015]. [Food Preservation by Nanostructures-Water Interactions Control](#). En G. F. Gutiérrez-López, L. Alamilla-Beltrán, M. del Pilar Buera, J. Welte-Chanes, E. Parada-Arias, & G. Barbosa-Cánovas [Eds.], *Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems* [pp. 15–25].

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. [2025] [Technical platform on the measurement and reduction of food loss and waste](#).

Zhang, L., Grace, P. M., & Sun, D. W. [2022]. [A new theoretical model for moisture sorption isotherms and its application in deriving a hygroscopicity index for food products](#). *Journal of Food Engineering*, 315[3], 110817.

Soporte

Labuza, T. P., Kaanane, A., & Chen, J. Y. [1985]. [Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods](#). *Journal of Food Science*, 50[2], 385-392.

NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, [Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios](#)

Spiess, W.L y Wolf, W. [1987]. [Critical Evaluation of Methods to Determine Moisture Sorption Isotherms](#), En Rockland, L.B & Beuchat, L.R [Eds], *Water Activity; Theory and Applications to Food* [pp 19] Marcel Dekker, New York

Discusiones

Brunauer, S.; Deming, L.S., & Teller, E. [1940a] [On a theory of Van der Waals adsorption of gases](#). *Journal of the American Chemical Society*, 62[7], 1723-1732.

Ramírez-Miranda, M., Cruz y Victoria, M.T., Vizcarra-Mendoza, M.G., & Anaya-Sosa, I. [2014]. [Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada](#). *Revista mexicana de ingeniería química*, 13[1], 165-178.

Caracterización química y microbiológica de jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche

Chemical and microbiological characterization of water hyacinth [*Eichhornia crassipes*] present in jagüeyes of Progress New, Campeche

Ramírez-Elías, Miguel Ángel * ^a, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra ^b, Córdova-Quiroz, Atl Víctor ^c y Abatal, Mohamed ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen •  NFS-2449-2025 •  0000-0002-3962-1117, •  226557
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen •  AAU-7723-2021 •  0000-0002-1733-2867 •  93717
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen •  IZE-7494-2023 •  0000-0003-1854-288X •  122022
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen •  G-6047-2018 •  0000-0003-2479-8769 •  203026

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.23.33>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería química
Subdisciplina: Contaminación ambiental

Key Handbooks

Con los resultados obtenidos en esta investigación, el principal aporte a la ciencia del jacinto de agua es su uso como fuente de carbono, dado los porcentajes obtenidos de Carbón Orgánico y Materia orgánica presentes en sus hojas y sus raíces. Con ello, se confirmó el alto contenido orgánico en la estructura y composición de *E. crassipes*, lo cual sugiere también que aceptamos la primera hipótesis planteada. Por otro lado, cabe señalar que los autores, somos profesores investigadores de la Universidad Autónoma del Carmen; contamos con SNII y perfil PRODEP.

Área: Difusión y acceso universal a la ciencia

Citación: Ramírez-Elías, Miguel Ángel, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra, Córdova-Quiroz, Atl Víctor y Abatal, Mohamed. 2025. Caracterización química y microbiológica de jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche. 23-33. ECORFAN.

* ✉ [\[mr Ramirez.unacar@gmail.com\]](mailto:mr Ramirez.unacar@gmail.com)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>



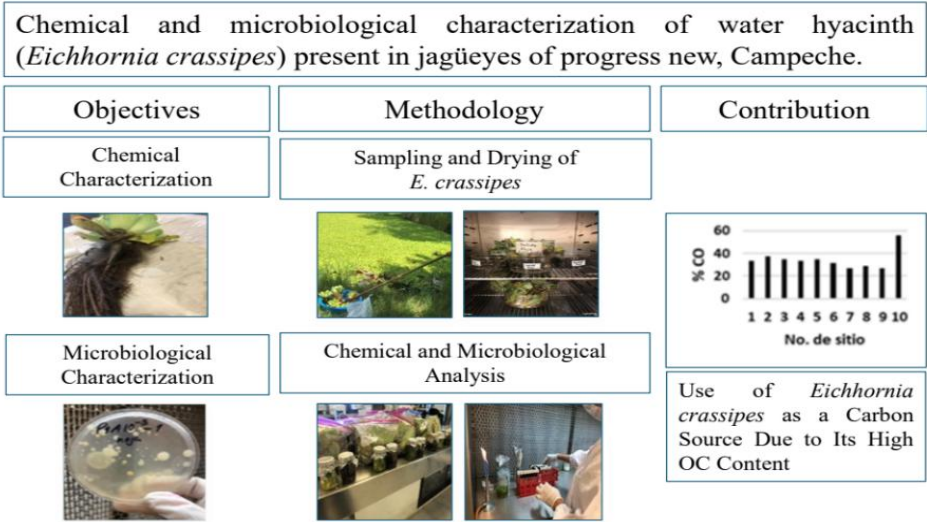
ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

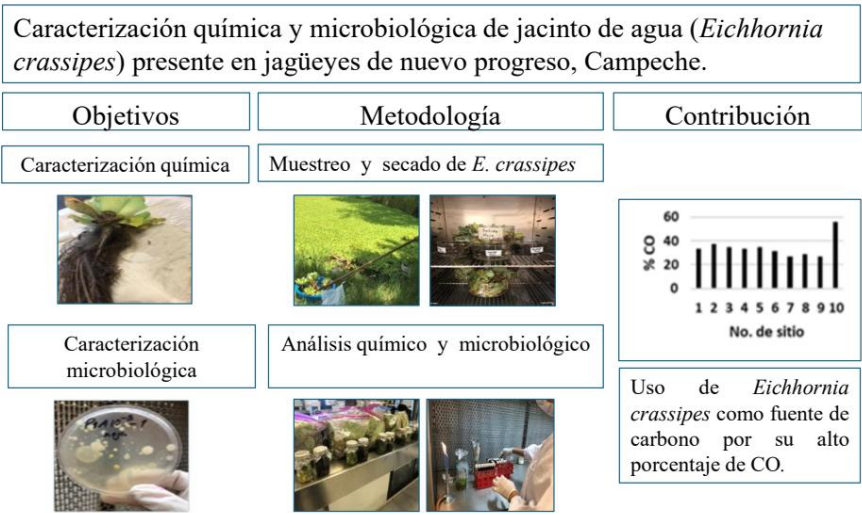
The objective was to determine the chemical and microbiological composition of *Eichhornia crassipes* present in water reservoirs in Progress New, Campeche. For chemical analysis, the samples were dried, crushed, and sieved. pH and electrical conductivity [EC] were determined using potentiometric and conductometric methods, respectively. OM was determined through OC content using the Walkey and Black [1999] method and NOM-021-SEMARNAT-2000. For microbiological analysis, the dilution and raking technique was applied using AN and PDA for the quantification of bacteria and fungi, respectively. pH was the most significant variable, given that it presented a strong inverse correlation with EC, salinity, and fungi. The percentages of OC and OM confirm the high organic content in the structure and composition of *Eichhornia crassipes*. The CFU of bacteria present in water hyacinth were higher than the CFU of fungi.



Water of Hyacinth, Bacteria, Fungi

Resumen

El objetivo fue conocer la composición química y microbiológica de *Eichhornia crassipes* presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche. Para el análisis químico las muestras se secaron, trituraron y tamizaron. La determinación de pH y conductividad eléctrica [CE] se realizó mediante el método potenciómetrico y conductimétrico, respectivamente. La determinación de MO se realizó a través del contenido de CO con el método de Walkey y Black [1999] y la NOM-021-SEMARNAT-2000. Para el análisis microbiológico se aplicó la técnica de dilución y rastrilleo utilizando AN y PDA, para la cuantificación de bacterias y hongos, respectivamente. El pH fue la variable más significativa, dado que presentó fuerte correlación inversa con la CE, la Salinidad y los Hongos. El porcentaje de CO y MO confirman el alto contenido orgánico en la estructura y composición de *Eichhornia crassipes*. Las UFC de Bacterias presentes en jacinto de agua fueron mayores que las UFC de Hongos.



Jacinto de agua, Bacterias, Hongos

Introducción

Actualmente, el jacinto de agua o lirio acuático se encuentra presente en humedales, lagunas costeras, canales y estanques de agua o jagüeyes; debido a su alta capacidad de reproducción, ésta planta acuática, representa una plaga que invade los ecosistemas acuáticos de México, provocando un problema a la ecología del ambiente, dado que desplaza a las especies endémicas del sitio y genera problemas de eutroficación en los cuerpos de agua y/o en jagüeyes, tal como sucede en la región de Atasta y Nuevo Progreso, Campeche.

El jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] es una planta acuática que flota libremente y pertenece a la familia Pontedericeae, está estrechamente relacionada con la familia de las azucenas. El jacinto de agua es la planta vascular invasora más extendida del mundo. Tiene un extenso sistema de raíces de color azul oscuro junto con hojas rectas y curvas de color verde.

Las raíces contienen un estolón a partir del cual, se producen nuevas plantas [Rezania et al., 2015]. El jacinto de agua posee la capacidad única de crecer en ambientes muy contaminados y extraer contaminantes [Rodríguez-Lara et al., 2022]. Tiene la capacidad de remediar diferentes contaminantes como material orgánico, metales pesados, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y nutrientes [Kumar et al., 2010; Acosta & Beltrán, 2025].

En 1990 Castillo Araya, reportó la siguiente composición química general del Lirio acuático: 16-18% de cenizas, 15-18% de Fibra cruda, 17-22% de proteína, 0.7-1 % de Fósforo, 32-34.5% de Carbono, 1.5-2.5% Sodio, 2.72-3.52% de Nitrógeno, 0.3-0.42% de Azufre, 0.6-1.25% de Calcio y 0.005-0.05% de Zinc.

Sondang et al, [2021] reportaron que la composición microbiológica de un biofertilizante de *Eichhornia crassipes*, principalmente está conformado por bacterias tales como *Pseudomonas aeruginosa* [2.8×10^8 UFC/mL] y *Bacillus subtilis* [4.3×10^7 UFC/mL] y por hongos tales como *Trichoderma asperellum* [74.25×10^4 UFC/mL] y *Trichoderma harzianum* [23.25×10^3 UFC/mL].

Es importante conocer la composición química y microbiológica de *Eichhornia crassipes*, dado que, a partir de ello, se podría confirmar su potencial para utilizarla en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Por ejemplo: Martelo & Lara Borrero [2012] señaló que el uso de macrófitas flotantes y en particular el *Eichhornia crassipes* se ha destacado por alcanzar eficiencias de remoción altamente significativas de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en aguas residuales, tales como: la DBO [37–95.1%], la DQO [72.6–90.25%], los SS [21-92%], el Nitrógeno total [72.4–91.7%], el Fosforo total [42.3–98.5%]; así como algunos metales pesados como el As [80%], el Fe [78.6–90.1%], el Cu [86-95%], el Cr [60-89%], el Cd [40-85%] y Zn [48-95 %].

El jacinto de agua o lirio acuático tiene un fuerte potencial de fitorremediación porque puede absorber metales contaminantes, incluidos el Pb, Zn, Ni, Hg, Cr y As [Ali et al., 2020]. El jacinto de agua, también puede absorber los nutrientes de nitrógeno y fósforo para controlar la eutrofización de ecosistemas acuáticos [Qin et al., 2016; Rodríguez-Lara et al., 2022].

En el presente trabajo se destaca que *Eichhornia crassipes* se encuentra presente en lagunas costeras, canales o en estanques artificiales de agua de México, provocando desplazamiento de especies endémicas y la eutroficación de los cuerpos de agua o jagüeyes como acontece en la región de la Península de Atasta, Campeche.

Por lo anterior, para resolver dichos problemas generados por el jacinto de agua [Villamagna & Murphy, 2010; Valencia-Espinosa et al., 2025], la presente investigación tiene como propósito conocer su composición química y microbiológica para determinar su aprovechamiento sustentable o su uso potencial, ya sea como; fuente de biocarbon [Jardón-Medina & Ortiz-Fernández, 2023], como fuente de papel ecológico [Juárez-Alvarado et al., 2015], como fuente de lignina [Espinoza-Acosta et al., 2022], como sustrato humectante o biofertilizante de suelo [Poveda, 2017], como material absorbente de contaminantes orgánicos e inorgánicos en cuerpos de agua; o bien, como fitorremediador de metales pesados [Rai, 2009; Carrión et al., 2012; Rodríguez & Rodríguez, 2019; Miguel-Barrera et al., 2020; Lao et al., 2024].

El desarrollo del presente proyecto es importante y pertinente porque después de realizar la caracterización química y microbiológica del jacinto de agua, podremos conocer y generar información científica que sustente o no, su aprovechamiento como materia prima o recurso natural; además de contribuir con una alternativa de solución al problema de la eutroficación de los cuerpos de agua y/o jagüeyes en la región de la Península de Atasta y Nuevo Progreso, Campeche, México.

Cabe señalar, que el desarrollo de la presente investigación tendrá un beneficio directo para los pobladores de la región que se dedican a la actividad acuícola o ganadera, al disponer de información para tener cuerpos de agua naturales o artificiales libres de esta planta acuática invasora, la cual, también desplaza a la flora endémica de los ecosistemas acuáticos de la región.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la composición química y microbiológica del jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche en 2024.

La primera hipótesis planteada fue “para resolver el problema de eutroficación de jagüeyes en Nuevo Progreso Campeche, podemos aprovechar el potencial de jacinto de agua o lechuga acuática en primer lugar como fuente de biocarbono”.

Una segunda hipótesis se probará en la segunda etapa y continuación de la presente investigación, la cual plantea lo siguiente “Se puede aprovechar el potencial del jacinto de agua como material absorbente para fitorremediar de metales pesados y/o fitoabsorber colorantes de aguas residuales generadas en los laboratorios de la facultad de química de la Universidad Autónoma del Carmen”

El presente capítulo del libro está conformado por claves del Handbook, el resumen grafico en español e inglés, una introducción, la metodología, los resultados y discusión, así como las conclusiones y la referencia bibliográfica.

Metodología

Muestreo y tratamiento de *Eichhornia crassipes*

Se colectaron y transportaron por triplicado plantas de jacinto de agua de diversos jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche en 2024. En el laboratorio se seleccionaron las plantas para realizar los análisis químicos y microbiológicos correspondientes, sometiéndolas a un proceso de lavado con agua potable y agua destilada, respectivamente. Posteriormente, previo a los análisis químicos las muestras se secaron, trituraron y tamizaron.

Análisis químicos

Para la determinación de los parámetros químicos tales como pH y conductividad eléctrica [CE] se usó el método potenciométrico y conductimétrico, respectivamente, de acuerdo con la norma [NOM-021-SEMARNAT 2000](#). La determinación de materia orgánica se realizó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkey y Black [1999] descrita en la norma [NOM-021-SEMARNAT-2000](#).

Análisis microbiológico

Para la cuantificación de las unidades formadoras de colonias [UFC] de bacterias y hongos, se pesaron y depositaron 10 g de muestra de cada sitio colectado en 90 mL de agua destilada estéril, se agitaron hasta formar una suspensión y mediante la técnica de dilución, rastrilleo e incubación por 72 h, se realizó el conteo de Unidades Formadoras de Colonias [UFC], utilizando cajas Petri con agar nutritivo y agar papa dextrosa, para la cuantificación de bacterias y hongos, respectivamente.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa Infostat 2020; generando la media, el valor máximo y valor mínimo; así como un análisis de correlación mediante la prueba de Sperman [$p < 0.05$].

Resultados

Caracterización química de *Eichhornia crassipes*

pH

En la Figura 1, se presentan los valores promedio obtenidos de pH en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que el pH promedio fue neutro de 7.37, con un rango de 6.34 [moderadamente ácido] a 9.02 [alcalino] en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

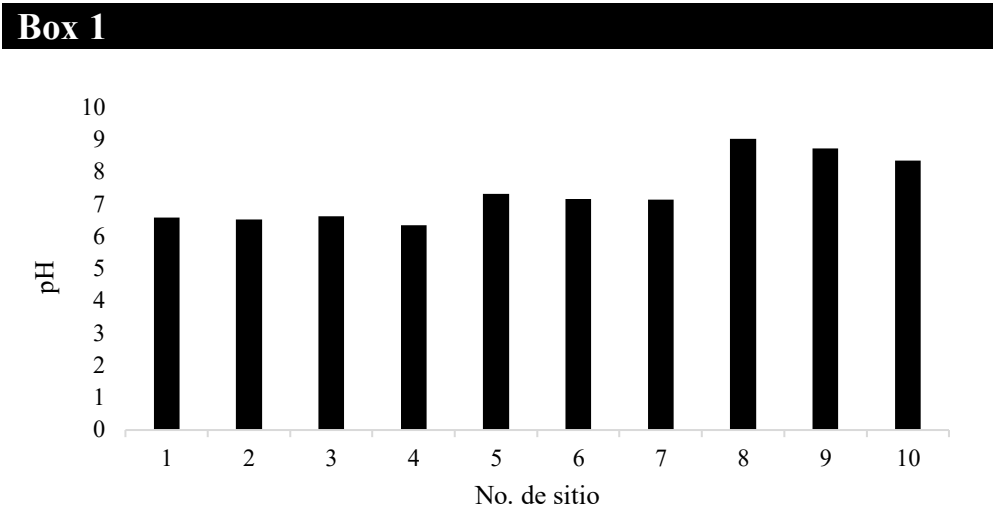


Figura 1
pH promedio de jacinto de agua [*E. crassipes*].

Fuente: Elaboración propia

Conductividad eléctrica

En la Figura 2, se presentan los valores promedio obtenidos de Conductividad Eléctrica [CE] en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que la CE promedio fue de 14.98 mS/cm, con un rango de 6.15 a 20.39 mS/cm, en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

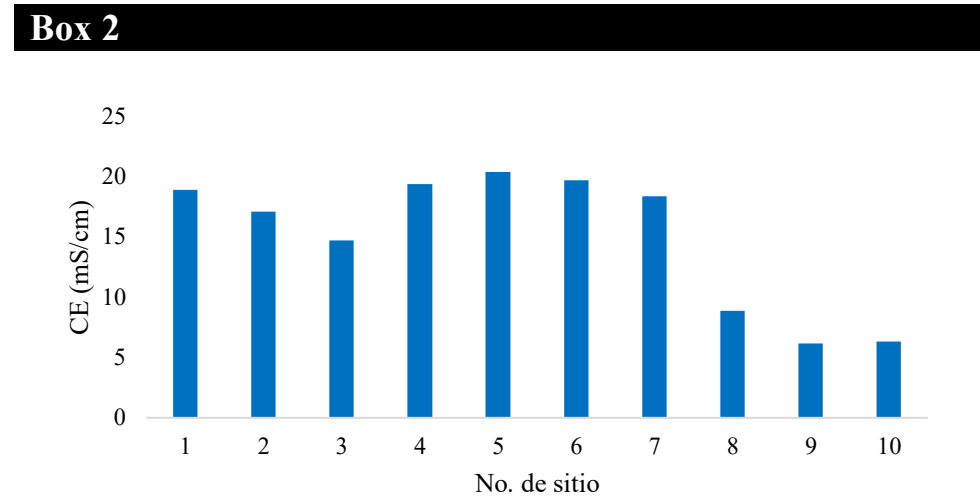


Figura 2
Conductividad Eléctrica promedio de jacinto de agua [*E. crassipes*].

Fuente: Elaboración propia

Salinidad

En la Figura 3, se presentan los valores promedio obtenidos de Salinidad en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que la Salinidad promedio fue de 8.79 ‰, con un rango de 3.29 a 13.01‰, en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

Box 3

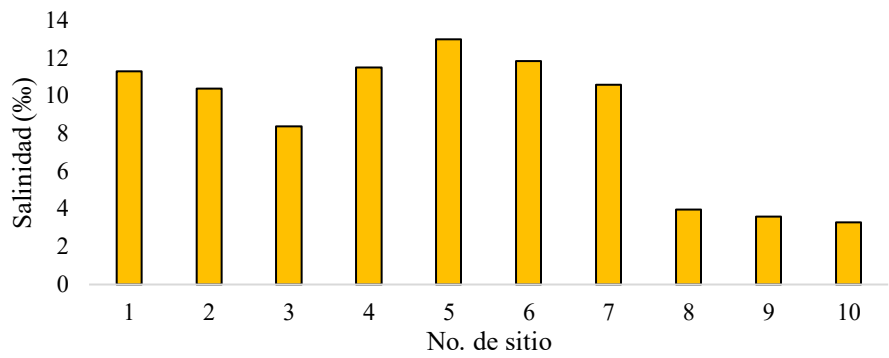


Figura 3
Salinidad promedio de jacinto de agua [*E. crassipes*].
Fuente: Elaboración propia

Carbón y Materia Orgánica

En la Figura 4, se presentan los valores porcentuales promedio obtenidos de Carbón Orgánico [CO] en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que el CO promedio fue de 34.34 % con un rango de 26.63 % a 56.05 %, en presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

Box 4

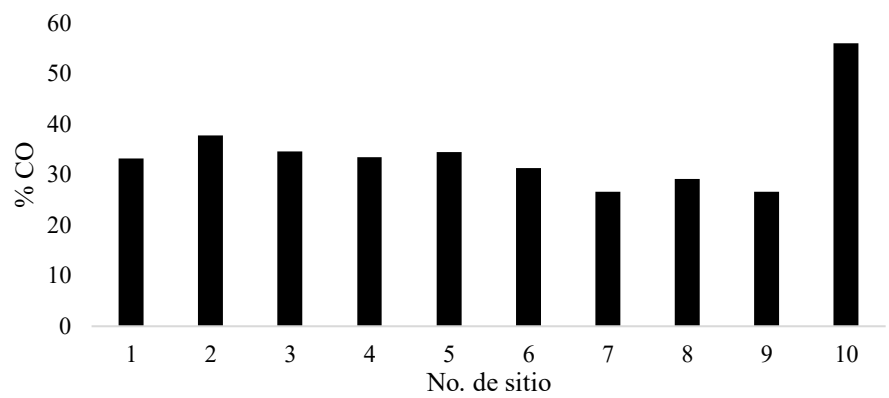


Figura 4
Porcentaje promedio de Carbón Orgánico de jacinto de agua [*E. crassipes*].
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se presentan los valores porcentuales promedio de Materia Orgánica [MO] en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que la MO promedio fue de 59.20 % con un rango de 45.90 % a 96.63 %, en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

Box 5

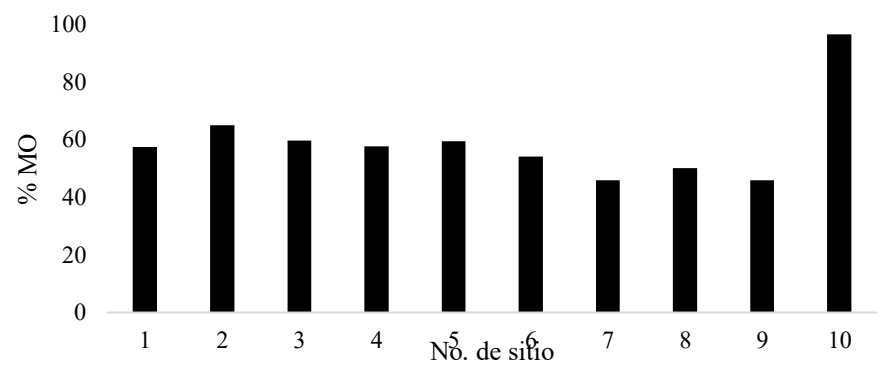


Figura 5
Porcentaje promedio de Materia Orgánica de jacinto de agua [*E. crassipes*].
Fuente: Elaboración propia

Caracterización microbiológica de *Eichhornia crassipes*

Bacterias

En la Figura 6, se presenta el promedio de las Unidades Formadoras de Colonias de Bacterias en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que las UFC promedio de Bacterias fue de 13×10^5 UFC/mL, con un rango de 10 a 17×10^5 UFC/mL, en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

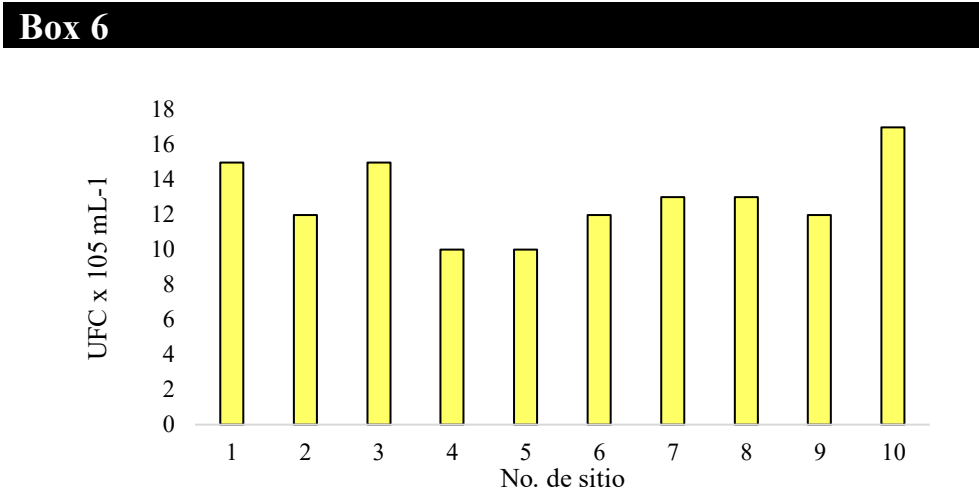


Figura 6
UFC promedio de Bacterias presentes en jacinto de agua [*E. crassipes*].
Fuente: Elaboración propia

Hongos

En la Figura 7, se presenta el promedio de las Unidades Formadoras de Colonias [UFC] de Hongos en diez sitios de muestreo. El análisis estadístico indicó que las UFC promedio de Hongos fue de 5×10^2 UFC/mL, con un rango de 1 a 8×10^2 UFC/mL, en jacinto de agua presente en jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

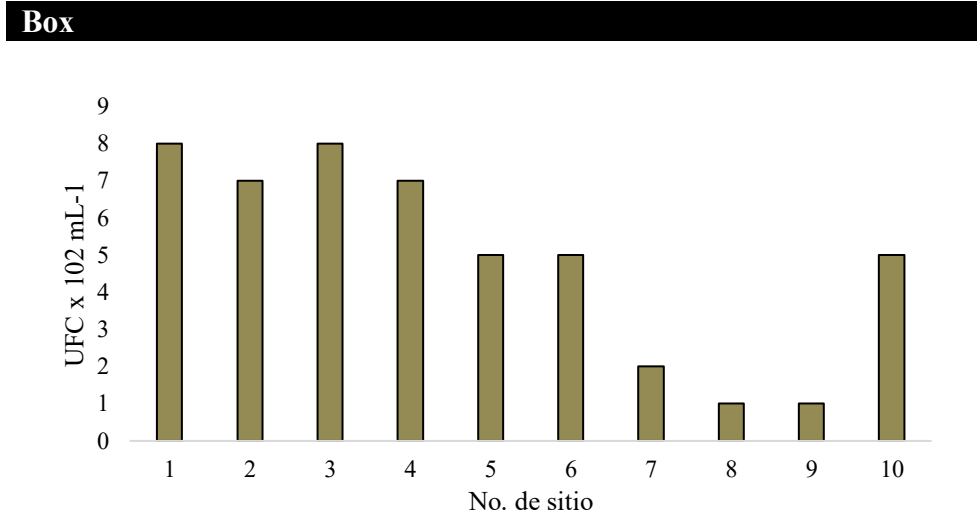


Figura 7
UFC promedio de Hongos presentes en jacinto de agua [*E. crassipes*].
Fuente: Elaboración propia

Discusión

Parámetros químicos del jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*]

En el presente estudio, el pH representa una de las variables químicas más importante, debido a que estadísticamente mostró una alta correlación negativa y significativa [$p < 0.05$] con la Conductividad eléctrica, la Salinidad y las Unidades Formadoras de Hongos presentes en el jacinto de agua.

A pesar de que el pH promedio fue 7.37; la mayoría de las muestras analizadas mostraron un pH moderadamente ácido, lo cual coincide con lo indicado por [Lara-Serrano et al., 2016](#). También, el estudio mostró que la Conductividad Eléctrica y la Salinidad del jacinto de agua presentaron una fuerte correlación positiva y significativa [$p < 0.05$], lo cual coincide con lo reportado por [Uka & Chukwuka, 2007](#). El jacinto de agua o lirio acuático y otras materias orgánicas al hundirse en el agua y descomponerse pueden producir iones carbonato y bicarbonato, lo cual provoca un aumento de la conductividad eléctrica [[Akan, 2008](#); [Zuta et al., 2024](#)].

El valor promedio de la Salinidad [8.79 ‰] y los rangos obtenidos en el estudio, sugieren que el jacinto de agua analizado, forman parte de un cuerpo de agua dulce [[Martelo & Lara Borrero, 2012](#)] con influencia costera, lo cual es representativo del área de estudio como lo es Nuevo Progreso, Campeche. Por otra parte, el Carbón Orgánico [CO] y la Materia Orgánica [MO] del jacinto de agua mostraron una fuerte correlación positiva y significativa [$p < 0.05$]. Los porcentajes promedio obtenidos en este estudio de CO [34.34 %] y MO [59.20 %] son aproximados a lo reportado por Jardón-Medina & Ortiz-Fernández [2023], lo cual confirma el alto contenido orgánico presente en la estructura y composición de *Eichhornia crassipes*.

Parámetros microbiológicos del jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*].

En el presente estudio, las Bacterias presentaron el mayor promedio de Unidades Formadoras de Colonias en comparación con los Hongos, lo cual coincide con lo reportado con Sondang et al, [2021]. Lo anterior, se asocia con el rango de pH obtenido, dado que, a pH neutros y ligeramente alcalinos, crecen principalmente bacterias y a pH moderadamente ácido crecen algunos hongos.

Las Unidades Formadoras de Bacterias presentes en el jacinto de agua, no presentaron diferencias significativas [$p < 0.05$] entre las muestras y tampoco mostraron correlación alguna con las variables o parámetros químicos; a diferencia de la Unidades Formadoras de Hongos las cuales si mostraron una fuerte correlación inversa y significativa [$p < 0.05$] con el pH; así como, una correlación positiva significativa [$p \leq 0.05$] con el Carbón y la Materia orgánica.

Conclusiones

El pH del jacinto de agua fue la variable más significativa, porque mostró fuerte correlación inversa con la Conductividad, la Salinidad y los Hongos. La Salinidad promedio [8.79 ‰] indicó que el jacinto de agua o lirio acuático forma parte de un cuerpo de agua dulce con influencia costera, lo cual es representativo del área de estudio. Así también, el porcentaje promedio de CO [34.34 %] y MO [59.20 %] confirman el alto contenido orgánico en la estructura y composición del jacinto de agua, lo cual sugiere su uso como fuente de carbono con lo cual aceptamos la primera hipótesis planteada. Finalmente, el promedio de Bacterias presentes en el jacinto de agua de Nuevo Progreso, Campeche, fue mayor que los Hongos.

Declaraciones

Los resultados obtenidos en esta investigación son originales y de elaboración propia. La colecta y muestreo de *Eichhornia crassipes* se realizó en diferentes jagüeyes de Nuevo Progreso, Campeche.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Ramirez-Elias, Miguel Ángel: Contribuyó con la idea del proyecto, con los materiales y métodos de la investigación, en el muestreo, en el trabajo de laboratorio y redacción de resultados, del informe y capítulo de libro.

Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra: Contribuyó con la revisión del anteproyecto, trabajo de laboratorio y análisis de resultados.

Córdova-Quiroz, Atl Víctor: Contribuyó con el análisis de resultados y discusión.

Abatal, Mohamed: Contribuyó con la revisión bibliográfica, análisis estadístico de resultados y conclusiones.

Disponibilidad de datos y materiales

Los autores disponen de los datos obtenidos en esta investigación.

Financiación

La investigación no recibió ningún tipo de financiación. Se realizó con recursos propios de los autores.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Ing. Ambiental y Microbiología Ambiental de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Carmen [UNACAR], el apoyo brindado durante la presente investigación. Así mismo, agradecen a la familia Pérez-Vera por su apoyo y atención durante el muestreo realizado en Nuevo Progreso, Campeche.

Abreviaturas

AN	Agar Nutritivo
CO	Carbón Orgánico
NOM	Norma Oficial Mexicana
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
MO	Materia orgánica
PDA	Agar Papa Dextrosa

Referencias

Antecedentes

Acosta, R. D. L., & Beltrán, J. A. C. [2025]. [Eficacia de fitorremediación de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en las aguas de la subcuenca del río Pinto, de la Amazonía ecuatoriana.](#) *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 9[1], 6624-6635.

Ali, S. Abbas, Z. Rizwan, M. Zaheer, I. Yavaş, İ. Ünay, A. Abdel-DAIM, M. Bin-Jumah, M. Hasanuzzaman, M. & Kalderis, D. [2020]. [Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: A review.](#) *Sustainability*, 12[5], 19-27.

Castillo Araya, J. G. [1990]. [El uso del lirio acuático *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales.](#) *Tecnología en marcha*, 10[3], 23-28.

Espinoza-Acosta, J.L Montaña-Leyva, B. Valencia-Rivera, D.E. Ledesma-Osuna, A.I. & Vega-Rios, A. [2022]. [Extracción, caracterización y actividad antioxidante de lignina de lirio acuático \[*Eichhornia crassipes*\] y cáscara de nuez pecanera \[*Carya illinoensis*\].](#) *Biotechnia*, 24 [2], 94-103.

Juárez-Alvarado, J., Jesús-Isla, R., & Arias-Trinidad, A. [2015]. [Coprocesamiento de lirio acuático \[*Eichhornia crassipes*\] para elaboración de papel ecológico.](#) *J. Agüero-Rodríguez & B. Torres-Beristain, Tópicos Selectos de Educación Ambiental Educación Ambiental desde la Innovación, la Transdisciplinariedad e Interculturalidad T-II*, 85-93.

Kumar, HS. Bosé, A. Raut, A. Sahu, SK. & Raju, M. [2010]. [Evaluación de la actividad antihelmíntica de *Pistia stratiotes* Linn.](#) *J. Clínica Básica. Farmacéutica*. 1, 103.

Qin, H. Zhang, Z. Liu, M. Liu, H. Wang, Y. Wen, X. & Yan, S. [2016]. [Site test of phytoremediation of an open pond contaminated with domestic sewage using water hyacinth and water lettuce.](#) *Ecological engineering*, 95, 753-762.

Rai, PK [2009]. Fitorremediación de metales pesados de ecosistemas acuáticos con especial referencia a macrófitos. *Reseñas críticas en ciencia y tecnología ambientales*, 39 [9], 697-753.

Rezania, S. Ponraj, M. Din, M.F.M. Songip, A.R. Sairan, FM. & Chelliapan, S. [2015]. Las diversas aplicaciones del jacinto de agua con enfoque principal en la energía y la producción sostenibles para la nueva era: una descripción general. *Renovar Sostener. Energía Rev.* 41, 943–954.

Rodríguez-Lara, Jessica W., Cervantes-Ortiz, Francisco, Arámbula-Villa, Gerónimo, Mariscal-Amaro, Luis A., Aguirre-Mancilla, César L., & Andrio-Enríquez, Enrique. [2022]. Lirio acuático [*Eichhornia crassipes*]: una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33 [1], 44201.

Zuta, L. F. V., Canta, M. S. J. J. P., & Tapia, F. C. [2024]. Compost elaborado con residuos domésticos y *Eichhornia crassipes* procedente de la laguna “La Colonial”, Calzada-Moyobamba, Perú. Tesis 70 p.

Villamagna, A. M. & Murphy. B. R. [2010]. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth [*Eichhornia crassipes*]: a review. *Freshwater biology*, 55[2], 282-298.

Básicos

Carrión, C. Ponce-de León, C. Cram, S. Sommer, I. Hernández, M. & Vanegas, C. [2012]. Aprovechamiento potencial del lirio acuático [*Eichhornia crassipes*] en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46[6], 609-620.

Jardón-Medina, A. G. & Ortiz-Fernández, A. [2023]. Obtención y caracterización de biocarbón a partir de *Eichhornia crassipes* usando un prototipo de reactor de pirólisis solar. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57[1].

Poveda Patiño, L. F. [2017]. Análisis del uso alternativo de buchón de agua para la descomposición de la materia orgánica.

Soporte

Carrión, C. Ponce-de León, C. Cram, S. Sommer, I. Hernández, M. & Vanegas, C. [2012]. Aprovechamiento potencial del lirio acuático [*Eichhornia crassipes*] en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46[6], 609-620.

Miguel-Barrera, A. Castañeda-Antonio, D. Santamaría-Juárez, JD. Munive-Hernández, JA. Rivera-Tapia, A. & Ramos-Cassellis, ME. [2020]. Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 5 [17], 15-28.

Lao, Z. L., Wu, D., Li, H. R., Liu, Y. S., Zhang, L. W., Feng, Y. F., ... & Ying, G. G. [2024]. Uptake mechanism, translocation, and transformation of organophosphate esters in water hyacinth [*Eichhornia crassipes*]: A hydroponic study. *Environmental Pollution*, 341, 122933.

Norma Oficial Mexicana, **NOM 021-SEMARNAT 2000**. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis; Diario Oficial [2002].

Rodríguez, L. & Rodríguez, A. [2019]. Uso del Jacinto de agua [*Eichhornia crassipes*] para la depuración de aguas contaminadas con cromo. *Revista Tecnología en Marcha*, 7[1].

Valencia-Espinosa, J. A., O. Y. Durán-Rodríguez & J P. Ramírez-Herrejón. [2025]. Análisis del manejo de Pontederia crassipes [Liliopsida]: una perspectiva integral. *Hidrobiológica* 35 [1]: 67-96

Diferencias

Sondang, Y., Anty, K. y Siregar, R. [2021]. Aislamiento e identificación de microorganismos eficaces a partir de biofertilizantes de jacinto de agua. En *la Serie de Conferencias IOP: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* [Vol. 709, N.º 1, p. 012064]. IOP Publishing.

Discusiones

Akan, J.C., Abdulrahman, F.I., Dimari, G.A. & Ogugbuaja, V.O. [2008]. [Determinación fisicoquímica de contaminantes en aguas residuales y muestras de vegetales a lo largo del canal de aguas residuales de Jakara en Kano Metropolis, estado de Kano, Nigeria.](#) *Revista Europea de Investigación Científica*, 23 [1], 122-133.

Jardón-Medina, A. G. & Ortiz-Fernández, A. [2023]. [Obtención y caracterización de biocarbón a partir de *Eichhornia crassipes* usando un prototipo de reactor de pirólisis solar.](#) *Revista de Ciencias Ambientales*, 57[1].

Lara-Serrano, J. S., Rutiaga-Quñones, O. M., López-Miranda, J., Fileto-Pérez, H. A., Pedraza-Bucio, F. E., Rico-Cerda, J. L., & Rutiaga-Quñones, J. G. [2016]. [Physicochemical characterization of water hyacinth \[*Eichhornia crassipes* \[Mart.\] Solms\].](#) *BioResources*, 11[3], 7214-7223.

Martelo, J., & Lara Borrero, J. A. [2012]. [Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte.](#) *Ingeniería y ciencia*, 8[15], 221-243. ISSN 1794-9165.

Sondang, Y., Anty, K. y Siregar, R. [2021]. [Aislamiento e identificación de microorganismos eficaces a partir de biofertilizantes de jacinto de agua.](#) En *la Serie de Conferencias IOP: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* [Vol. 709, N.º 1, p. 012064]. IOP Publishing.

Uka, ONU & Chukwuka, K.S. [2007]. [Efecto de la infestación de jacintos de agua sobre las características fisicoquímicas del embalse de AWBA, Ibadan, suroeste de Nigeria.](#) *Revista de Ciencias Biológicas*, vol. 7, núm. 2, 282-287 ref. 19

Zuta, L. F. V., Canta, M. S. J. J. P., & Tapia, F. C. [2024]. [Compost elaborado con residuos domésticos y *Eichhornia crassipes* procedente de la laguna “La Colonial”, Calzada-Moyobamba, Perú.](#) 70 p.

Aprovechamiento de recursos agrícolas en el Estado de Campeche

Taking advantage of agricultural resources in the Campeche State

Robles-Heredia, Juan Carlos * ^a & Narváez-García, Asteria ^b

^a  Universidad Autónoma del Carmen •  S-4852-2019 •  0000-0003-2591-6528 •  226407

^b  Universidad Autónoma del Carmen •  S- 4853-2019 •  0000-0001-6484-6062 •  278671

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.34.46>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería Química
Subdisciplina: Tecnología de los alimentos

Key Handbooks

Este capítulo de libro destaca la importancia de aprovechar los recursos agrícolas de bajo impacto económico, como el mango criollo [Anacardiaceae], considerado en la región sureste de México como un fruto de baja calidad que no genera beneficios comerciales significativos. Sin embargo, debido a la fertilidad del suelo, se presenta una producción natural considerable de este fruto. En consecuencia, se llevó a cabo una investigación orientada a investigar métodos de aprovechar el mango criollo, proponiendo la elaboración de diversos productos como una estrategia para incrementar los beneficios económicos y generar ingresos adicionales. La generación de conocimiento general en este estudio se fundamentó en una investigación exhaustiva destinada a comprender el potencial de aprovechamiento de recursos agrícolas de baja calidad. Además, profundizó en el análisis de las posibilidades y condiciones para obtener beneficios económicos para las familias rurales mediante la elaboración de productos, como salsa, jalea y fertilizante, con bajos costos de inversión. Este estudio permitió aplicar conceptos y metodologías provenientes de la literatura especializada, la cual fue consultada para identificar los aspectos más viables que facilitarían el cumplimiento de los objetivos planteados. Se diseñó un proceso metodológico para la obtención de los productos, el cual incluyó la realización de diversos análisis bromatológicos y organolépticos con el fin de evaluar la calidad, seguridad y aceptación sensorial de los productos obtenidos. Este trabajo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma del Carmen, una institución pública estatal, contando con la participación de docentes y estudiantes del programa educativo de Ingeniería Química. No se contó con financiamiento de becas CONAHCYT; sin embargo, los docentes poseen reconocimiento de Perfil PRODEP sin beca. La palabra clave principal utilizada en este estudio es "mango criollo".

Área: Impulso a la investigación de fronteras y la ciencia básica en todos los campos de conocimiento.

Citación: Robles-Heredia, Juan Carlos & Narváez-García, Asteria. 2025. Aprovechamiento de recursos agrícolas en el Estado de Campeche. 34-46. ECORFAN.

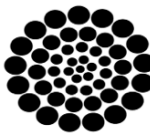
*  [\[jrobles@pampano.unacar.mx\]](mailto:jrobles@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfان.ان/handbooks.php>

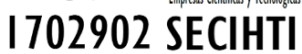


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



RENIECYT
Registro Nacional de Instituciones y
Empresas Científicas y Tecnológicas



1702902 SECIHTI

Abstract

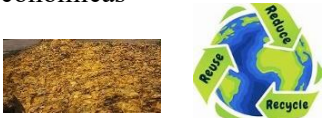
Tropical fruits have an important role in the economy of the State of Campeche. The climate characteristics of humidity and warm temperatures benefit the growth of a wide variety of fruits, including coconut, guava, soursop, mamey, orange, papaya, nance and mango. These fruits are an important source of vitamins, fiber, antioxidants, and protein, and have a high concentration of minerals such as potassium, phosphorus, magnesium, and sodium. However, many fruits are not fully utilized, of which only the pulp is consumed, while the peel and seed are wasted. The Creole mango [*Anacardiaceae*] is a rarely marketed fruit with very little economic significance. This mango variety, grown mainly in tropical regions, has a sweet and juicy pulp, recommended for the preparation of tasty food by-products that can be prepared for sale.

Introduction		
Objetives	Methodology	Contributions
General: Obtain food by-products from mango pulp, and a fertilizer derived from the peel and seed. Specifics: Produce food by-products from the pulp of the Creole mango (<i>Anacardiaceae</i>). Implement techniques to use the peel and seed of the fruit.	Production of various by-products from Creole mango: sauce, jelly, and fertilizer 	Propose alternatives to take advantage of agricultural resources of low commercial value such as the Creole mango, in order to produce by-products and obtain economic profits. 

Creole Mango [*Anacardiaceae*], Bromatological Analysis, Organoleptic Analysis

Resumen

Las frutas tropicales representan un papel importante para la economía del Estado de Campeche, las características que presenta el clima como son la humedad y temperaturas cálidas, benefician el crecimiento de una gran variedad de futas entre ellas. El coco, guayaba, guanábana, mamey, naranja, nance, papaya y mango. Estas frutas son una fuente importante de; vitaminas, fibras, antioxidantes y proteínas, poseen alta concentración de minerales como potasio, fósforo, magnesio y sodio. Sin embargo, muchas frutas no se aprovechan en su totalidad, de las cuales solo se consume la pulpa, mientras que la cáscara y la semilla se desperdician. El mango criollo [*Anacardiaceae*] es una fruta poco comercializada y de escasa relevancia económica. Esta variedad de mango, cultivada principalmente en regiones tropicales, presenta una pulpa dulce y jugosa, recomendable para la preparación de productos alimenticios de buen sabor y que se pueden preparar para su venta.

Introducción		
Objetivos	Metodología	Contribuciones
General: Obtener subproductos alimenticios a partir de la pulpa del mango, y un fertilizante derivado de la cascara y semilla. Específicos: Elaborar subproductos alimenticios de la pulpa del mango criollo (<i>Anacardiaceae</i>). Realizar las técnicas para aprovechar la cascara y semilla del fruto.	Elaboración de diferentes subproductos a partir de mango criollo: salsa, jalea y fertilizante 	Proponer alternativas para aprovechar recursos agrícolas de bajo valor comercial como el mango criollo, con la finalidad de elaborar subproductos y obtener ganancias económicas 

Mango Criollo [*Anacardiaceae*], Análisis Bromatológicos, Análisis Organolépticos.

Introducción

El mango criollo [*Anacardiaceae*] es una fruta con alto valor nutricional que posee una gran cantidad de vitaminas, fibras, antioxidantes y proteínas. Así como también una alta concentración de minerales como potasio y magnesio.

El fruto se caracteriza por un color amarillo y base rojiza, con una pulpa firme y uniforme. Su semilla y cáscara pueden ser considerados desechos, pero estos son una fuente importante de compuestos bioactivos, tales como la pectina, polifenoles y mangiferina.

La composición del mango depende de su variedad y principalmente por el estado de madurez que tenga, ya que el fruto maduro indica la presencia de ácido ascórbico [vitamina C], de modo que los niveles de esta vitamina bajan, pero se hacen ricos en provitamina A y vitaminas B1 y B2 [Gómez y Guzman, 2019].

Las fechas de cosecha son parámetros importantes para la industrialización de este fruto, en México los periodos comprenden de febrero a septiembre, sin embargo, esta depende de la variedad y zona de cultivo. Por ello, es recomendable determinar el número de días de floración a madurez, es decir, los cambios de color, el peso específico, la proporción de sólidos-ácidos y el periodo climatérico de la respiración; por tal motivo se deben efectuar muestreos periódicos o bien hacer que los frutos maduren y que sean analizadas sus propiedades organolépticas [Ramírez, 2015].

La cantidad de producción dependerá de las estrategias en el cultivo, asegurando que el árbol se encuentre en buen manejo de plaguicidas, abonos, riego entre otros aspectos. Como, por ejemplo, los frutos cosechados en huertos deben tener ciertas características, es decir, deben estar en el punto de madurez apto para ser capaz de elevar su contenido de azúcares, transformar su firmeza y color de manera homogénea a niveles que lo hagan comercialmente aceptable [Villanueva, 2016].

La calidad intrínseca de los frutos de mango, además de su manejo postcosecha, son características importantes para una exitosa comercialización y su consumo posterior por parte de clientes cada vez más exigentes a dichos parámetros. El nivel de madurez es un factor crítico tanto para el importador como para el minorista, quienes consideran que es necesario mejorar la tecnología utilizada, tanto precosecha como postcosecha, para lograr una definición más precisa del nivel óptimo de calidad [Estrada-Mesa y col, 2015].

Para el procesamiento de los subproductos se emplea la pulpa del mango como materia prima, en la elaboración de mermeladas, jaleas, pulpa deshidratada con chile, salsas con chile habanero y fertilizante, esto se debe a que en el mercado no se comercializa la fruta procesada en forma de conserva, solamente es consumida como fruta fresca.

El propósito de la elaboración de productos es que sean apreciados por los consumidores e incluidos en sus dietas.

Antecedentes

En la actualidad, los productos alimenticios elaborados con frutas convencionales suelen tener un alto contenido de azúcares y, en gran medida, de aditivos. Además, aquellos productos que incluyen conservadores y aditivos tienden a tener un precio más elevado, y su producción puede ser bastante compleja. Los costos de producción y cosecha del mango criollo resultan ser rentables para la exportación a otros países.

A partir de este tipo de mango se obtuvieron los siguientes productos: salsa, jalea, y fertilizante. A cada uno de los productos se le realizó análisis bromatológicos u organolépticos con la finalidad de valorar la calidad de cada uno de ellos.

El mango es una fruta de origen tropical muy apreciada en México y de las más consumidas a nivel mundial. Ocupa el tercer lugar entre los frutos tropicales, después del plátano y la piña, y el quinto de todos los frutos.

Los principales países productores son la India, China, Tailandia, Indonesia y México. A pesar de que México se encuentra en el quinto lugar de producción, es uno de los principales exportadores [Maldonado y col, 2016].

Actualmente se satisface 100% de los requerimientos nacionales con producción interna; asimismo, las importaciones mundiales han aumentado 34.75% en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente con destino a Estados Unidos y Canadá. También se establecen desarrollos regionales para mejorar las zonas del sureste del país [SAGARPA, 2022].

En la zona sur se establece que para una mejor producción de mango se debe:

- Fortalecer las plantaciones sembradas de mango de alta densidad.
- Implementar técnicas para optimizar el aprovechamiento de plantas tradicionales.
- Organizar grupos de productores de mango para fortalecer la cadena productiva.
- Desarrollar un padrón de actores en la producción de mango a nivel local y regional.
- Fomentar técnicas innovadoras para el mejoramiento productivo y comercial del mango.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] reporta que la producción de Mango Criollo en México en el año 2023 fue de 2.237.000 toneladas entre enero y noviembre, superando las cifras de años anteriores. [Agrotendencia.tv]

En Campeche, durante el periodo 2006-2015, el mango criollo representó aproximadamente el 6.1% de la superficie cosechada de mango, con un rendimiento promedio de 5.9 toneladas por hectárea.

Sin embargo, en 2024, la sequía afectó la producción de mango en varias regiones de México, incluyendo Campeche, lo que llevó a una menor disponibilidad de fruta y aumento de precios, mientras que 2023 fue un año de récords para la producción de mango en México, en 2024 las condiciones climáticas adversas, como la sequía, impactaron negativamente en la producción, especialmente en estados como Campeche. [Ireta y col 2021].

Plagas que afectan las cosechas de mango.

Cochinilla

La cochinilla del mango provoca danos en tallos, hojas y frutos, alimentándose de la savia y originando un debilitamiento general de la planta, reduciendo el vigor y el tamaño de la hoja, la aparición de decoloraciones amarillas en las mismas, caída de hojas, muerte de ramas e incluso del árbol.

Además, producen una melaza sobre las partes afectadas, lo que favorece el ataque de diversos hongos, En frutos, aunque no causa danos en la parte interna, produce manchas rosadas alrededor de las zonas afectadas, pudiendo alterar la maduración y depreciando su calidad y valor comercial. Estas pérdidas pueden suponer hasta el 50% del volumen de la cosecha si no se controla la plaga a tiempo [Agrotrapiche, 2022].

Trips en Mango

Los trips son también plagas importantes en el cultivo de mango que causan severos daños en las hojas tiernas debido a que pican y chupan el tejido epidérmico; con ello causan lesiones necróticas intervenales, lo que puede terminar en defoliación y muerte de las puntas de las ramas.

Las infestaciones severas de algunos trips pueden resultar en defoliación intensa y clorosis, o bien defoliación de brotes tiernos, lo que repercute en la floración y producción siguiente [Durán y col, 2017]. Este insecto deposita sus huevos en las flores y frutos del mango, luego crecen las plantas y se alimentan del fruto unos días.

La presencia de trips está asociada a deformaciones, manchas, agrietamiento, decoloración y caída prematura de frutos en desarrollo. Adicional a lo anterior, se encuentra el efecto nocivo en la presentación del producto en su etapa final, disminuyendo significativamente el volumen con calidad para el mercado internacional. En México y muchas partes del mundo, el control de trips se basa convencionalmente en el uso de insecticidas químicos sistémicos, de contacto, ingestión y de amplio espectro [Monteón y col, 2020].

Mosca de fruta

La Mosca de fruta es la plaga más importante de los cultivos, atacan a las frutas y tienen carácter endémico. Gran parte de los cultivos de mango son atacados por la mosca de la fruta; se puede decir que actualmente es el problema fitosanitario más grave del rubro.

Son moscas de colores, las hembras poseen un ovipositor esclerotizado que les permite perforar el pericarpio y depositar sus huevos en la piel del fruto luego, estos al eclosionar, penetran el pericarpio y se alimentan de la pulpa deteriorando todo el fruto [<https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/mosca-de-la-fruta/>].

Las características que presentan los mangos infestados por esta plaga son:

- Pequeños agujeros o punciones en la cascara
- Manchas oscuras o hundidas en la piel
- Exudación de savia o goma
- Fruto que madura de forma irregular o se pudre parcialmente.
- Fruta caída prematuramente del árbol
- Larvas blancas pequeñas
- Olor fermentado o ácido
- Pulpa blanda y descolorida

Planteamiento de la problemática en la zona sur de México

La producción de mango en México representa un componente clave para la economía agrícola, especialmente en las zonas rurales. Este cultivo se desarrolla en sistemas de alta productividad y comercialización, destacando en estados como Guerrero, Veracruz, Michoacán, Chiapas, Oaxaca, Campeche, Jalisco, Sinaloa y Nayarit, entre otros. Sin embargo, en las zonas del sureste de México se tiene una amplia producción del fruto del mango criollo, debido a esto se tiene una pérdida en utilidades por la falta de conocimiento sobre los diversos usos que se le puede dar al fruto.

En los meses de mayo, junio y julio, el mango se cosecha en casi todos los estados productores, lo que genera una elevada competencia, bajos precios y poca rentabilidad. Esta acumulación de producto requiere estrategias y alternativas a todos los niveles dentro de la cadena producto-mango que permitan canalizar adecuadamente el fruto, de manera que se capitalice el esfuerzo de los productores.

La falta de estrategias y alternativas a la medida de la situación, con frecuencia provoca acumulación del producto en las huertas, lo que conlleva, además de pérdidas económicas para los fruticultores, problemas fitosanitarios, dado que los frutos no son cosechados, estos quedan en el árbol induciendo así, desarrollo de todo tipo de plagas y enfermedades que pueden generar graves problemas para el huerto y para toda la cadena de valor [Villanueva, 2016].

Por ello, en la presente investigación se proponen diferentes técnicas de aprovechamiento que se le pueden dar al fruto, de esta forma proporcionar una alternativa adicional a los consumidores que no les agrade consumirla en su estado natural y que puedan incluirlas en sus dietas.

Además de plantear, métodos que benefician al cultivo como la cascara y semilla que terminan siendo desperdicios, lo que contribuye a un problema ambiental y sanitario, propagando la producción de insectos y malos olores.

Metodología

Elaboración de salsa de mango-habanero

Para la elaboración de la salsa de mango-habanero se empleó como materia prima la pulpa de mango criollo, además de adicionar diferentes especies y sazónadores, se siguió el siguiente procedimiento.

- Lavar y desinfectar la fruta.
- Pelar y eliminar las semillas del mango cuidadosamente, obteniendo la mayor cantidad de pulpa.
- Rebanar finamente cebolla, ajo y chiles habaneros, posteriormente freír en un sartén [cebolla, ajo y chiles]
- Colocar en un triturador la pulpa de mango, agua, especies y sazónar con sal y pimienta a velocidad media durante 3 minutos, hasta obtener una consistencia fina.
- Cocer por 5 minutos aproximados, mezclando constantemente.
- Envasar en frascos de previamente esterilizados y sellar en estado caliente, dejando espacio entre el producto y la tapa, para provocar el vacío.
- Etiquetar indicando el nombre del producto, fecha de elaboración y de caducidad.
- Conservar en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente.

La salsa fue evaluada por diferentes catadores a través de encuestas, en donde se analizaron las características organolépticas del producto.

Elaboración de jalea:

Para la elaboración de la jalea se empleó pulpa de mango criollo, además se utilizó pectina para obtener la consistencia deseada de jalea, además de adicionar azúcar como conservador, procedimiento:

- Lavar y desinfectar la fruta.
- Pelar y eliminar las semillas del mango cuidadosamente, para extraer la mayor cantidad de pulpa.
- Colocar en un triturador a una velocidad media durante 2 minutos la pulpa de mango.
- Cocer a fuego medio la pulpa y agitar constantemente, mientras se adiciona el azúcar con la pectina hasta alcanzar la consistencia de jalea.
- Retirar del fuego.
- Medir los grados brix de la jalea.

Para el caso de la jalea, al igual que para la salsa mango-habanero, se realizaron encuestas para determinar sus características organolépticas.

Elaboración de fertilizante:

Para poder aprovechar el fruto en su totalidad se elaboró un fertilizante a base de la cáscara y semilla del mango criollo, ya que la cáscara representa del 15-20% aproximadamente del peso de la fruta y la semilla con un 35 al 60%, las cuales son desechadas debido a que no se cuenta con la tecnología necesaria para su aprovechamiento.

Las semillas y cáscaras fueron secadas previamente con radiación solar para eliminar la mayor cantidad de agua que presentaran. Posteriormente, se colocaron en charolas y se pusieron al horno para finalizar su secado por medio de aire caliente a una temperatura de 45-60°C.

Cuando ambas muestras están secas, se trituran hasta obtener un polvo fino el cual podrá ser empleado como abono para la tierra de las plantas haciendo fértil el cultivo por su alto contenido de nutrientes.

Se realizó lo siguiente para elaborar el fertilizante:

- Recolección de semillas y cáscara de mango.
- Las muestras son colocadas en un horno a una temperatura de entre 60 a 65 °C hasta que estén secas aproximadamente durante 5 días.
- Posteriormente, se enfría la muestra a temperatura ambiente para ser trituradas en un molino.

- El polvo obtenido de la semilla y cáscara se envasa en bolsas herméticas de 4 g, y se sellan al vacío, para evitar que se humedezcan por el ambiente. Se etiquetan indicando el nombre del producto y fecha de elaboración.
- Se conserva en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente.

En la Figura No. 1 se muestra la metodología general para los tres productos elaborados con el mango criollo [*Anacardiaceae*].

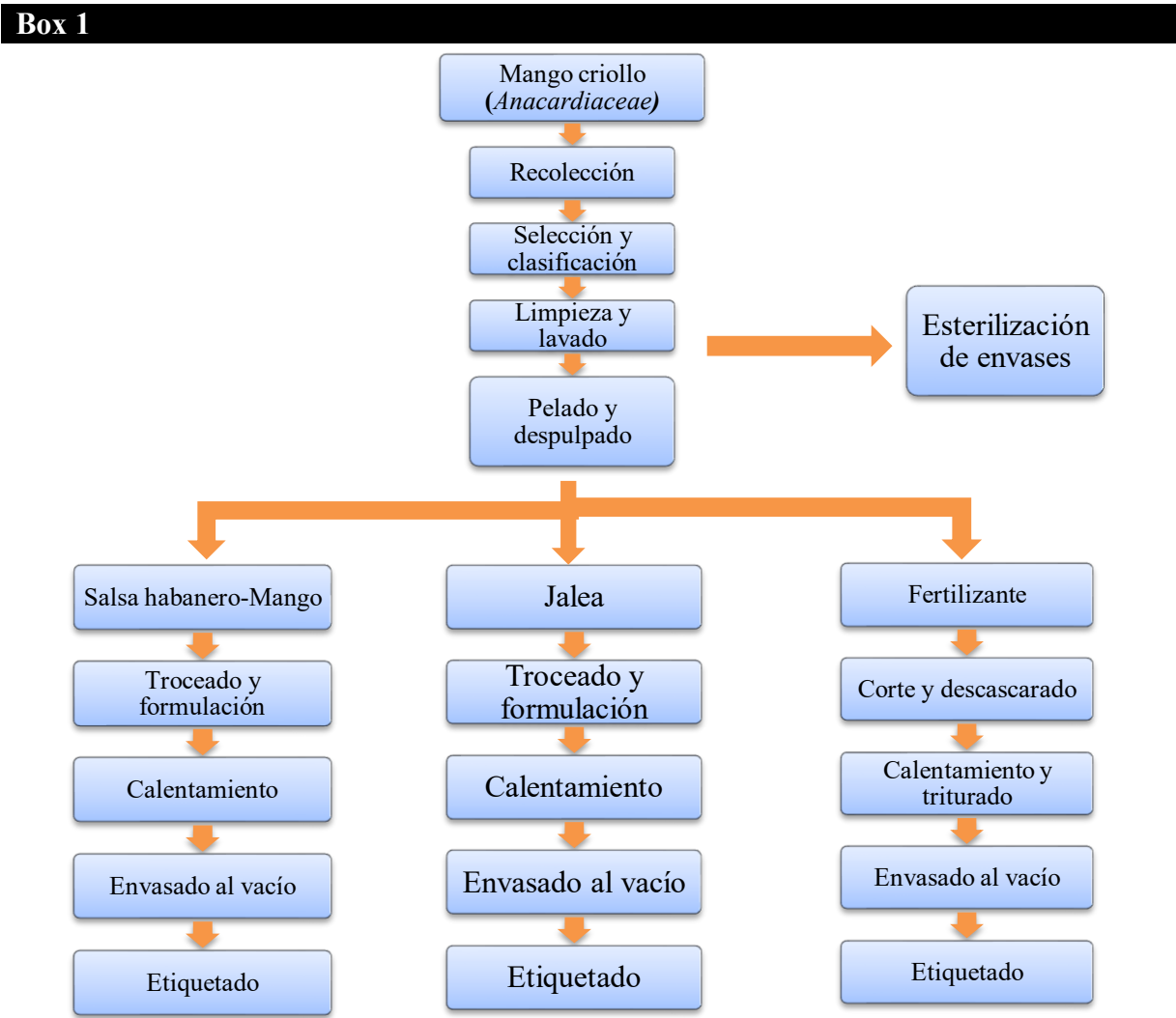


Figura 1
Diagrama de flujo de la metodología empleada

Fuente: Elaboración propia

Resultados

Análisis organolépticos

Los análisis organolépticos son de gran importancia para la industria alimentaria, ya que ayudan a proporcionar información del alimento. Además de evaluar la aceptación o rechazo de un nuevo producto por el consumidor. Estas evaluaciones se llevan a cabo para eliminar o minimizar los efectos de factores externos dándole una garantía de calidad y seguridad al alimento [Lawless y Heymann, 2010]. Gracias a este tipo de análisis se podrían plantear cambios como en las materias primas, ingredientes, aditivos entre otros, y en base a estos realizar nuevos productos. A través de los análisis sensoriales se puede evaluar la calidad de los alimentos basados en el juicio de las personas mediante los sentidos, las características organolépticas de los alimentos como la apariencia, textura, olor y sabor, según sea el objetivo del estudio.

Los productos elaborados fueron sometidos a una evaluación sensorial por parte de un grupo diverso de catadores, que incluyó personas de diferentes edades y géneros. El objetivo fue analizar sus características organolépticas y determinar el nivel de aceptabilidad de cada producto. Para ello, se aplicaron encuestas a un total de 17 participantes, a partir de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Sabor

Del total de las personas encuestadas, el 53% indica que el sabor de los productos es muy aceptable, mientras que el 44% señalan que es aceptable. Sin embargo, el 2% establecen que el sabor presentado es normal y solo 1% identifican como desagradable el sabor de los productos.

Color

El color es otro de los parámetros evaluados en donde el 51% de las personas perciben un color normal en todos los productos. El 18% un color claro y el 29% una tonalidad oscura, en cambio solo el 2% de los encuestados indican un color muy oscuro.

Olor

El 44% de los encuestados determinan un olor muy aceptable en los productos elaborados, de tal forma que el 32% perciben un aroma aceptable. De manera que el 21% indica una esencia normal y únicamente el 3% un olor desagradable.

Textura

Para el parámetro de la textura se clasificaron en 6 grupos diferentes, en donde el 47% identifican texturas normales en los productos. El 35% perciben que la textura es espesa mientras que el 10 % la describe como blanda, solo el 5% de los encuestados determinan texturas liquidas y el 3% lo determinan como duras.

Aceptabilidad

Uno de los indicadores más importantes a evaluar es la aceptabilidad de los productos, ya que la aceptación o el rechazo del alimento es el resultado de la interacción entre el alimento y el consumidor en un momento determinado. De modo que el 59% de las personas encuestadas determinan que los productos presentados tienen un nivel muy aceptable, mientras tanto el 40 % lo determina como acepta y únicamente el 1% como poco aceptable. Por lo cual, se establece que los productos son aceptados.

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos son esenciales para determinar la composición nutricional, la calidad y la seguridad de los alimentos, ya que proporcionan información clave sobre su contenido en macronutrientes, micronutrientes y posibles contaminantes. Estos estudios permiten garantizar que los alimentos cumplan con los estándares establecidos por las autoridades sanitarias, además de ser una herramienta valiosa en el desarrollo de nuevos productos alimenticios [Villanueva., 2016].

Los resultados obtenidos en estos análisis fueron comparados con productos similares disponibles en el mercado, con el propósito de evaluar si el nuevo producto cumple con las características nutricionales adecuadas para cada uno de sus componentes. Este análisis comparativo también permitió adquirir un conocimiento más profundo sobre la composición cualitativa y cuantitativa de los alimentos, lo cual contribuye a garantizar la calidad y seguridad del producto final para los consumidores.

Proteínas

La determinación del porcentaje de proteínas en los productos es un método que se basa en la transformación del nitrógeno en sulfato de amonio, mediante la acción del ácido sulfúrico a altas temperaturas en presencia de catalizadores y su posterior liberación en forma de amoníaco para proceder a su valoración.

Para calcular el porcentaje de nitrógeno en los productos se empleó el método Kjeldahl mediante la siguiente ecuación:

$$\% N = \frac{[N][V][0.014]}{m} \times 100$$

[1]

En donde el porcentaje de proteína será, el por ciento de nitrógeno obtenido por el factor correspondiente como lo estipula la [NOM-F-68-S-1980](#). El factor de conversión es un parámetro que pasa el contenido en nitrógeno a contenido en proteínas. La mayoría de las proteínas contienen un 16% de N2, de modo que el factor de conversión es 6,25 [100/16 = 6,25]. En la Tabla 1 se indican los resultados obtenidos del contenido de proteínas en los productos.

Box 2					
Tabla 1					
Porcentaje de proteínas					
Producto	N	V	m	% nitrógeno	% proteína
Jalea	0.1	1.9	2	0.13	0.83125
Salsa	0.1	1.7	2	0.12	0.74375
Fertilizante	0.1	6.8	2	0.48	2.975

Fuente: Elaboración propia

Humedad

La humedad en los alimentos tiene como función la generación de microorganismos, provocando su descomposición y por lo tanto la pérdida de la calidad sanitaria. Por ello, el porcentaje de humedad nos indica la pérdida en peso por evaporación que sufre el producto al someterlo a las condiciones prescritas. El porcentaje de humedad se calcula con ecuación 2:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{m1-m2}{m3} \times 100$$

[2]

Los resultados de humedad de los productos se muestran en Tabla 2.

Box 3				
Tabla 2				
Porcentaje de humedad				
Producto	m ₁	m ₂	m ₃	% humedad
Jalea	800	273	670	78.66
Salsa	627	269	497	72.03
Fertilizante	512	399.7	474	30.06

Fuente: Elaboración propia

Grasas

Para la realización del análisis de contenido de grasas en los productos se llevó a cabo mediante el método Soxhlet en donde el proceso inicia a partir de una muestra previamente seca, para evitar que el agua se combine con el disolvente y altere la prueba. La muestra pasa por un proceso de extracción en caliente con un solvente adecuado, después de que el extracto se haya secado a un peso constante, el contenido total de grasa se determina mediante ecuación 3, de acuerdo a la norma [NMX-F-545-1992](#).

$$\% \text{ de grasas} = \frac{PG-PV}{PM} * 100$$

[3]

En Tabla 3 se indica el porcentaje de grasas de los productos

Box 4				
Tabla 3				
Porcentaje de grasas				
Producto	PG	PV	PM	% Grasas
Jalea	123.022	123.013	3	0.30
Salsa	123.019	123.013	3	0.20
Fertilizante	123.025	123.013	3	0.53

Fuente: Elaboración propia

Vida de anaquel

Uno de los parámetros más importantes de todo producto alimenticio es la vida de anaquel. Esta corresponde al tiempo en el producto mantiene su calidad desde el momento de manufactura hasta su comercialización y consumo. Los productos elaborados fueron analizados con la finalidad de determinar su duración y poder estimar una caducidad, ya que, al no contener ningún tipo de aditivo o conservador, la vida de anaquel de estos puede ser no muy extensa y poner en riesgo su calidad y la salud de los consumidores. A continuación, se presentan los resultados de vida de anaquel de los productos, en donde se conservaron a temperatura ambiente y en refrigeración después de haber sido abiertos.

Jalea de mango

Las muestras de jalea de mango se conservaron a temperatura ambiente, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados, Tabla 4.

Box 5

Tabla 4

Tiempo de vida de anaquel de la jalea de mango

Temperatura Ambiente [Frasco cerrado]		Temperatura Ambiente [Frasco Abierto]	
Muestra	Días	Muestra	Días
Muestra No. 1	155 días	Muestra No. 1	38

Fuente: Elaboración propia

Salsa de mango

El tiempo de vida de anaquel que presentó la salsa de mango se muestra en la Tabla 5.

Box 6

Tabla 5

Tiempo de vida de anaquel de la salsa de mango

Temperatura Ambiente		Refrigeración	
Muestra	Días	Muestra	Días
Muestra No. 1	7 días	Muestra No. 1	27

Fuente: Elaboración propia

Fertilizante

El fertilizante elaborado a base de cáscara y semilla de mango fue envasado en bolsas herméticas, y puestas en conservación a temperatura ambiente para evitar el desarrollo de microorganismos provocados por la humedad. En donde se obtuvieron los siguientes resultados, indicados en Tabla 6.

Box 7

Tabla 6

Tiempo de vida de anaquel del fertilizante

Temperatura Ambiente [Cerrado]		Temperatura Ambiente [Abierto]	
Muestra	Días	Muestra	Días
Muestra No. 1	30 días	Muestra No. 1	132

Fuente: Elaboración propia

El fertilizante obtenido fue observado por un periodo de 162 días, en los cuales los primeros 30 días el fertilizante permaneció sellado. Una vez abierto el empaque se llevó a cabo un control de calidad por 132 días, en los cuáles no se observó presencia de humedad ni de microorganismos.

Conclusiones

El mango criollo [*Anacardiaceae*] es una fruta que, en muchas comunidades del sureste de México, presenta una baja aceptación y reconocimiento por parte de la población, siendo frecuentemente considerada como residuo agrícola a pesar de su potencial nutritivo y beneficioso. Desde una perspectiva socioeconómica, su aprovechamiento resulta favorable, ya que los costos de producción para la elaboración de productos o subproductos caseros son bajos, posicionándose como una alternativa económica viable para las zonas rurales.

Este estudio demostró que es factible aprovechar la totalidad del fruto de mango criollo, incluyendo la cáscara y la semilla, para la obtención de diversos productos. Los análisis sensoriales realizados evidenciaron que estos productos son aceptados positivamente por los consumidores, lo que sugiere un potencial para generar ingresos económicos en las comunidades locales mediante su comercialización. Además, se desarrolló un fertilizante orgánico elaborado a partir de estos residuos, que funciona como nutriente para diferentes especies vegetales en ambientes domésticos.

Se llevaron a cabo diversos análisis físico-químicos en cada uno de los productos, con el objetivo de determinar sus características de calidad, seguridad y vida útil. Los resultados indicaron que estos productos poseen una vida de anaquel prolongada, superior a un mes, tanto a temperatura ambiente como en refrigeración.

A diferencia de los fertilizantes sintéticos, comúnmente utilizados para mejorar la producción de frutos, en este proyecto se logró formular un fertilizante orgánico que aprovecha integralmente el fruto del mango, promoviendo el desarrollo de cultivos y mejorando la salud del suelo. Esto contribuye a reducir los efectos negativos asociados al uso de fertilizantes químicos, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y ecológicas.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran de manera expresa que no existen conflictos de intereses que puedan haber influido en la elaboración del presente capítulo. No mantienen intereses financieros, comerciales o profesionales en competencia que puedan ser relevantes para el contenido presentado. Asimismo, no tienen relaciones personales, académicas o institucionales que pudieran haber generado una percepción de parcialidad o influido, directa o indirectamente, en la información, análisis o conclusiones aquí expuestas.

Contribución de los autores

Robles-Heredia, Juan Carlos: Fue responsable de la redacción en general y de aportaciones para la elaboración del documento.

Narváez-García, Asteria: Fue responsable de la investigación bibliográfica, redacción y aspectos para la elaboración del documento

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos están disponibles a solicitud en el correo: anarvaez@pampano.unacar.mx

Financiación

El presente trabajo no recibió financiación para su ejecución.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Carmen de Ciudad del Carmen, Campeche, México, la facilidad de asistir a los laboratorios de la Facultad de Química para llevar a cabo la realización del presente proyecto.

Abreviaturas

F: Factor de conversión
N: Normalidad del ácido titulado
% N: Porcentaje de nitrógeno en la muestra
m: Peso de la muestra en [g]
m₁: Peso de la cápsula de porcelana con muestra [g]
m₂: Peso de la capsula de porcelana con muestra seca [g]
m₃: Peso de la muestra
PG: Peso del matraz con grasa [g]
PM: Masa en gramos de la muestra
PV: Peso del matraz sin grasa [g]
V: Volumen gastado del ácido en ml.

Referencias

Básicos

Agrotrapiche. [2022]. [La cochinilla, una de las principales plagas en mango](#). *Servicio integral para agricultores. Productos agrícolas, asesoramiento técnico especializado en sistemas de riego y automatización*.

Duran Trujillo, Y., Gabriel Otero, G., Ortega-Arenas, L. D., Arriola Padilla, V. J., Mora Aguilera, J. A., Damián-Nava, A., & García-Escamilla, P. [2017]. [Evaluación de insecticidas para control de trips y ácaros plagas del mango \[Mangifera indica L.\] en tierra caliente, Guerrero, México](#). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.

Estrada-Mesa, E. M., Padilla-Reyes, F., & Márquez-Cardozo, C. J. [2015]. [Efecto de recubrimientos protectores sobre la calidad del mango \[Mangifera indica L.\] en pos cosecha](#). *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 18[1], 181-188.

Ireta Paredes, Arely Del Rocío & Bautista-Ortega, Jaime & Pérez-Hernández, Ponciano & Sánchez-Galván, Fabiola. [2021]. La producción de mango [Mangifera indica L.] en Campeche, México. [La producción de mango \[Mangifera indica L.\] en Campeche, México](#). *Agro Productividad*, 13[11].

Lawless, H. T., & Heymann, H. [2010]. [Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices](#). Springer.. *Libro en línea*.

Maldonado Astudillo Yanik I., Navarrete García Heidi A., Ortiz Morales Oscar D., Jiménez Hernández Javier., Salazar López Ricardo., Alia Tejacal Iran., Álvarez Fitz Patricia. [2016] [Propiedades Físicas, Químicas y Antioxidantes de variedades de mango crecidas en la Costa de Guerrero..](#) *Revista Fitotecnia Mexico*. ISSN 0187-7380

Monteon-Ojeda, A., Damián-Nava, A., Cruz Lagunas, B., Duran-Trujillo, Y., Piedragil Ocampo, B., Grifaldo-Alcántara, P. F., Hernández-Castro, E., & García-Escamilla, P. [2020]. [Efficacy of botanical and biorational insecticides for thrips control \[Thysanoptera: Thripidae\] in mango trees in Veracruz, México..](#) *Revista Bio Ciencias*.

SAGARPA. [2022]. [MANGO mexicano](#). Gobierno de México.

Villanueva Rodríguez S, [2016]. ["Introducción a la Tecnología del Mango"](#), Primera Edición. *Repositorio Nacional, Gobierno de México*.

Soporte

[Cultivo de mango: proceso de siembra, manejo y tiempo de cosecha](#) [2022]. *Agrotendencia*.

Gómez, G., & Guzmán, O. [2019]]. Alternativas de valorización para el residuo de mango [*Mangifera Indica* L.] mediante el uso de biotecnología tradicional en el departamento del atlántico. *Tesis de licenciatura. Universidad Libre Seccional Barranquilla*.

Norma NMX-F-545-1992. <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-f-545-1992/>

Norma NOM -F-68-S-1980. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=734069

Mosca de la fruta [2022]. <https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/mosca-de-la-fruta/>

Ramírez, J. [2015]]. Caracterización del jugo de mango [*Mangifera Indica*] variedad criolla obtenido por licuefacción enzimática. *Tesis de licenciatura. Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez*.

Cultivo de mango: proceso de siembra, manejo y tiempo de cosecha [2022]. *Agrotendencia*.

Comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación

Comparison of photocatalytic degradation of methylene blue under different types of radiation

Arias-Mateo, María Cruz * ^a, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra ^b, Vital-Ocampo, Angelica Gabriela ^c y Montoya Hernández, Daniel de Jesús ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen,  NFP-7457-2025,  0000-0002-2040-5393,  849248
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen,  AAU-7723-2021,  0000-0002-1733-2867,  93717
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen,  q-3779-2019,  0000-0002-9767-6984,  94501
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen,  NBW-8911-2025,  0000-0002-6949-1907,  94496

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.47.55>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería Química
Subdisciplina: Ciencia de los materiales

Key Handbooks

En este trabajo, se presenta una comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo luz UV y luz visible; el TiO₂ es altamente activo en el rango de luz UV, pero no en el visible, por lo que se buscan alternativas para generar su actividad en la región visible, una de ellas es el dopaje del catalizador; por lo cual se establecieron distintas degradaciones donde las variables fueron el tipo de radiación [luz UV y VIS] y el fotocatalizador [TiO₂ o TiO₂/Au]. Bajo estas condiciones y dado que la lámpara de Xe que se utilizó contiene una fracción de luz UV, fue necesario bloquearla para poder evaluar la degradación solo en el rango de luz visible. Para la comparación de los resultados fue necesario analizar los espectros UV-Vis. Para aplicar los resultados es importante comprender que los diferentes tipos de radiación pueden activar los catalizadores, lo que permite comparar su desempeño y eficiencia, con la finalidad de diseñar tecnologías fotocatalíticas cada vez más eficientes y sostenibles. Todos los autores tienen el perfil deseable PRODEP; los autores Aguilar-Ucán, Vital-Ocampo y Montoya-Hernández pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Todos los autores son de la Universidad Autónoma del Carmen (Institución Pública Estatal). En el 2024 la autora Arias-Mateo tuvo 11 citas y las palabras claves más frecuentemente utilizadas son degradación fotocatalítica, catálisis y contaminantes orgánicos; Aguilar-Ucán tiene 192 citas, finalizó proyecto de CONAHCYT No. 169404 y las palabras claves más frecuentemente utilizadas son catálisis, reactores y mecanismos de reacción; los autores Vital-Ocampo y Montoya-Hernández han sido citados al menos por 30 artículos y/o tesis nacionales e internacionales, las palabras clave más utilizadas son modelo matemático, simulación, flujo multifásico y medio poroso.

Área: Impulso a la investigación de fronteras y la ciencia básica en todos los campos de conocimiento

Citación: Arias-Mateo, María Cruz, Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra, Vital-Ocampo, Angelica Gabriela y Montoya Hernández, Daniel de Jesús. 2025. Comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación. 47-55. ECORFAN.

*  [\[marias@pampano.unacar.mx\]](mailto:marias@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>



ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

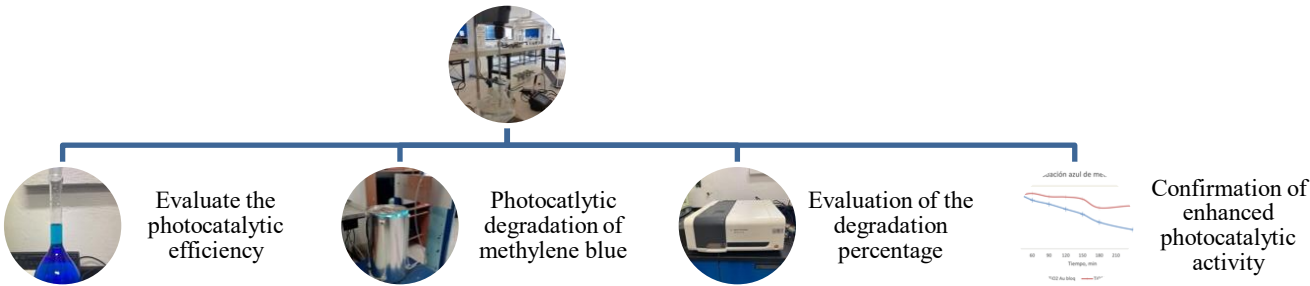
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

Heterogeneous photocatalysis has proven to be efficient in the degradation of organic contaminants, such as dyes and drugs; Within this group is methylene blue, which cannot be degraded by conventional treatment; therefore, a viable option is the heterogenous photocatalysis. In the present work, a comparison of the photocatalytic degradation of methylene blue under different types of radiation was carried out; For which a series of experiments were designed: UV bar light lamps, pen-type UV light and xenon lamps were used in the presence of TiO_2 and $\text{TiO}_2\text{-Au}$ catalysts. 100 mL of a 10 ppm methylene blue solution with a ratio of 1 g/L of catalyst was used for each reaction and samples were taken at different times, filtered, and analyzed by UV-Vis Spectroscopy.

Comparison of photocatalytic degradation of methylene blue under different types of radiation.

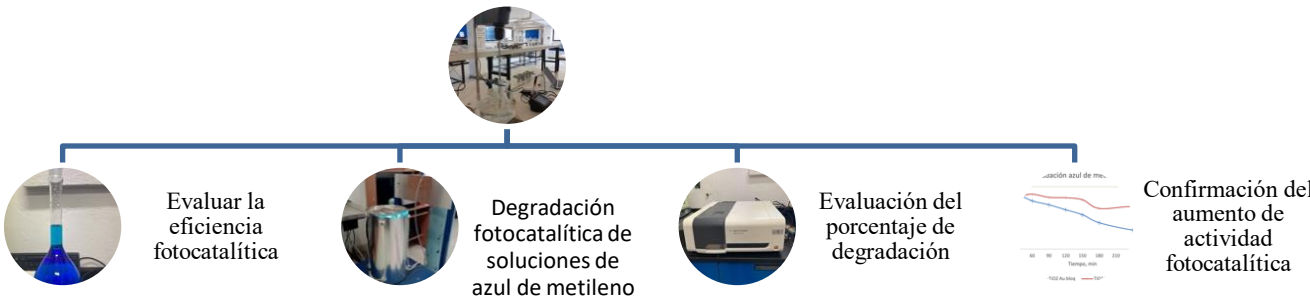


Photocatalytic degradation, methylene blue, radiation

Resumen

La fotocatalísis heterogénea ha resultado ser eficiente en la degradación de contaminantes orgánicos, como los colorantes y fármacos; dentro de este grupo se ubica el azul de metileno, el cual no es posible degradarlo por métodos de tratamiento convencionales; por lo que una opción viable es este proceso de oxidación avanzada. En el presente trabajo se realizó una comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación; para lo cual se diseñó una serie de experimentos donde se ocuparon: lámparas de luz UV de barra, luz UV tipo pluma y lámparas de xenón en presencia de los catalizadores de TiO_2 y $\text{TiO}_2\text{-Au}$. Se utilizaron 100 mL de una solución de azul de metileno de 10 ppm con una relación de 1 g/L de catalizador para cada reacción y se tomaron muestras a diferentes tiempos, se filtraron y se analizaron mediante Espectroscopía UV-Vis.

Comparación de la degradación fotocatalítica del azul de metileno bajo diferentes tipos de radiación.



Degradación fotocatalítica, Azul de metileno, Radiación

Introducción

En los últimos años se ha incrementado a un ritmo acelerado la población y con ello, un aumento en la demanda del recurso agua; por lo que se ha generado mucha preocupación en cuanto a la disponibilidad de tal recurso ya que en suma a los problemas de contaminación que prevalecen, el problema de la escasez de este vital líquido se acentúa.

Las actividades agrícolas e industriales han dado lugar a la liberación de diferentes contaminantes en los cuerpos de agua con impactos negativos en todo el mundo, lo que aumenta la necesidad de encontrar métodos de tratamiento seguros y factibles para las aguas residuales contaminadas [Rad et al., 2023].

Existen varios métodos en los que los contaminantes se eliminan mediante procesos de tratamientos convencionales; sin embargo, actualmente existe un particular interés sobre aquellos que son de tipo emergentes por su carácter recalcitrante, ya que ingresan a los cuerpos de agua a través de las descargas industriales [Peñas-Garzón et al., 2019]. Es aquí donde los procesos avanzados de oxidación se han empleado ampliamente para la eliminación de contaminantes orgánicos del agua.

De acuerdo con Nur y col [2022], la contaminación por colorantes ha atraído gran atención, ya que se usa ampliamente en industrias de textiles, teñidos, cosméticos, plásticos, farmacéutica, fotográfica y muchas otras. En el caso de las industrias textiles utilizan entre 100 y 150 litros de agua por kg de procesamiento de tejidos y contribuyen con el 17-20% de la contaminación mundial del agua reportada por el Banco Mundial. El colorante presente en los efluentes industriales consiste principalmente en sustancias tóxicas y cancerígenas que representan una grave amenaza para los seres humanos y el ecosistema marino; por lo tanto, es esencial tratar los efluentes coloreados antes de liberarlos en la corriente de agua natural para proteger el medio ambiente.

Para la eliminación de contaminantes orgánicos en las aguas residuales, se han utilizado un amplio número de técnicas, incluyendo la coagulación, la filtración con coagulación, la precipitación, la ozonización, la adsorción, el intercambio de iones, la ósmosis inversa y los procesos avanzados de oxidación [PAO] [Selim et al., 2023]. En el caso de la eliminación de tintes se han empleado métodos como la coagulación-floculación, la galvanoplastia, la precipitación, la sedimentación, la filtración [micro, ultra y nanofiltración], los cuales no han resultado ser tan efectivos, algunos suelen ser caros, requieren una gran cantidad de energía, generan productos peligrosos y residuos, y requieren períodos más largos para la remediación de los tintes; por lo que se ha recurrido a técnicas avanzadas de oxidación [Modi et al., 2023] y en donde, la fotocatálisis ha sido considerada para la degradación de los contaminantes orgánicos, incluidos dentro de ellos los colorantes sintéticos [Khan et al., 2024].

Dentro de este contexto, la fotocatálisis es uno de los procesos más investigados, donde la luz ultravioleta [UV]/visible se utiliza como fuente de energía para excitar los semiconductores, lo que conduce a la generación de radicales hidroxilos [*OH], que tienen el potencial de mineralizar los compuestos orgánicos. Además de generar radicales hidroxilo, esta tecnología promueve la formación de agujeros positivos en la superficie del catalizador, todo lo anterior contribuye a la degradación de los contaminantes [Kida & Ziembowicz, 2025].

La fotocatálisis heterogénea como tecnología avanzada de oxidación, se basa en la generación de radicales mediante las reacciones de óxido-reducción que suceden en la superficie del fotocatalizador debido a la acción de la luz UV y la presencia de un agente oxidante [Hincapié-Mejía et al., 2011]. El TiO_2 es el fotocatalizador más utilizado, ya que es un semiconductor estable, no tóxico y barato con un ancho de banda de energía de 3.2 eV. Esta brecha de banda de energía puede ser superada por la luz ultravioleta para que los electrones puedan obtener suficiente energía para salir de la banda de valencia y llegar a la banda de conducción, dejando agujeros que pueden reaccionar con el agua y producir *OH . La luz visible con alrededor del 3% de UV no proporciona suficiente energía para la excitación de TiO_2 , por lo que se da una rápida recombinación de electrones y agujeros, lo que hace que el uso de la luz visible sea ineficiente [Rad et al., 2023]; sin embargo, para mejorar este inconveniente, los avances recientes han demostrado que la modificación por dopaje por elementos metálicos, mejora la absorción en el rango de luz visible [Huang et al., 2025].

Para una mejor eficiencia fotocatalítica, el rango de absorción de luz de los fotocatalizadores de TiO_2 debe ampliarse a la luz visible. Cabe señalar que las propiedades ópticas, eléctricas y catalíticas para las aplicaciones en fotocatálisis, así como la creación de nuevos estados y defectos de energía, dependen en gran medida del método de síntesis y de la elección del dopante [Slimani et al., 2023].

De acuerdo con lo anteriormente descrito, el catalizador TiO_2 empleado para el desarrollo de esta investigación ha sido dopado con nanopartículas de oro y se analiza su desempeño tanto en el rango de luz UV como en el de luz visible, con la finalidad de evaluar los efectos que genera en la degradación del contaminante azul de metileno. Cabe mencionar que el interés de evaluar la influencia en el tipo de radiación es que se pretende que proyectos como estos sean escalables y poder aprovechar así la energía solar, la cual tiene en mayor porcentaje la luz visible.

Metodología

La presente investigación parte del interés en la degradación de contaminantes orgánicos que requieren un proceso de oxidación avanzada para ser degradado; por lo que se seleccionó el contaminante azul de metileno, el cual es muy utilizado en distintos sectores de la vida cotidiana y que ha logrado mineralizarse con el proceso de fotocatálisis heterogénea. Se sintetizó el TiO_2 siguiendo el método de sol-gel y para mejorar las propiedades del material se dopó con nanopartículas de oro, con una relación de 5% en masa; por lo que se evalúa cómo influye el tipo de radiación que se irradia en el porcentaje de degradación del azul de metileno.

Síntesis y dopaje del catalizador TiO_2 .

En un reactor de vidrio de 500 mL se mezclaron 24.34 g de butóxido de titanio marca Sigma -Aldrich con 29.6 g de 1- butanol marca J.T. Baker, dicha mezcla se mantiene en agitación a 250 rpm, después de haber transcurrido una hora, se adiciona por goteo lento 9.87 g de 1-butanol, así como 7.8 g de agua desionizada. Posteriormente, el sistema se coloca en un baño María con una temperatura constante de 65°C por espacio de 2 horas. Durante este tiempo, el reactor debe estar cerrado y conectado a un sistema de reflujo para condensar y recircular los solventes que se evaporan. Transcurridas las 2 horas, el reactor se deja en reposo durante 24 horas, a temperatura ambiente. El material obtenido se seca dentro de una mufla a 100°C durante 24 horas. Finalmente el sólido se calcina a 550°C durante 3 horas.

Dopaje del semiconductor con partículas de Au.

Para el proceso de fotodepositación se utilizó como precursor el ácido tetracloroáurico trihidratado $[\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ y la cantidad a emplear se estimó mediante la siguiente fórmula:

$$W_{\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}} = \frac{(W_{\text{Au}})(MW_{\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}})}{MW_{\text{Au}}} \quad [1]$$

Donde $W_{\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}}$ corresponde al peso del ácido tetracloroáurico trihidratado que se utilizó para depositar 5% en peso de las partículas de oro en el semiconductor.

Una vez calculada la cantidad requerida del precursor, en un reactor de vidrio se depositaron 1 g de TiO_2 , la cantidad requerida de $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 100 mL de agua desionizada y 8 mL de etanol y se mantuvo en agitación continua por una hora en fase oscura y posteriormente 5 horas bajo la irradiación de 4 lámparas UV de 365 nm y 15 W, al término del período de reacción se retiró el agua por filtración al vacío, se dejó secar a temperatura ambiente durante la noche y posteriormente se calcinó a 550°C durante 3 horas.

Degradación fotocatalítica

Para evaluar la influencia del tipo de luz irradiada en la degradación del colorante azul de metileno, se realizaron experimentos con lámparas de luz UV en forma de barra, luz UV tipo pluma y lámparas de xenón. Se prepararon soluciones de azul de metileno a una concentración de 10 ppm, la cual se mantuvo constante para todas las reacciones y se les adicionó catalizador en una relación de 1g de catalizador/L de solución.

Cada reacción inició dejando la solución 1 hora en fase oscura para la adsorción-desorción, acto seguido se encendió la lámpara. Se tomaron muestras de las soluciones en reacción cada 30 minutos las primeras 3 horas y después, cada hora hasta completar las 5 horas de reacción. Posteriormente, las muestras tomadas se filtraron con una membrana de celulosa Millipore GV [diámetro de poro 0.22 μm] y se analizaron mediante espectroscopía UV-Vis.

Cabe mencionar que para las reacciones 5 y 6 se utiliza la lámpara de Xenón que contiene una cantidad de luz UV, por lo que fue necesario bloquearla con una solución de NaNO₂, para evitar degradación en este rango de luz donde el TiO₂ es muy activo.

Las pruebas que se realizaron se resumen en la Tabla 1

Box 1

Tabla 1

Experimentos realizados para la degradación del azul de metileno

No. de reacción	Catalizador empleado	Tipo de lámpara
1	TiO ₂ -Au	UV Tipo pluma
2	TiO ₂	UV Tipo pluma
3	TiO ₂ -Au	Xenón
4	TiO ₂	Xenón
5	TiO ₂ -Au	Xenón bloqueando luz UV
6	TiO ₂	Xenón bloqueando luz UV

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de degradación de las soluciones de colorantes se determinó a partir de la ecuación 2.

% degradación = $\left(1 - \frac{A_t}{A_0}\right) * 100$

[2]

Donde A₀ es la absorbancia inicial de la solución de colorante antes de la degradación y A_t es la absorbancia de la solución de colorante a cualquier tiempo t.

Resultados

Los resultados obtenidos de las reacciones propuestas se analizan a continuación. La Figura 1 muestra la trayectoria de la degradación del azul de metileno de la solución de 10 ppm utilizando una lámpara UV tipo pluma de 365 nm y los catalizadores TiO₂-Au y TiO₂, que corresponden a las reacciones 1 y 2 mostradas en la Tabla 1. Los porcentajes de degradación fueron de 92.4 y 98.8 % respectivamente; como se sabe, el TiO₂ es muy activo en presencia de luz UV, por lo que ambos catalizadores muestran un desempeño favorable en la reacción; sin embargo, en estas reacciones no puede apreciarse un efecto positivo del dopaje del catalizador.

Box 2

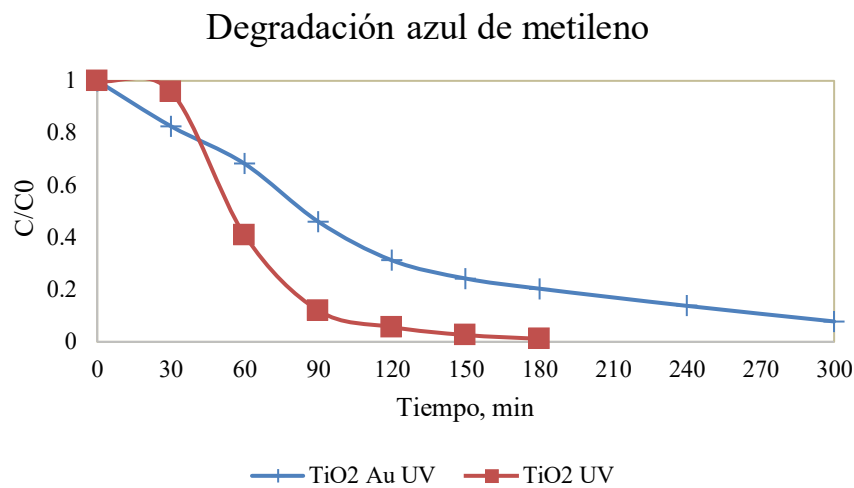


Figura 1
Degradación fotocatalítica de una solución de azul de metileno la solución de 10 ppm con lámpara UV tipo pluma y catalizadores TiO₂-Au y TiO₂.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se muestra la trayectoria que siguió la degradación de la solución de azul de metileno de 10 ppm bajo la irradiación de luz visible obtenida a partir de una lámpara de xenón y en presencia de ambos catalizadores; los porcentajes de degradación son de 99.6% para el TiO₂-Au y 98.87 % para el TiO₂. Aunque el cambio de tipo de radiación ha permitido un mayor porcentaje de degradación si comparamos la reacción 3 respecto a la reacción 1; la diferencia no es significativa pues la diferencia en los porcentajes de degradación entre los tipos de catalizadores es apenas menor al 1%.

Box 3

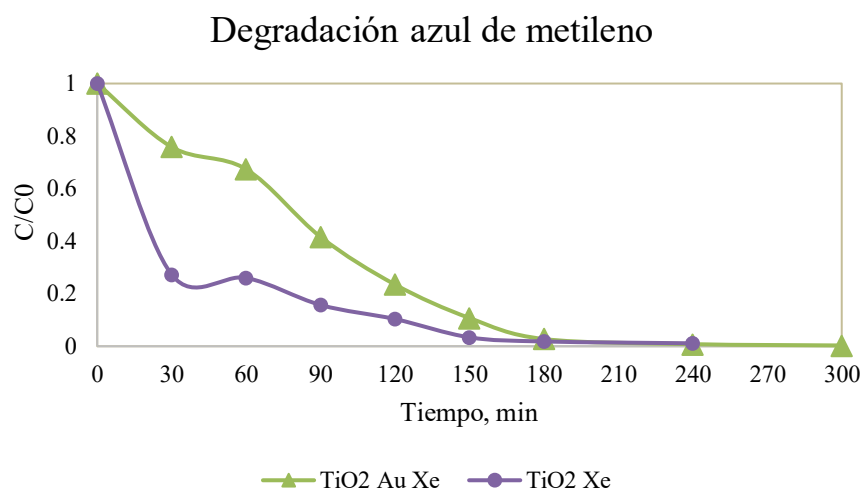


Figura 2
Degradación fotocatalítica de una solución de azul de metileno de 10 ppm con lámpara de Xe y catalizadores TiO₂-Au y TiO₂.
Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos de la degradación de solución de 10 ppm de azul de metileno, bajo la influencia de lámpara de xenón utilizando los dos tipos de catalizadores mencionados, la diferencia con las reacciones 3 y 4, es que para estas reacciones se bloqueó la luz UV presente en la lámpara con NaNO₂, dado que la lámpara de Xe contiene una fracción de luz UV, los porcentajes de degradación obtenidos fueron de 75.1 % para TiO₂-Au y 35.78 % para el TiO₂, dichos resultados muestran la efectividad del dopaje del catalizador, ya que al disminuir el ancho de banda lo hace activo a la luz visible de la lámpara.

Box 4

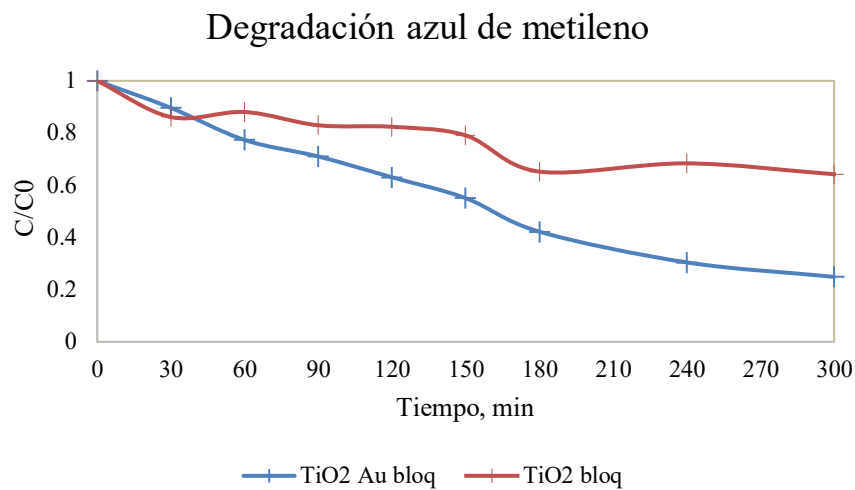


Figura 3
Degradación fotocatalítica de una solución de azul de metileno de 10 ppm con lámpara de Xe y catalizadores TiO₂-Au y TiO₂ bloqueando la luz UV

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se concentran los porcentajes de degradación obtenidos para cada una de las reacciones que se llevaron a cabo.

Box 5

Tabla 2.
Porcentajes de degradación de las muestras de 10 ppm con lámpara UV tipo pluma y de xenón.

No. de reacción	% de degradación
1	92.4
2	98.8
3	99.6
4	98.87
5	75.1
6	35.78

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 muestra que se obtuvo un mayor porcentaje de degradación utilizando TiO₂ con la lámpara UV tipo pluma en comparación con el TiO₂-Au [reacción 1 y 2], mientras que con la lámpara de Xe se obtuvo lo contrario [reacción 3 y 4], esto se atribuye a que la lámpara tiene luz visible; de tal forma que el dopaje que se le realizó al catalizador lo mejoró en ese rango de longitud de onda; sin embargo, no es significativa la diferencia ya que, el TiO₂ es muy activo a la luz UV y la lámpara de Xe contiene una fracción de ésta. Tomando en cuenta este último aspecto se analizan las reacciones 5 y 6, para las cuales se bloqueó la luz UV, obteniendo resultados muy favorables para el catalizador dopado ya que degrada 75.1% del colorante vs. el catalizador sin dopar que solo degradó el 35.78%.

Finalmente se obtienen resultados similares entre la reacción 1 y reacción 7 que corresponden a sistemas irradiados bajo luz UV, el primero con lámparas tipo pluma y el segundo en forma de barra.

Conclusiones

En este estudio se evaluó la actividad fotocatalítica de los catalizadores de TiO₂ y TiO₂-Au en la degradación del colorante azul de metileno, empleando distintas fuentes de irradiación: luz ultravioleta [UV] proveniente de una lámpara tipo pluma [365 nm] y luz visible generada por una lámpara de xenón.

Los resultados mostraron que ambos catalizadores exhiben una elevada eficiencia bajo irradiación UV, con porcentajes de degradación de 98.8 % para TiO₂ y 92.4 % para TiO₂-Au, sin observarse un efecto positivo que pueda atribuirse al dopaje en estas condiciones, dado que el TiO₂ puro posee una alta actividad bajo este tipo de radiación.

Bajo irradiación de la lámpara de xenón sin filtrado de la luz UV, ambos catalizadores también lograron altos porcentajes de degradación [99.6 % para TiO₂-Au y 98.87 % para TiO₂], evidenciando una leve ventaja para el catalizador dopado, aunque la diferencia no resultó ser significativa y se atribuye a que la lámpara contiene una fracción UV a la cual es altamente activo el TiO₂.

Al bloquear la luz UV de la lámpara de xenón mediante NaNO₂, se observó una marcada diferencia en el comportamiento de los catalizadores: TiO₂-Au alcanzó un porcentaje de degradación de 75.1 %, mientras que TiO₂ degradó únicamente el 35.78 % del azul de metileno. Estos resultados confirman que el dopaje con oro mejora la respuesta del TiO₂ en el rango de la luz visible, disminuyendo la energía de banda prohibida y favoreciendo la generación de pares electrón-hueco bajo irradiación de luz visible.

En conclusión, los resultados obtenidos ponen en evidencia que, aunque el TiO₂ presenta una alta eficiencia bajo radiación UV, el dopaje con metales como el oro constituye una estrategia efectiva para extender su actividad fotocatalítica hacia el espectro de luz visible, lo que resulta relevante para aplicaciones donde se busca un mayor aprovechamiento de la radiación solar natural.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Arias-Mateo, María Cruz y Aguilar-Ucán, Claudia Alejandra: Contribuyeron en la idea del proyecto;

Arias-Mateo, María Cruz: La realización de pruebas de laboratorio y redacción; todos los autores participaron en la interpretación de resultados y conclusiones.

Agradecimientos

A la Dra. Elvira Zarazúa Morín⁺ por las facilidades para la realización de los experimentos y a la beca CONACYT No. 634679.

Abreviaturas

PAO	Procesos avanzados de oxidación
UV	Luz ultravioleta
Xe	Xenón

Referencias

Antecedentes

Khan, S., Noor, T., Iqbal, N., & Yaqoob, L. [2024]. [Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review](#). In *ACS Omega*. American Chemical Society. 9 [20], 21751-21767.

Modi, S., Yadav, V. K., Ali, D., Choudhary, N., Alarifi, S., Sahoo, D. K., Patel, A., & Fulekar, M. H. [2023]. [Photocatalytic Degradation of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Using Nano-ZnO/Kaolin-Clay-Based Nanocomposite](#). *Water*. 15[22], 3915.

Nur, A., Sultana, M., Mondal, A., Islam, S., Nur Robel, F., Islam, A., & Aktar Sumi, M. [2022]. [A review on the development of elemental and codoped TiO₂ photocatalysts for enhanced dye degradation under UV–vis irradiation.](#) *Journal of Water Process Engineering*.

Peñas-Garzón, M., Gómez-Avilés, A., Bedia, J., Rodriguez, J. J., & Belver, C. [2019]. [Effect of activating agent on the properties of TiO₂ /activated carbon heterostructures for solar photocatalytic degradation of acetaminophen.](#) *Materials*. 12[3], 378.

Selim, H., Sheha, E. R., Elshypany, R., Raynaud, P., El-Maghrabi, H. H., & Nada, A. A. [2023]. [Superior Photocatalytic Activity of BaO@Ag₃PO₄ Nanocomposite for Dual Function Degradation of Methylene Blue and Hydrogen Production under Visible Light Irradiation.](#) *Catalysts*. 13[2], 363.

Básicos

Hincapié-Mejía, G. M., Ocampo, D., Restrepo, G. M., & Marín, J. M. [2011]. [Fotocatálisis heterogénea y foto-fenton aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel.](#) *Información Tecnológica*. 22[2], 33–42.

Kida, M., & Ziembowicz, S. [2025]. [The Influence of Ultraviolet Radiation, Ozonation, and Ultrasonic Field on the Effectiveness of Dye Removal from Aqueous Solutions.](#) *Applied Sciences*. 15[5], 2373.

Soporte

Huang, Y., Li, M., & Liu, J. [2025]. [Photocatalytic Degradation of Mycotoxins by Heterogeneous Photocatalysts.](#) *Catalysts*. 15 [2], 112.

Rad, S. M., Ray, A. K., & Barghi, S. [2023]. [Enhancing Photon Transfer Efficiency in Photocatalysis Using Suspended LED Lights for Water Treatment.](#) *Reactions*. 4[2], 246–253.

Slimani, Y., Almessiere, M. A., Mohamed, M. J. S., Hannachi, E., Caliskan, S., Akhtar, S., Baykal, A., & Gondal, M. A. [2023]. [Synthesis of Ce and Sm Co-Doped TiO₂ Nanoparticles with Enhanced Photocatalytic Activity for Rhodamine B Dye Degradation.](#) *Catalysts*. 13[4], 668.

Variabilidad fisicoquímica y proyección de escenarios climáticos sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos, Campeche

Physicochemical variability and climate scenario projections on dissolved oxygen in the Terminos Lagoon, Campeche

Canedo-López, Yunuén * ^a, Ruiz-Marín, Alejandro ^b y Ayala-Coronado, Kenya Amaranta ^c

^a  Universidad Autónoma del Carmen •  JHU-3969-2023 •  0000-0003-1791-4899 •  91434
^b  Universidad Autónoma del Carmen •  MYS-5428-2025 •  0000-0001-5075-9611 •  208285
^c  Universidad Autónoma del Carmen •  MZR-5720-2025 •  0009-0004-8216-4216 •  1314547

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.56.70>

Área: Física, Matemáticas y Ciencias de la Tierra
Campo: Ciencias de la Tierra y del Espacio
Disciplina: Oceanografía
Subdisciplina: Oceanografía química

Key Handbooks

Esta investigación aporta significativamente a la ciencia y tecnología al calibrar un modelo de transferencia de oxígeno [R=0.8] que permite proyectar escenarios de impacto del cambio climático sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos. Los aspectos clave para la generación de conocimiento universal incluyen la metodología de monitoreo sistemático durante cuatro años [2021-2024], la aplicación del modelo matemático para escenarios de incremento térmico, y la correlación entre variables fisicoquímicas y factores ambientales en sistemas lagunares costeros. Se concluye que la laguna es vulnerable al calentamiento global y que el modelo puede optimizarse con datos adicionales de productividad primaria y variables ambientales.

Área: Incidencia y atención de problemáticas nacionales.

Citación: Canedo-López, Yunuén, Ruiz-Marín, Alejandro y Ayala-Coronado, Kenya Amaranta. 2025. Variabilidad fisicoquímica y proyección de escenarios climáticos sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos, Campeche. 56-70. ECORFAN.

* ✉ [ycanedo@pampano.unacar.mx]

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>

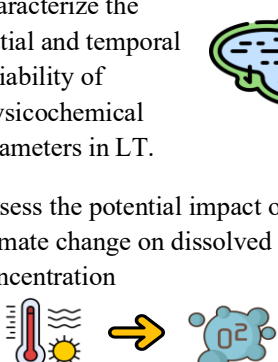


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

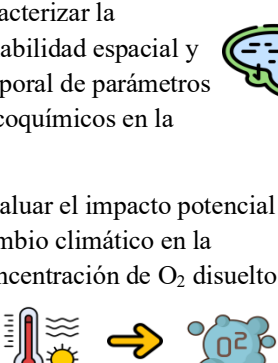
This study characterizes the spatial and temporal variability of key physicochemical parameters in the Terminos Lagoon [LT] during the rainy season [September] from 2021 to 2024, and assesses the potential impacts of climate change on dissolved oxygen [DO] concentrations using predictive scenarios of temperature increase. In situ measurements of temperature, salinity, pH, conductivity, and DO were taken across 36 sampling stations. A dissolved-oxygen transfer model calibrated with field data [R=0.8] indicates that DO levels remain above 6 mg L⁻¹ with temperature rises up to 10 °C, but drop below 4 mg L⁻¹ beyond a 37 °C ± 2 threshold, entering critical hypoxic conditions. The findings underscore the lagoon’s vulnerability to warming and the need for continuous environmental monitoring.

Physicochemical variability and climate scenario projections on dissolved oxygen in the Terminos Lagoon, Campeche		
Objectives	Methodology	Contribution
Characterize the spatial and temporal variability of physicochemical parameters in LT. Assess the potential impact of climate change on dissolved O₂ concentration 	In situ measurements of physicochemical parameters at 36 sampling stations (rainy season).  Mathematical model to evaluate thermal increase scenarios (0.2°C to 15°C). 	Correlation between measured and simulated DO values (R=0.8).  Temperatures above 37°C ± 2°C reduce the DO to critical levels (<4 mg/L).  High vulnerability of the LT to global warming. 

Coastal lagoon; Dissolved oxygen; Climate change scenarios

Resumen

Este estudio describe la variabilidad espacial y temporal de variables fisicoquímicas en la Laguna de Términos [LT] durante la temporada de lluvias [septiembre] de 2021 a 2024, y evalúa el posible impacto del cambio climático en las concentraciones de oxígeno disuelto [OD] mediante escenarios de incremento térmico. Se realizaron mediciones in situ de temperatura, salinidad, pH, conductividad y OD en 36 estaciones de muestreo. El modelo de transferencia de oxígeno, calibrado con datos de campo [R=0.8], predice que los niveles de OD se mantienen por encima de 6 mg L⁻¹ con aumentos de hasta 10 °C, pero descienden por debajo de 4 mg L⁻¹ al superar 37 °C ± 2, entrando en condiciones críticas de hipoxia. Estos resultados resaltan la vulnerabilidad de la laguna y la necesidad de monitoreo continuo.

Variabilidad fisicoquímica y proyección de escenarios climáticos sobre el oxígeno disuelto en la Laguna de Términos, Campeche		
Objetivos	Metodología	Contribución
Caracterizar la variabilidad espacial y temporal de parámetros fisicoquímicos en la LT. Evaluar el impacto potencial del cambio climático en la concentración de O₂ disuelto. 	Mediciones <i>in situ</i> de parámetros fisicoquímicos en 36 estaciones de muestreo (temporada de lluvias).  Modelo matemático para evaluar escenarios de incremento térmico (0.2°C a 15°C). 	Correlación entre valores medidos y simulados de OD (R=0.8).  Temperaturas superiores a 37°C ± 2°C reducen el OD a niveles críticos (<4 mg/L).  Alta vulnerabilidad de la LT ante el calentamiento. 

Laguna costera; Oxígeno disuelto; Escenarios climáticos

Introducción

El impacto generado en zonas costeras se ha atribuido al crecimiento poblacional y a las actividades antropogénicas, ocasionado cambios en el uso del suelo, en el hábitat de flora y fauna, cambios en la química del agua, así como el balance de los ciclos biogeoquímicos y la diversidad de la vida en la tierra, lo que ha llevado a la necesidad de realizar estudios y desarrollar enfoques aptos que encaucen las acciones tendientes a un manejo integral adecuado de las zonas costeras [Gameiro et al., 2004; Usang et al., 2025].

El manejo adecuado de la zona costera ha tomado especial relevancia debido a las diversas problemáticas ambientales ocasionadas por las actividades económicas, lo que ha ocasionado el surgimiento acelerado y no planeado de centros de población, que demandan espacios de vivienda y servicios, mismos que contribuyen con el enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo, que provienen de las descargas o vertimientos clandestinos de residuos industriales o de servicios, escorrentías de tierras agrícolas y actividad ganadera [Newton et al., 2014]. Por otro lado, se reconoce como una problemática ambiental la depositación atmosférica de compuestos liberados durante la combustión incompleta de combustibles fósiles [Antonio-Durán et al., 2025; Lee et al., 2024].

Las zonas costeras reciben una gran cantidad de aportes externos como sedimentos y contaminantes provenientes de ríos tributarios, además de los provenientes de la zona marina y del desarrollo urbano y por actividades antropogénicas, por lo que ejercen fuertes presiones en el equilibrio ecológico [He & Xu, 2015]. Tal es el caso de las zonas costeras del Golfo de México, donde una de las actividades más desarrolladas en los últimos años, ha sido la actividad petrolera costa afuera y en tierra, así como el desarrollo de actividades económicas como la industrial, comercial y de servicios, residencial, pesquera y turística que, a su vez han traído consigo un importante crecimiento poblacional y demanda de viviendas y servicios [Villalobos-Zapata et al., 1999; Pulster et al., 2020].

Es un hecho que las lagunas costeras y estuarios se ubican entre los ecosistemas de mayor productividad, la cual depende de muchos factores, entre los que se encuentra la disponibilidad de luz y nutrientes para la comunidad fitoplanctónica [Pérez-Ruzafa et al., 2024]. Estos factores a su vez se ven modificados por los aportes fluviales y los intercambios mareales, los cuales alternarán su dominancia en función de las principales épocas climáticas que se presentan a lo largo del año. Las lagunas costeras son ambientes muy importantes de los que dependen una gran variedad y cantidad de recursos biológicos y comunidades humanas, como es el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Sin embargo, este ecosistema ha sido sometido cada vez más a presiones como consecuencia de las actividades humanas, por lo que se hace indispensable conocer adecuadamente sus características físicas y químicas.

La temperatura es una de las variables fisicoquímicas de importancia en la biosfera, dado que afecta el movimiento de las partículas, la dinámica de los fluidos, las constantes de saturación de los gases disueltos en agua, el metabolismo de los organismos y otros factores directa o indirectamente relacionados con la vida. Típicamente la mayor fuente de calor en el agua es la radiación solar, particularmente cuando la luz penetra directamente en la superficie del agua [Johnson & Jones, 2000]. Sin embargo, existen otros factores como el transporte de calor de las aguas subterráneas el cual importante en el control de la temperatura de un cuerpo de agua [Baxter & Hauer, 2000; Mellina et al., 2002]. Por lo tanto, la temperatura juega un papel vital en la presencia o ausencia de los microorganismos de vida acuática [Ebersole et al., 2001]. Se podría esperar que el cambio climático incremente la temperatura, ocasionando un nivel mayor en muchos lagos costeros. Es un hecho, que el cambio climático puede tener considerables implicaciones en la estratificación de los lagos, estudios empleando modelos predictivos han sugerido que el incremento en la temperatura puede ocasionar impactos en la concentración de oxígeno disuelto [OD] en el agua [Lehman, 2002].

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las principales variables fisicoquímicas de la Laguna de Términos durante la temporada de lluvias [septiembre] en el periodo 2021-2024, y evaluar el impacto potencial del cambio climático — mediante escenarios de incremento de temperatura— sobre la concentración de oxígeno disuelto [OD], con el fin de fundamentar la necesidad de crear observatorios ambientales que permitan un monitoreo continuo y una mejor comprensión del funcionamiento del sistema costero.

Materiales y métodos

Área de estudio

La Laguna de Términos [LT] que se encuentra dentro del estado de Campeche. Esta zona fue decretada desde 1994 como Área de Protección de Flora y Fauna [APFFLT], ya que posee gran importancia ecológica y además de su categoría de protección por la CONANP, es considerado desde 2004 como Humedal de Importancia Internacional por la Convención de Ramsar y forma parte de la Región Terrestre Prioritaria no. 144 llamada “Pantanos de Centla”, su zona marina forma parte de la Región Marina Prioritaria “Pantanos de Centla-Laguna de Términos”, además es Región Hidrológica Prioritaria y Área de Importancia para la Conservación de las Aves [AICAS], por la Comisión Nacional para el Uso y Manejo de la Biodiversidad [CONABIO].

El APFFLT se ubica en la zona costera del estado de Campeche, entre el Río San Pedro y San Pablo al occidente y el área de drenaje del Estero de Sabancuy hacia el Oriente, con una superficie de 706,147.67 ha, de las cuales 351,582 ha son de superficie terrestre [49.87%] y 353, 434 ha son de superficie acuática [50.13%] [SEMARNAT & CONAGUA, 2015].

La Laguna de Términos tiene dos bocas que la comunican con el mar, la de Puerto Real del lado este y El Carmen [Figura 1], del lado oeste y está en la zona de transición entre la topografía calcárea baja y las llanuras aluviales del Golfo de México [Amezcu-Linares & Yáñez-Arancibia, 1978]. La laguna posee forma elipsoidal en dirección este-oeste, con 70 km de longitud y 30 km en la zona de más anchura, siendo su área de 1700 km². La Laguna de Términos obtiene sus principales aportaciones del sistema Candelaria-Panlau formado por la confluencia de los ríos Candelaria y Mamantel y del sistema Chumpan Balchacah.

La descarga total media anual de los ríos a la Laguna de Términos se ha estimado en 6×10^9 m³. El agua que entra a la laguna es a través de la boca de Puerto Real y sale por la boca Del Carmen con un flujo neto de hasta 1350 m³ s⁻¹. Estas dos entradas oceánicas son sustancialmente más profundas que el resto de la laguna, la entrada situada al occidente posee 3.4 km de ancho y una profundidad máxima de 17 m y la entrada oriental con 3.2 km de ancho y una profundidad máxima de 12 m. La circulación media de la laguna cambia de modo intermitente de un flujo Este a Oeste y se comporta como dos unidades hidrológicas casi independientes con su respectivo aporte proveniente de la marea [Smith et al., 1997].

Los márgenes de la Laguna de Términos están cubiertos por manglares siendo *Rhizophora mangle* el más abundante y, para las zonas con alta influencia fluvial es el manglar negro. La vegetación existente son pastos marinos como *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme*. Los extensos humedales que rodean la Laguna Términos proporcionan condiciones óptimas para la migración y reproducción de multitud de especies incluyendo lubina, mariscos, camarón y manatíes, entre otras. Esta región también alberga la mayor densidad de delfines dentro del Golfo. Además, esta zona protegida representa uno de los hábitats de invernada más significativos para las especies aviares en el Golfo de México, y su diversidad de flora y fauna marina y terrestre es considerada como excepcionalmente alta [Yáñez-Arancibia & Day Jr, 1988]. Además, se ha reportado que para la Laguna de Términos la producción neta promedio del fitoplancton en el estero es de 300 g cm² año⁻¹ y en la laguna de aproximadamente 200 g cm² año⁻¹ [Day Jr et al., 1988].

La Laguna de Términos presenta cuatro temporadas climáticas claramente definidas según análisis recientes de precipitaciones. La temporada seca ocurre de febrero a abril, caracterizada por lluvias mínimas. Mayo constituye un período de transición con precipitaciones considerablemente mayores y más variables que los meses previos. La temporada húmeda se extiende de junio a septiembre con lluvias abundantes. Finalmente, la temporada de "nortes" abarca de octubre a marzo, solapándose parcialmente con la temporada seca, y se distingue por los fuertes vientos del norte que afectan la región [Guerra-Santos & Kahl, 2018].

Programa de monitoreo

El estudio se realizó entre 2021 y 2024 en la Laguna de Términos, enfocándose principalmente en la temporada de lluvias. Se establecieron 36 estaciones de muestreo distribuidas de acuerdo con las diferentes zonas hidrológicas características de la laguna [Figura 2].

Modelo de oxígeno disuelto

Los niveles de saturación de oxígeno disuelto en la Laguna de Términos se emplearon para calibrar el modelo descrito por Thomann & Mueller [1987] el cual describe el mecanismo de transferencia de oxígeno de la atmósfera a un cuerpo de agua. Si un cuerpo de agua está en equilibrio con la atmósfera alcanzará un nivel fijo de oxígeno en relación con la temperatura. Bajo estas condiciones se alcanzarán niveles de saturación de oxígeno como lo describe la ley de Henry, la cual menciona que el peso de cualquier gas que se disuelve en la columna de agua a temperatura constante es directamente proporcional a la presión que ejerce sobre el líquido. Por lo tanto, la ecuación de Henry se describe como:

$$P = H_e C_s \quad [1]$$

Donde P es la presión parcial de O₂ [mm Hg]; C_s es la concentración de oxígeno saturado [OD] en el líquido [mg L⁻¹] y H_e es la constante de la ley de Henry [mm Hg mg⁻¹ L⁻¹]. De una forma adimensional se tiene que:

$$H_e = 16 \frac{M}{T} \frac{P [mm Hg]}{C_s [mg L^{-1}]} \quad [2]$$

Donde T es la temperatura [°K]; M es el peso molecular [g gmol⁻¹]; H_e tiene unidades en mg L⁻¹ en la fase líquida. Por lo tanto, el peso molecular del O₂ es 32, la presión parcial 158 mm Hg y un valor de saturación de 14.2 mg L⁻¹, el valor de la constante de Henry es 21. El nivel de saturación del OD [C_s] en equilibrio con la atmósfera depende de la temperatura, salinidad y presión.

Para determinar el valor de saturación de OD a nivel del mar en función de la temperatura y salinidades se utilizó la ecuación 3.

$$\ln C_{sf} = -139.344 + \frac{1.576 \times 10^5}{T} - \frac{6.642 \times 10^7}{T^2} + \frac{1.244 \times 10^{10}}{T^3} - \frac{8.622 \times 10^{11}}{T^4} - [0.04662 * T] \quad [3]$$

Donde C_{sf} es la concentración de OD saturado en agua [mg L⁻¹ a 1 atm]; Ln es el logaritmo natural, T la temperatura [°K].

Para determinar el efecto de la presión barométrica se empleó la ecuación 4.

$$C_{sp} = C_{so} P \left[\frac{[1 - \frac{P_{wv}}{P}][1 - \theta P]}{[P - P_{wv}][1 - \theta]} \right] \quad [4]$$

Donde C_{sp} es OD saturado a determinada P [mg L⁻¹]; C_{so} es el OD saturado a nivel del mar; P es la presión no estándar [atm]; P_{wv} es la presión parcial de vapor de agua [atm], determinada por la ecuación 5.

$$\ln P_{wv} = 11.8571 - \left(\frac{3840.7}{T} \right) \quad [5]$$

$$\theta = 0.000975 - [1.426 \times 10^{-5} T^2 + 6.436 \times 10^{-8} T^2] \quad [6]$$

Con T [temperatura] en °C.

La presión barométrica a determinada altitud [P] en atmósferas, se estimó de acuerdo con la ecuación 7.

$$P = P_0 - \left[0.02667 \frac{\Delta H}{760} \right] \quad [7]$$

Donde P₀ es la presión barométrica o presión atmosférica [mm Hg]; ΔH es la diferencia de elevación entre la estación 0 y H [ft].

Coefficiente de Re-aireación

En los cuerpos de agua, el intercambio de oxígeno se lleva a cabo en el área interfacial de la superficie del agua. El coeficiente de re-aireación del oxígeno en agua depende de varios factores, como es la dinámica de mezcla y el grado de turbulencia, así como la velocidad de flujo, temperatura, velocidad del viento, entre otras. La ecuación de O'Connor's para determinar este coeficiente se basa en la ecuación [Thomann & Mueller, 1987].

$$K_a = \frac{K_L}{H} \tag{8}$$

Donde, K_L es el coeficiente de transferencia de viento [m día^{-1}]; H = Profundidad [ft]

En el caso de lagos, la transferencia de oxígeno desde la atmósfera hacia la capa superficial es significativo, debido a la turbulencia o velocidad del viento que se genera sobre estos ecosistemas, dando como resultado un incremento de re-aireación. Por lo tanto, el coeficiente de transferencia puede determinarse con la ecuación 9.

$$K_L = 0.728U_W - 0.31U_W^{0.5} + 0.372U_W^2 \tag{9}$$

Donde U_W es la velocidad del viento [m s^{-1}] a 10 m sobre la superficie del agua.

Resultados

El sistema Laguna de Términos durante la temporada de lluvias mostró variaciones de temperatura con diferencias significativas [ANOVA $P \leq 0.05$] entre las diferentes campañas de muestreo de muestreo, obteniéndose las mínimas de 26 °C a máximas de 34 °C [Figura 3]. La temperatura promedio registrada desde el año de referencia 2007 a un periodo de 2021 a 2024 fue de 29.4 °C a 30.89 °C [Tabla 1], sugiriendo que los cambios que ocurren en la temperatura son de baja variabilidad durante la temporada de lluvias.

Durante la temporada de lluvias, la influencia combinada del océano adyacente y de las descargas fluviales moldeó tanto el gradiente de salinidad como los niveles de oxígeno disuelto [OD] en la Laguna de Términos. En particular, el aporte de materia orgánica por los ríos provocó disminuciones puntuales de OD, con valores que oscilaron entre 2 y 10 mg L^{-1} [Figura 3], aunque las diferencias globales entre campañas no resultaron significativas [ANOVA $P \geq 0.126$], manteniéndose el promedio entre 7.3 y 10.10 mg L^{-1} [Tabla 1].

Este comportamiento concuerda con estudios previos que relacionan la descomposición microbiana de los materiales orgánicos transportados con el consumo de oxígeno, generando condiciones de hipoxia o incluso anoxia.

Por ejemplo, Ghandourah et al. [2023] demostraron en lagunas costeras del Mar Rojo oriental que elevados aportes orgánicos aceleran la deficiencia de OD, y Marinov et al. [2008] documentaron un aumento del metabolismo anaeróbico en aguas profundas bajo similar influencia orgánica.

Box 3

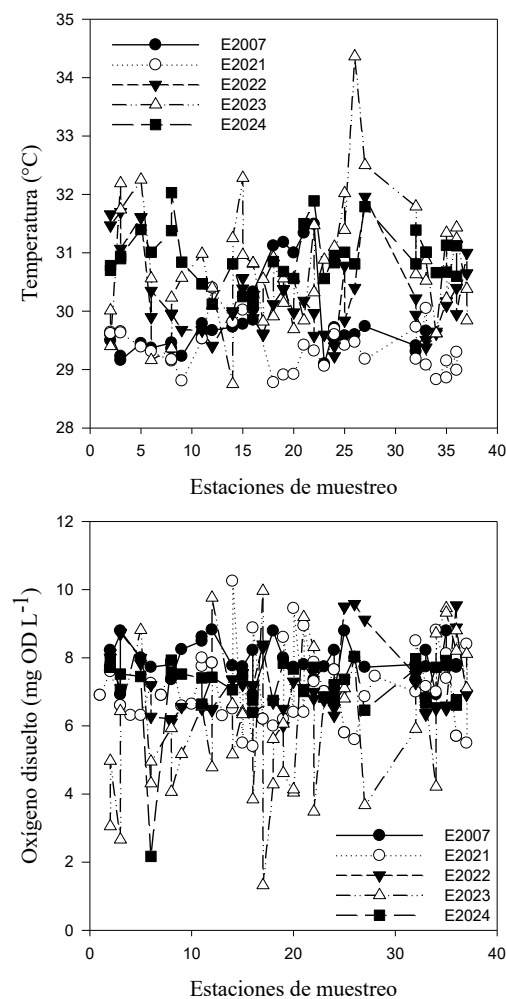


Figura 3
Variación de temperatura y oxígeno disuelto en las estaciones de la Laguna de Términos durante las campañas de muestreo 2007 y 2021-2024.

Fuente: elaboración propia.

De manera similar, las mediciones de salinidad exhibieron una variabilidad considerable con diferencias estadísticamente significativas [ANOVA $P \leq 0.05$], que van desde un mínimo de 15 UPS hasta un máximo de 37 UPS [Figura 4].

Los valores medios registrados a lo largo de las campañas de muestreo fluctuaron entre 27.94 y 37.9 UPS. Las variaciones en la salinidad dentro de Laguna de Términos están intrínsecamente ligadas a los insumos de precipitación, los cuales juegan un papel fundamental en la atenuación de la salinidad durante periodos que coinciden con la descarga del río.

La salinidad en las lagunas costeras está determinada por la interacción entre aportes de agua dulce y salada, conformando ambientes salobres con un gradiente salino que disminuye desde la conexión con el mar hacia las desembocaduras internas de los ríos [UNAM, 1983].

Este gradiente es resultado de la mezcla de agua marina y fluvial, influenciada por factores como las mareas, las precipitaciones y la evaporación. Las corrientes internas también juegan un papel crucial, ya que afectan la distribución de materiales orgánicos e inorgánicos a lo largo del sistema lagunar [Tenorio-Fernández, 2015].

Box 4

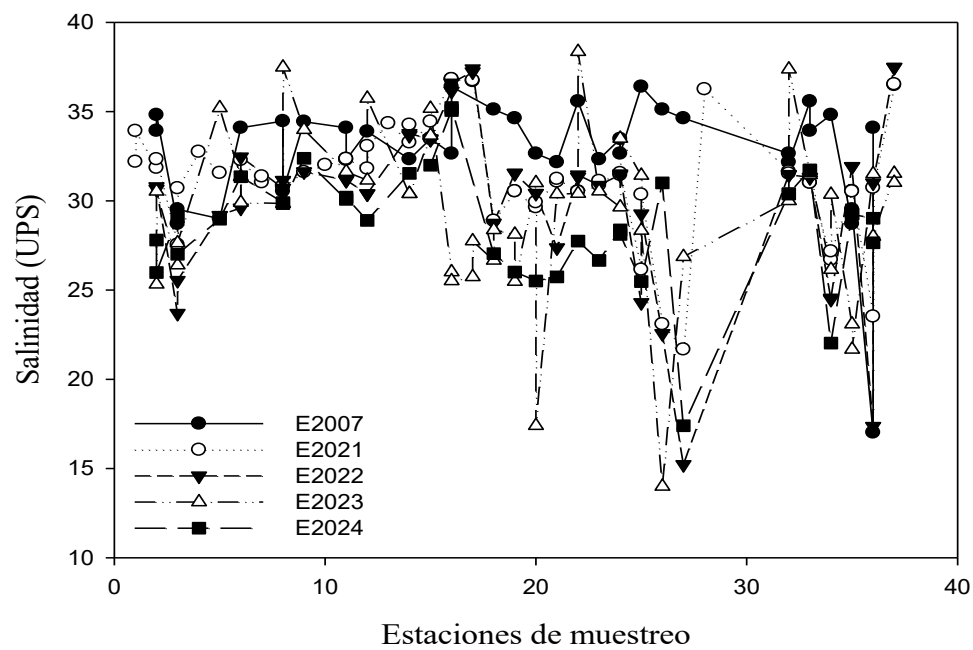


Figura 4
Variación de la salinidad [UPS] en las estaciones de muestreo las estaciones de la Laguna de Términos durante las campañas de muestreo 2007 y 2021-2024.
Fuente: elaboración propia.

Distribución Espacial

La distribución espacial de salinidad y OD muestra la influencia de los aportes de ríos causando una disminución de la concentración de ambos parámetros en la temporada de lluvia, sugiriendo que el aumento de materia orgánica podría contribuir a la disminución de oxígeno disuelto. Los valores más bajos de OD se observan en zonas cercanas a las descargas de ríos y zonas de baja profundidad con valores que van desde 1.2 a 1.5 m [Figura 5 y 6].

Box 5

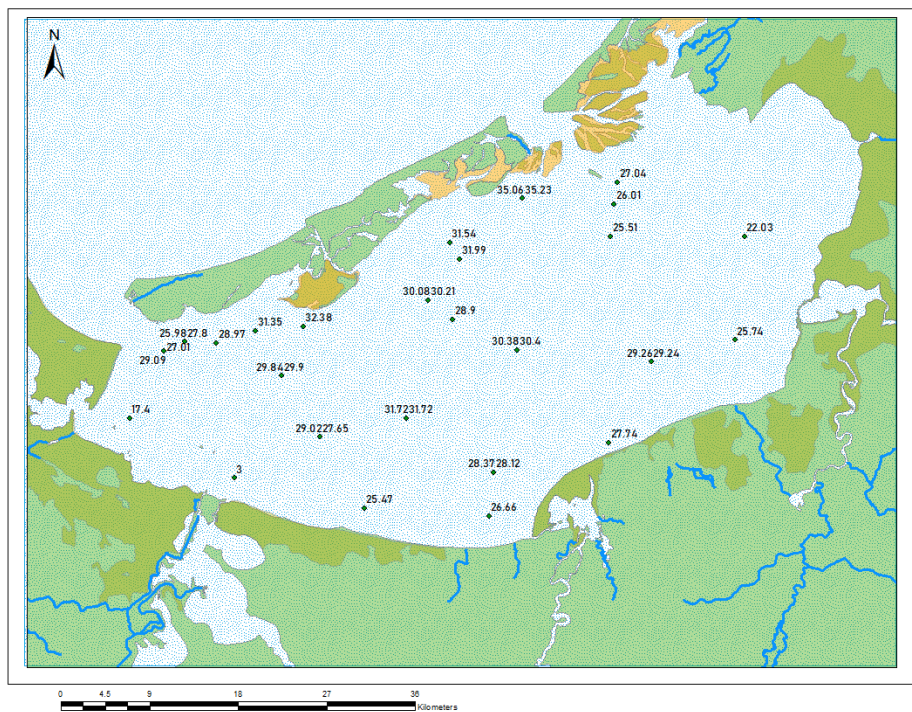


Figura 5
Distribución espacial de salinidad [UPS] en la Laguna de Términos, campaña 2023
Fuente: elaboración propia.

Box 6

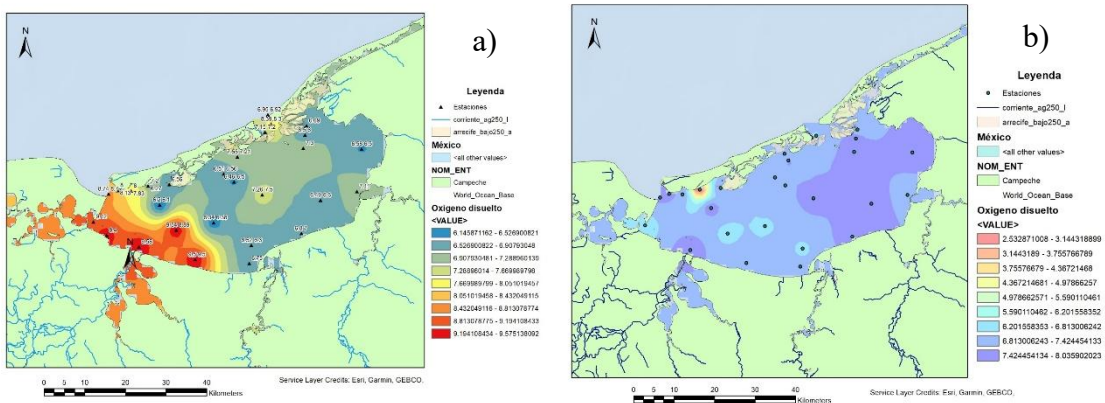


Figura 6
Distribución espacial de oxígeno disuelto [OD] en la Laguna de Términos. a) Campaña 2022 b) Campaña 2024.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la distribución de temperatura en la Laguna de Términos durante las campañas de muestreo, indica que existe un aumento mínimo en zonas de baja profundidad [menos de 1 m], observándose poca variación en el resto de la laguna [Figura 7].

Calibración del modelo

El resultado de la calibración fue a partir de los datos obtenidos de OD en la columna de agua de la Laguna de Términos, así como el uso de valores de temperatura y salinidad obtenidos de las campañas de muestreo 2021-2024. Del proceso de calibración se obtuvo una correlación entre el OD medido y el OD simulado [Csf y Csp] de R=0.8 [Tabla 1].

Box 7

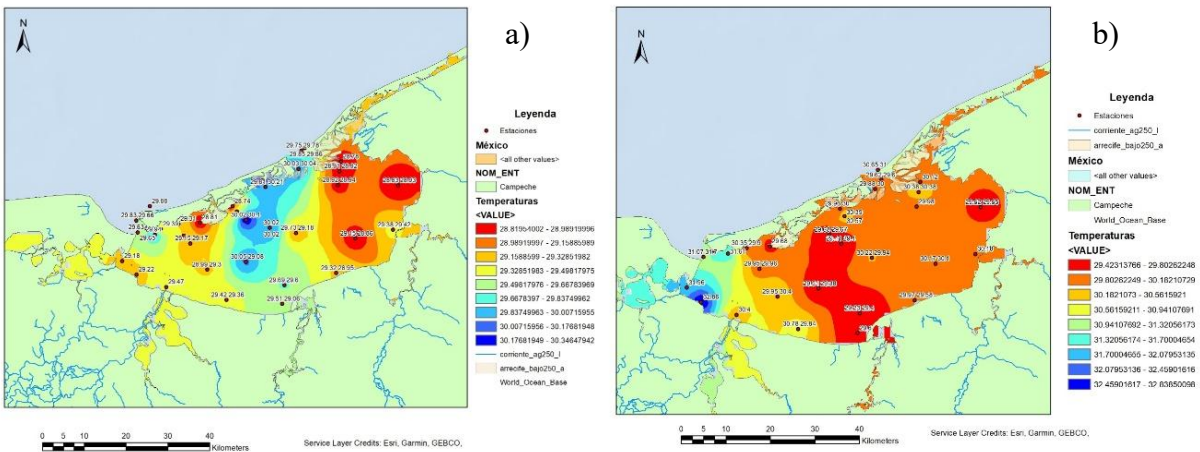


Figura 7
Distribución espacial de temperatura [°C] en la Laguna de Términos. a) Campaña 2021, b) Campaña 2022

Fuente: elaboración propia.

A partir de esta línea base, con un coeficiente de re-aireación de $2.7 \text{ m d}^{-1} \text{ ft}^{-1}$, se evaluaron escenarios de incremento térmico anual de $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El modelo predice que, hasta un aumento de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [$X = 37 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$], las concentraciones de OD se mantendrían por encima de 6 mg L^{-1} ; sin embargo, al superar los $37 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, el OD descendería por debajo de 4 mg L^{-1} , entrando en zona crítica [Figura 8]. Estos valores contrastan con los niveles óptimos de $5\text{--}14 \text{ mg L}^{-1}$ requeridos para una vida acuática saludable [Instituto del Agua, s/f] y con los 2 mg L^{-1} que definen condiciones de hipoxia severa [Instituto del Agua, s/f; U.S.EPA, 2025], subrayando la elevada vulnerabilidad de la Laguna de Términos ante el calentamiento global. Mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto es esencial para preservar la biodiversidad y la salud de los ecosistemas acuáticos.

En lagunas costeras, donde las temperaturas pueden variar considerablemente debido a factores climáticos y estacionales, la disminución del OD por aumento de temperatura puede ser especialmente crítica. Estas lagunas suelen ser poco profundas, lo que las hace más susceptibles a cambios térmicos rápidos. Además, la combinación de temperaturas elevadas y aportes de materia orgánica [por ejemplo, desde ríos o escorrentías] puede intensificar la desoxigenación, ya que la descomposición de esta materia consume oxígeno adicional [Zhang et al., 2025].

Box 8

Table 1
Valores promedio de parámetros fisicoquímicos en la Laguna de Términos y valores de transferencia de oxígeno en agua del ecosistema

Parámetros	Unidades	Años de estudio				
		2007	2021	2022	2023	2024
pH	-	9.39±0.012	7.59±0.025	ND	7.18±0.40	9.39±0.012
Temperatura	°C	29.83±0.46	29.41±0.15	30.19±0.48	30.74±0.01	30.89±0.21
Salinidad	UPS	32.38±18.15	31.41±9.98	30.38±20.53	37.90±41.29	27.99±29.32
Conductividad	µS cm ⁻¹	49.13±36.49	52.36±27.36	51.14±23.02	ND	44.58±21.79
O ₂ [medido]	mg L ⁻¹	7.91±0.29	8.5±0.16	7.32±1.04	10.10±0.18	7.15±0.97
Ka[medido]	[m d ⁻¹ ft ⁻¹]	1.95	2.4	2.18	2.18	2.26
O ₂ [Csf] estimado	mg L ⁻¹	7.75	7.89	7.81	7.37	7.81
O ₂ [Csp] estimado	mg L ⁻¹	7.60	6.78	7.03	9.67	6.86

Fuente: elaboración propia

Box 9

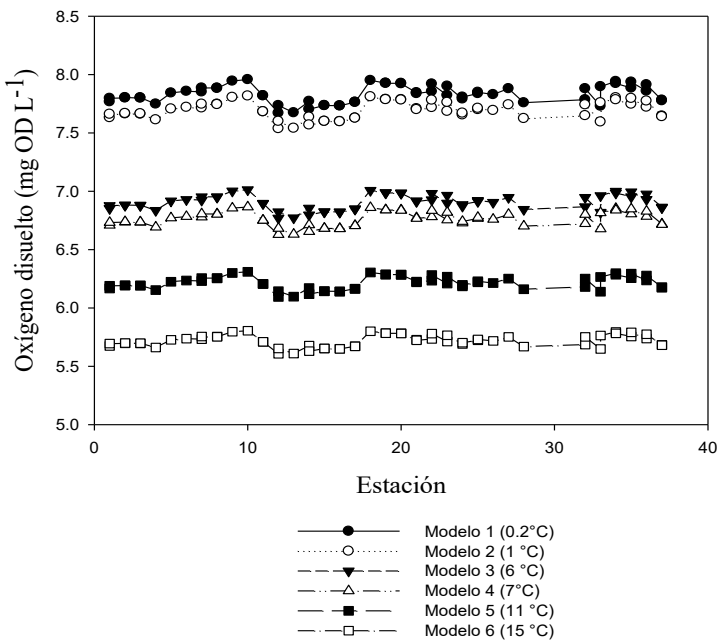


Figura 8
Variación del contenido de OD [mg L⁻¹] en relación con el aumento de la temperatura en la columna de agua de la Laguna de Términos.
Fuente: elaboración propia.

Un estudio reciente indica que el calentamiento global es una de las principales causas de la pérdida de oxígeno en ecosistemas acuáticos, contribuyendo en un 55% a la desoxigenación global de los lagos. A medida que las temperaturas aumentan, el oxígeno se disuelve menos en las aguas más cálidas, acelerando la desoxigenación [Zhang et al., 2025].

En resumen, el aumento de la temperatura en lagunas costeras puede reducir significativamente los niveles de oxígeno disuelto, afectando la biodiversidad y la salud general del ecosistema acuático.

Conclusiones

La falta de información de campo limita las estimaciones del modelo, en la medida que se obtenga más información el desempeño del modelo puede mejorar y se podrá reportar estimaciones más confiables. El modelo también puede mejorar en la medida de que algunas variables como velocidad del viento y radiación solar, productividad, metabolismo, etc, se incluyan como variables dinámicas y no sean datos constantes. Por otro lado, el modelo no considera el efecto de las concentraciones de oxígeno disuelto de las entradas de agua por precipitación, escurrimiento superficial y los aportes de aguas residuales ubicado en los alrededores de la laguna.

Sin embargo, el modelo obtuvo una correcta correlación entre los valores de OD medidos y los estimados en el presente estudio, lo cual significa que se puede establecer y comprender el efecto del aumento de temperatura sobre la concentración de oxígeno y el momento en que el ecosistema puede llegar a una situación crítica, esto ha sugerido que la elevación de temperatura en agua mayor $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, lleva a una disminución de la tasa de transferencia de oxígeno. En futuras investigación, es necesario incorporar la productividad primaria en el modelo para estimar el efecto adverso en organismos y el metabolismo neto, así como el consumo de oxígeno utilizado en la degradación de materia orgánica.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Los tres autores participaron de manera equitativa en todas las etapas del desarrollo de esta investigación, incluyendo el análisis estadístico de los datos, la aplicación del modelo matemático, la búsqueda bibliográfica, la discusión de resultados y la redacción del manuscrito. Todos revisaron y aprobaron la versión final del documento.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos generados y analizados durante el presente estudio están disponibles previa solicitud razonable al autor correspondiente. Actualmente no se encuentran en un repositorio público debido a restricciones de formato y organización interna.

Financiación

La presente investigación fue financiada parcialmente por el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera [LANRESC], el cual proporcionó los recursos para la realización de los muestreos y el análisis de los datos fisicoquímicos obtenidos en la Laguna de Términos. El resto del trabajo de investigación fue financiado por la Universidad Autónoma del Carmen.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera [LANRESC] por el acceso a la base de datos fisicoquímicos generada en el Observatorio Costero Regional de la Laguna de Términos. Asimismo, agradecen el acompañamiento del Dr. Paulo Salles y del equipo técnico responsable del procesamiento de dichos datos, especialmente al Dr. Eduardo Amir Cuevas Flores y a la M.C. Karol Paulina Granados Martínez.

De igual forma, se extiende un agradecimiento especial a Aracely María Barrientos Cornelio y José Luis Aguilar Echánove, estudiantes del programa educativo de ingeniería Geológica de la Facultad de Química y Mtra. Rosalba Lima Velázquez, por su valioso apoyo en la elaboración de los gráficos de distribución espacial presentados en este estudio.

Abreviaturas

AICAS	Área de Importancia para la Conservación de las Aves.
APFFLT	Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
LT	Laguna de Términos.
OD	Oxígeno disuelto.
SDT	Sólidos disueltos totales.

Referencias

Antecedentes

Amezcu-Linares, F., & Yáñez-Arancibia, A. [1978]. *Ecología de los sistemas fluvio-lagunares asociados a la Laguna de Términos*. VI Congreso de Oceanografía, Ensenada, Baja California.

Day Jr, J. W., Ley-Lou, F., Madden, C., Wetzel, R., & Machado, A. [1988]. Aquatic primary productivity in Terminos Lagoon. In: Yáñez-Arancibia, A. & Day Jr. J. [Eds], *Ecology of Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region* [pp. 221–236]. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria.

Guerra-Santos, J. J., & Kahl, J. D. W. [2018]. *Redefining the Seasons in the Términos Lagoon Region of Southeastern México: May Is a Transition Month, Not a Dry Month*. *Journal of Coastal Research*, 341, 193–201.

Ruiz-Marín, A., Campos-García, S., Zavala-Loría, J. del C., & Canedo-López, Y. [2009]. *Hydrological aspects of the lagoons of Atasta and Pom, Mexico*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10[1], 63–74.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] & Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. [2015]. *Estadísticas del Agua en México, edición 2015*. Comisión Nacional del Agua.

Smith, S. V., Ibarra-Obando, S., Boundreau, P. R., & Camacho-Ibar, V. F. [1997]. *Comparison of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes in Mexican Coastal Lagoons*. LOICZ Reports and Studies No 10. LOICZ. Texel, The Netherlands.

Yáñez-Arancibia, A., & Day Jr, J. W. [1988]. Ecology of coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. *Inst Cienc Del Mar y Limnol UNAM, COSAT Ecol Inst LSU. Editorial Universitaria, Mexico DF*.

Básicos

Antonio-Durán, R. E., Sosa-Echeverría, R., Fuentes-García, G., César-Valdez, E., Cortez-Huerta, M., & Kahl, J. D. W. [2025]. *Atmospheric emissions from maritime activities in Altamira, Gulf of Mexico*. *International Journal of Environmental Science and Technology*.

Baxter, C. V., & Hauer, F. R. [2000]. *Geomorphology, hyporheic exchange, and selection of spawning habitat by bull trout [*Salvelinus confluentus*]*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57[7], 1470–1481.

Ebersole, J. L., Liss, W. J., & Frissell, C. A. [2001]. *Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States*. *Ecology of Freshwater Fish*, 10[1], 1–10.

Gameiro, C., Cartaxana, P., Cabrita, M. T., & Brotas, V. [2004]. *Variability in Chlorophyll and Phytoplankton Composition in an Estuarine System*. *Hydrobiologia*, 525[1–3], 113–124.

- He, S., & Xu, Y. J. [2015]. [Three decadal inputs of total organic carbon from four major coastal river basins to the summer hypoxic zone of the Northern Gulf of Mexico](#). *Marine Pollution Bulletin*, 90[1–2], 121–128.
- Johnson, S. L., & Jones, J. A. [2000]. [Stream temperature responses to forest harvest and debris flows in western Cascades, Oregon](#). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57[S2], 30–39.
- Lee, M.-Y., Kim, T.-H., Choi, Y., & Song, Y. [2024]. [Wet depositional fluxes of fossil fuel-derived carbon in East Asia: Dynamics of Brown carbon](#). *Environmental Pollution*, 361, 124786.
- Lehman, J. T. [2002]. [Mixing Patterns and Plankton Biomass of the St. Lawrence Great Lakes under Climate Change Scenarios](#). *Journal of Great Lakes Research*, 28[4], 583–596.
- Mellina, E., Moore, R. D., Hinch, S. G., Macdonald, J. S., & Pearson, G. [2002]. [Stream temperature responses to clearcut logging in British Columbia: The moderating influences of groundwater and headwater lakes](#). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59[12], 1886–1900.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., Riva, S. D., Gertz, F., Hansen, J. W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D. M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., ... Zaldívar, J.-M. [2014]. [An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters](#). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 95–122.
- Pérez-Ruzafa, A., Molina-Cuberos, G. J., García-Oliva, M., Umgieser, G., & Marcos, C. [2024]. [Why coastal lagoons are so productive? Physical bases of fishing productivity in coastal lagoons](#). *Science of The Total Environment*, 922, 171264.
- Pulster, E. L., Gracia, A., Armenteros, M., Toro-Farmer, G., Snyder, S. M., Carr, B. E., Schwaab, M. R., Nicholson, T. J., Mrowicki, J., & Murawski, S. A. [2020]. [A First Comprehensive Baseline of Hydrocarbon Pollution in Gulf of Mexico Fishes](#). *Scientific Reports*, 10[1], 6437.
- Usang, R. O., Olu-Owolabi, B. I., & Adebawale, K. O. [2025]. [Integrating principal component analysis, fuzzy inference systems, and advanced neural networks for enhanced estuarine water quality assessment](#). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57, 102182.
- Villalobos-Zapata, G. J., Yáñez-Arancibia, A., Day Jr, J. W., & Lara-Domínguez, A. [1999]. Ecología y Manejo de los Manglares en la Laguna de Términos, Campeche, México. En A. Yáñez-Arancibia, & A. Lara-Domínguez [Eds.], *Ecosistemas de Manglar en América Tropical* [1a. ed., pp. 263–274]. Instituto de Ecología, A.C.

SopORTE

- Méndez-Barroso, L. A., Rivas-Márquez, J. A., Sosa-Tinoco, I., & Robles-Morúa, A. [2020]. [Design and implementation of a low-cost multiparameter probe to evaluate the temporal variations of water quality conditions on an estuarine lagoon system](#). *Environmental Monitoring and Assessment*, 192[11], 710.

Thomann, R. V., & Mueller, J. A. [1987]. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. Harper-Collins.

Discusiones

- Ghandourah, M. A., Orif, M. I., Al-Farawati, R. K., El-Shahawi, M. S., & Abu-Zeid, R. H. [2023]. [Illegal pollution loading accelerate the oxygen deficiency along the coastal lagoons of eastern Red Sea](#). *Regional Studies in Marine Science*, 63, 102982.

Instituto del Agua. [s/f]. [Oxígeno disuelto en acuicultura: Elemento clave para la vida acuática](#). Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/oxigeno-disuelto-en-acuiculturaacuicultura/>

- Marinov, D., Zaldívar, J. M., Norro, A., Giordani, G., & Viaroli, P. [2008]. *Integrated modelling in coastal lagoons: Sacca di Goro case study*. *Hydrobiologia*, 611[1], 147–165.
- Tenorio-Fernández, L. [2015]. *Hidrodinámica mareal y submareal de una laguna costera tropical* [Doctorado]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California [CICESE].
- Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. [1983]. *Las lagunas costeras*. Nota de los editores. *Ciencias*, 3, 46–47.
- U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA]. [2025]. *Hypoxia 101*. <https://www.epa.gov/ms-htf/hypoxia-101>
- Zhang, Y., Shi, K., Woolway, R. I., Wang, X., & Zhang, Y. [2025]. *Climate warming and heatwaves accelerate global lake deoxygenation*. *Science Advances*, 11[12], eadt5369.

Estudio experimental de la Goma Xantana como viscosificante en lechadas de cemento de baja densidad

Experimental study of Xanthan Gum as a viscosifying agent in low density cement slurries

Milán, María del Carmen * ^a, Martínez, Eliud ^b, Martínez, Teresa del Jesús ^c y Vital, Angelica Gabriela ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen •  IDNBW-8902-2025 •  0009-0009-7023-4957 •  579878
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen •  NGR-0765-2025 •  0009-0008-3521-825X •  2126758
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen •  MVY-1590-2025 •  0009-0008-9382-7520 •  1284619
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen •  Q-3779-2019 •  0000-0002-9767-6984 •  94501

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.71.79>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería petrolera y petroquímica
Subdisciplina: Ingeniería de procesos

Key Handbooks

Este capítulo de libro aborda un estudio experimental para evaluar el efecto de la goma Xantana como aditivo en lechadas de baja densidad, a partir del diseño de diversas formulaciones que permitan mejorar la viscosidad y punto de cedencia en las lechadas durante el proceso de cementación en pozos petroleros. La metodología se realizó sobre lo estandarizado en la API 10 A y API 10 B RP, lo que permitió validar los resultados para una lechada de llenado. Los análisis demostraron que la goma Xantana es altamente efectiva para mejorar las propiedades reológicas de las lechadas de cemento. Este compuesto de origen natural y baja toxicidad lo convierten en una opción sostenible en diversas aplicaciones industriales. Los investigadores forman parte de la Facultad de Química en la Universidad Autónoma del Carmen. De los cuales uno cuenta con beca SECIHTI para estudio doctoral, el 60 % cuenta con perfil de Maestría y el 40% doctorado, incorporados en la carrera de Ingeniería Petrolera y Laboratorio de Pruebas de Control de Calidad.

Área: Difusión y acceso universal a la ciencia

Citación: Milán, María del Carmen, Martínez, Eliud, Martínez, Teresa del Jesús y Vital, Angelica Gabriela. 2025. Estudio experimental de la Goma Xantana como viscosificante en lechadas de cemento de baja densidad. 71-79. ECORFAN.

*  [\[mmilan@pampano.unacar.mx\]](mailto:mmilan@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>

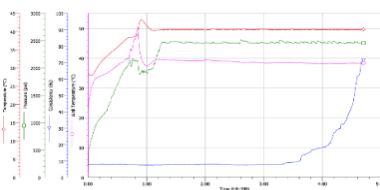


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

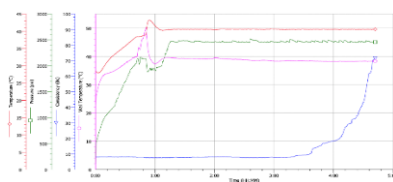
This chapter deals with an experimental analysis of alternative formulations of xanthan gum as a viscosifier in a low density slurry and its influence on rheology in relation to the conventional viscosifier. It presents a methodology section adjusted according to API 10 A and AP 10B RP criteria. The results section was channeled into selecting through laboratory tests, which of the cement slurry formulations with different xanthan gum dosages achieved an improvement in the rheological properties without causing poor or excessive viscosification. This will contribute to more effective cementing designs, improving the stability and resistance of the slurry, minimizing the risk of problems such as cement particle migration and fluid filtrate loss in the formation.

Experimental study of Xanthan Gum as a viscosifying agent in low density cement slurries.																																																																																																																																																											
Objetivo		Metodología		Contribución																																																																																																																																																							
<table><tr><th colspan="12">COMPOSITION OF SLURRY</th></tr><tr><th>No.</th><th>Funcion</th><th>Quantidad</th><th>S.G.</th><th>Wt/kg</th><th>Vol/m3</th><th>BRCC</th><th>BRCCP</th><th>LSR</th><th>Water (g/g)</th><th colspan="2">Date</th></tr><tr><td></td><td>Agua de Mezcla</td><td>Agua de Mezcla</td><td>1.00</td><td>425.17</td><td>425.17</td><td>75.25%</td><td>100.00%</td><td>34.45</td><td>425.17</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td></td><td>Agua de Sello</td><td>Agua de Sello</td><td>1</td><td>402.00</td><td>402.00</td><td>74.00%</td><td>94.12%</td><td>37.20</td><td>404.00</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>1</td><td>Cemento Clase 10</td><td>agresivo</td><td>3.14</td><td>540.33</td><td>172.00</td><td>100.00%</td><td>120.10%</td><td>15.00</td><td>540.73</td><td colspan="2">02/10/2011</td></tr><tr><td>13</td><td>Viscosifier</td><td>PG-A2L</td><td>1.0000</td><td>1.40</td><td>1.27</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.40</td><td colspan="2">BRCC02020</td></tr><tr><td>14</td><td>Anti-Rust</td><td>PG-A2L</td><td>0.0020</td><td>1.00</td><td>1.27</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.00</td><td colspan="2">100000002</td></tr><tr><td>17</td><td>Extender</td><td>PG-PTL</td><td>1.0000</td><td>5.40</td><td>3.86</td><td>1.00%</td><td>1.20%</td><td>0.30</td><td>5.40</td><td colspan="2">CDO-02-04-01</td></tr><tr><td>18</td><td>Fluid loss control</td><td>PG-GAL</td><td>0.0071</td><td>5.40</td><td>5.77</td><td>1.00%</td><td>1.20%</td><td>0.03</td><td>5.40</td><td colspan="2">S002104010</td></tr><tr><td>19</td><td>Fluid loss control</td><td>PG-GAL</td><td>1.0000</td><td>10.01</td><td>10.01</td><td>2.00%</td><td>2.50%</td><td>0.03</td><td>10.03</td><td colspan="2">H0-020002</td></tr><tr><td>20</td><td>Free water control</td><td>PG-A2L</td><td>0.0074</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.00</td><td colspan="2">05/10/2011</td></tr><tr><td colspan="3">Total Water/Gal</td><td>546.33</td><td>g</td><td colspan="7"></td></tr></table> Evaluation of the effect of Xanthan gum on rheological properties by experimental tests to improve viscosity and preserve stability in low density cement slurries.										COMPOSITION OF SLURRY												No.	Funcion	Quantidad	S.G.	Wt/kg	Vol/m3	BRCC	BRCCP	LSR	Water (g/g)	Date			Agua de Mezcla	Agua de Mezcla	1.00	425.17	425.17	75.25%	100.00%	34.45	425.17				Agua de Sello	Agua de Sello	1	402.00	402.00	74.00%	94.12%	37.20	404.00			1	Cemento Clase 10	agresivo	3.14	540.33	172.00	100.00%	120.10%	15.00	540.73	02/10/2011		13	Viscosifier	PG-A2L	1.0000	1.40	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.40	BRCC02020		14	Anti-Rust	PG-A2L	0.0020	1.00	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.00	100000002		17	Extender	PG-PTL	1.0000	5.40	3.86	1.00%	1.20%	0.30	5.40	CDO-02-04-01		18	Fluid loss control	PG-GAL	0.0071	5.40	5.77	1.00%	1.20%	0.03	5.40	S002104010		19	Fluid loss control	PG-GAL	1.0000	10.01	10.01	2.00%	2.50%	0.03	10.03	H0-020002		20	Free water control	PG-A2L	0.0074	1.00	1.00	0.20%	0.20%	0.10	1.00	05/10/2011		Total Water/Gal			546.33	g								 Slurry preparation, conditioning and evaluation through laboratory tests: API filtrate, free fluid, pumpable time and compressive stress.	 This research shows that at formulated concentrations in slurry designs with XGL better results in rheology are achieved, visualizing an increase in its plastic viscosity and yield point.
COMPOSITION OF SLURRY																																																																																																																																																											
No.	Funcion	Quantidad	S.G.	Wt/kg	Vol/m3	BRCC	BRCCP	LSR	Water (g/g)	Date																																																																																																																																																	
	Agua de Mezcla	Agua de Mezcla	1.00	425.17	425.17	75.25%	100.00%	34.45	425.17																																																																																																																																																		
	Agua de Sello	Agua de Sello	1	402.00	402.00	74.00%	94.12%	37.20	404.00																																																																																																																																																		
1	Cemento Clase 10	agresivo	3.14	540.33	172.00	100.00%	120.10%	15.00	540.73	02/10/2011																																																																																																																																																	
13	Viscosifier	PG-A2L	1.0000	1.40	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.40	BRCC02020																																																																																																																																																	
14	Anti-Rust	PG-A2L	0.0020	1.00	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.00	100000002																																																																																																																																																	
17	Extender	PG-PTL	1.0000	5.40	3.86	1.00%	1.20%	0.30	5.40	CDO-02-04-01																																																																																																																																																	
18	Fluid loss control	PG-GAL	0.0071	5.40	5.77	1.00%	1.20%	0.03	5.40	S002104010																																																																																																																																																	
19	Fluid loss control	PG-GAL	1.0000	10.01	10.01	2.00%	2.50%	0.03	10.03	H0-020002																																																																																																																																																	
20	Free water control	PG-A2L	0.0074	1.00	1.00	0.20%	0.20%	0.10	1.00	05/10/2011																																																																																																																																																	
Total Water/Gal			546.33	g																																																																																																																																																							

Xanthan gum, slurry formulations, viscosity

Resumen

Este capítulo aborda un análisis experimental sobre alternativas de formulaciones de la goma xantana como viscosificante en una lechada de baja densidad y su influencia en la reología, con relación al viscosificante convencional. Este presenta una sección de metodología ajustada según los criterios de la API 10 A y AP 10B RP. La sección de los resultados se encauzó en seleccionar mediante pruebas de laboratorio, cuál de las formulaciones de la lechada de cemento con diferentes dosificaciones de goma xantana mejoraba las propiedades reológicas, sin causar una viscosificación deficiente o excesiva. Esto contribuirá a diseños de cementación más efectiva, mejorando la estabilidad y la resistencia de la lechada; minimizando el riesgo de problemas como la migración de partículas de cemento y la pérdida de filtrado del fluido en la formación.

Estudio experimental de la Goma Xantana como viscosificante en lechadas de cemento de baja densidad																																																																																																																																																													
Objetivo			Metodología			Contribución																																																																																																																																																							
<table><tr><th colspan="12">COMPOSITION OF SLURRY</th></tr><tr><th>No.</th><th>Funcion</th><th>Quantidad</th><th>S.G.</th><th>Wt/kg</th><th>Vol/m3</th><th>BRCC</th><th>BRCCP</th><th>LSR</th><th>Water (g/g)</th><th colspan="2">Date</th></tr><tr><td></td><td>Agua de Mezcla</td><td>1.00</td><td>425.17</td><td>425.17</td><td>75.25%</td><td>100.00%</td><td></td><td>34.45</td><td>425.17</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td></td><td>Agua de Sello</td><td>Agua de Sello</td><td>1</td><td>402.00</td><td>402.00</td><td>74.00%</td><td>94.12%</td><td>37.20</td><td>404.00</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>1</td><td>Cemento Class 10</td><td>agresivo</td><td>3.14</td><td>540.33</td><td>172.00</td><td>100.00%</td><td>120.10%</td><td>15.00</td><td>540.73</td><td colspan="2">02/10/2011</td></tr><tr><td>13</td><td>Viscosifier</td><td>PG-A2L</td><td>1.0000</td><td>1.40</td><td>1.27</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.40</td><td colspan="2">BRCC02020</td></tr><tr><td>14</td><td>Anti-Rust</td><td>PG-A2L</td><td>0.0020</td><td>1.00</td><td>1.27</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.00</td><td colspan="2">100000002</td></tr><tr><td>17</td><td>Extender</td><td>PG-PTL</td><td>1.0000</td><td>5.40</td><td>3.86</td><td>1.00%</td><td>1.20%</td><td>0.30</td><td>5.40</td><td colspan="2">CDO-02-04-01</td></tr><tr><td>18</td><td>Fluid loss control</td><td>PG-GAL</td><td>0.0071</td><td>5.40</td><td>5.77</td><td>1.00%</td><td>1.20%</td><td>0.03</td><td>5.40</td><td colspan="2">S002104010</td></tr><tr><td>19</td><td>Fluid loss control</td><td>PG-GAL</td><td>1.0000</td><td>10.01</td><td>10.01</td><td>2.00%</td><td>2.50%</td><td>0.03</td><td>10.03</td><td colspan="2">H0-020002</td></tr><tr><td>20</td><td>Free water control</td><td>PG-A2L</td><td>0.0074</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>0.20%</td><td>0.20%</td><td>0.10</td><td>1.00</td><td colspan="2">05/10/2011</td></tr><tr><td colspan="3">Total Water/Gal</td><td>546.33</td><td>g</td><td colspan="7"></td></tr></table> Evaluación del efecto de la goma Xantana en las propiedades reológicas mediante pruebas experimentales para mejorar la viscosidad y preservar la estabilidad en lechadas de cemento de baja densidad.												COMPOSITION OF SLURRY												No.	Funcion	Quantidad	S.G.	Wt/kg	Vol/m3	BRCC	BRCCP	LSR	Water (g/g)	Date			Agua de Mezcla	1.00	425.17	425.17	75.25%	100.00%		34.45	425.17				Agua de Sello	Agua de Sello	1	402.00	402.00	74.00%	94.12%	37.20	404.00			1	Cemento Class 10	agresivo	3.14	540.33	172.00	100.00%	120.10%	15.00	540.73	02/10/2011		13	Viscosifier	PG-A2L	1.0000	1.40	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.40	BRCC02020		14	Anti-Rust	PG-A2L	0.0020	1.00	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.00	100000002		17	Extender	PG-PTL	1.0000	5.40	3.86	1.00%	1.20%	0.30	5.40	CDO-02-04-01		18	Fluid loss control	PG-GAL	0.0071	5.40	5.77	1.00%	1.20%	0.03	5.40	S002104010		19	Fluid loss control	PG-GAL	1.0000	10.01	10.01	2.00%	2.50%	0.03	10.03	H0-020002		20	Free water control	PG-A2L	0.0074	1.00	1.00	0.20%	0.20%	0.10	1.00	05/10/2011		Total Water/Gal			546.33	g								 Preparación de la lechada, acondicionamiento y evaluación mediante pruebas en laboratorio: filtrado API, fluido libre, tiempo bombeable y esfuerzo compresivo.	 Esta investigación demuestra que a concentraciones formuladas en diseños de lechada con XGL mejora la reología, visualizando un aumento en su viscosidad plástica y su punto cedente.
COMPOSITION OF SLURRY																																																																																																																																																													
No.	Funcion	Quantidad	S.G.	Wt/kg	Vol/m3	BRCC	BRCCP	LSR	Water (g/g)	Date																																																																																																																																																			
	Agua de Mezcla	1.00	425.17	425.17	75.25%	100.00%		34.45	425.17																																																																																																																																																				
	Agua de Sello	Agua de Sello	1	402.00	402.00	74.00%	94.12%	37.20	404.00																																																																																																																																																				
1	Cemento Class 10	agresivo	3.14	540.33	172.00	100.00%	120.10%	15.00	540.73	02/10/2011																																																																																																																																																			
13	Viscosifier	PG-A2L	1.0000	1.40	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.40	BRCC02020																																																																																																																																																			
14	Anti-Rust	PG-A2L	0.0020	1.00	1.27	0.20%	0.20%	0.10	1.00	100000002																																																																																																																																																			
17	Extender	PG-PTL	1.0000	5.40	3.86	1.00%	1.20%	0.30	5.40	CDO-02-04-01																																																																																																																																																			
18	Fluid loss control	PG-GAL	0.0071	5.40	5.77	1.00%	1.20%	0.03	5.40	S002104010																																																																																																																																																			
19	Fluid loss control	PG-GAL	1.0000	10.01	10.01	2.00%	2.50%	0.03	10.03	H0-020002																																																																																																																																																			
20	Free water control	PG-A2L	0.0074	1.00	1.00	0.20%	0.20%	0.10	1.00	05/10/2011																																																																																																																																																			
Total Water/Gal			546.33	g																																																																																																																																																									

Xanthan gum, slurry formulations, viscosity

Introducción

La lechada de cemento se utiliza para diversos fines, siendo su principal función el aislamiento zonal, adicionalmente es utilizada para la fijación y sellado de tuberías de revestimiento en los pozos de petróleo y gas, así como la reparación de pozos dañados y la colocación de tapones de cemento para sellar zonas problemáticas. Esta mezcla líquida de cemento, agua y aditivos químicos en proporciones adecuadas garantiza un rendimiento óptimo en diversas condiciones para mejorar propiedades como la densidad y la reología. [Shokry et al., 2024], [Sajjad et al., 2022], [Lian et al., 2020], [Perroni et al., 2020] refieren que la lechada típica se compone de cemento hidráulico, agua y diversos aditivos que incluyen retardadores, que prolongan la capacidad de bombeo, y materiales absorbentes de aceite que mejoran el aislamiento zonal al interactuar con los fluidos de perforación residuales. Sin embargo, en situaciones en las que el cemento entra en contacto con las formaciones geológicas, pueden surgir complicaciones si la lechada de cemento presenta una fluidez excesiva, ya que esta condición podría promover la infiltración en la formación y provocar oclusiones.

De igual manera si es demasiado densa, puede causar fracturas y dañar la formación. Por otra parte, la lechada de cemento puede causar problemas en el pozo si no se estabiliza adecuadamente, lo que puede llevar a la fuga de gas o líquido a través del espacio anular. [Mahmoud et al., 2024] y [Tao et al., 2020] definen la lechada de cemento para pozos petroleros como un fluido no lineal complejo que se caracteriza por sus propiedades reológicas, incluyendo viscosidad de corte, tensión de fluencia y comportamientos como viscoelasticidad y tixotropía, influenciados por factores como concentración, relación agua-cemento y aditivos.

La viscosidad es una de las propiedades clave que se evalúan en una lechada, ya que garantiza que la lechada se pueda mezclar fácilmente durante la operación para que no se produzcan eventos innecesarios como son: la presencia de fluido libre o la sedimentación de los sólidos. [Majedul et al., 2024] mencionan que la viscosidad y el límite elástico de la lechada pueden verse afectados por la contaminación de los fluidos de perforación y que un aumento de la contaminación generalmente provoca una disminución de la densidad y la alteración de las propiedades mecánicas. En las lechadas de cemento de baja densidad, se utilizan viscosificantes [tabla 1] para incrementar la viscosidad y mejorar la estabilidad de la mezcla [evitar sedimentación, separación de fases y mejorar el desplazamiento del lodo. [Yang et al., 2023]; [Cadix & James, 2022], [Gaurina-Medimurec et al., 2021] y [Kang, 2020] menciona que se han desarrollado diferentes tipos de lechadas de cemento, que incluyen aditivos químicos que aumentan la viscosidad de la lechada de cemento, mejorando la suspensión de partículas y evitando la pérdida de fluido hacia la formación.

La goma xantana [XG] es un polisacárido natural producido mediante la fermentación de azúcares por la bacteria *Xanthomonas campestris*. Esta se utiliza ampliamente en materiales de construcción, en particular como modificador de viscosidad en lechadas de cemento. [Li et al., 2024] refiere que la goma xantana aumenta la viscosidad aparente de la lechada de cemento, especialmente a temperaturas elevadas, lo cual favorece el mantenimiento de la estabilidad durante la hidratación, mientras que [Kummar et al., 2024] confirman que la viscosidad de las soluciones de goma xantana puede variar significativamente con la concentración y la temperatura, lo que demuestra un comportamiento pseudoplástico. [Fu et al., 2022] demuestran que la suspensión de hidratos con XG, a determinadas temperaturas tiene un efecto positivo al hacer que la concentración de hidrato exhiba un comportamiento de pseudoplástico, sin embargo, para la suspensión de hidratos con CMC, la concentración de hidratos solo mejora su comportamiento de pseudoplástico a concentraciones de CMC de 0,2 y 0,3 %. [Li et al. 2024], [Hammadi & Hazzab., 2023] y [Phan., 2020] mencionan que la incorporación de goma xantana puede mejorar la resistencia a la compresión del hormigón; estudios muestran un aumento de hasta un 7 % con una concentración del 2 %, sin embargo, también puede provocar una disminución de la resistencia y la densidad de la lechada endurecida, lo que indica una compensación entre la viscosidad y las propiedades mecánicas. [Shinde & Shenoy., 2022] refieren que es necesario probar las propiedades físicas y mecánicas de la lechada, y realizar ajustes según las condiciones y requisitos específicos del pozo, ya que es fundamental considerar el impacto ambiental de los materiales utilizados, así como el potencial de reducción de residuos mediante formulaciones innovadoras. Este estudio se centra en validar como utilizando la XGL como viscosificante a bajas concentraciones se logra mejorar la viscosidad plástica y punto de cedencia en una lechada de baja densidad.

El capítulo se estructuró en 5 secciones fundamentales [Introducción, Metodología, Resultados, Conclusiones y Referencias]. En la sección de Introducción se describe los antecedentes, problemas de investigación y lo que se pretende validar [hipótesis]; en la sección de metodología se detallan los materiales y métodos para analizar cada diseño experimental formulado a las concentraciones seleccionadas de XGL, así como el proceso de preparación de la lechada y mezclado, la evaluación de la reología y las pruebas a realizar según lo estandarizado por la [ANSI/API 10 A, 2010] y [ANSI/API RP 10B, 2013]. En la sección de resultados se exponen los valores obtenidos en cada prueba analizada y se discuten aspectos importantes de acuerdo con lo referenciado por otros investigadores. En las conclusiones se resumen lo más destacado y valoraciones finales del estudio, el cual fue soportado sobre la base de fuentes bibliográficas especializada mostradas en la sección de Referencias

Metodología

La lechada de cemento se preparó usando cemento Clase H, agua del grifo, aditivos [anti-espumante, controlador de filtrado y extendedor], goma xantana líquida y equipos de laboratorio tales como: mezcladora, viscosímetros y consistómetro presurizado atmosférico. El objetivo de este procedimiento es evaluar las propiedades de la lechada bajo condiciones controladas que simulan las del pozo, como la densidad, resistencia a la compresión y el tiempo bombeable. Para esta investigación se usó XGL en la lechada de llenado [densidad de 1.60 g/cm^3], a fin de obtener un diseño de lechada con mayor viscosidad y en consecuencia mejores reologías. Este aditivo se formuló para un diseño de la mezcla con modificaciones en la composición de cada lechada a las cantidades de XGL de 0.35 l/sac, 0.10 l/sac, 0.20 l/sac, 0.08 l/sac siguiendo el procedimiento experimental descrito por [Bell, D.R & Nelson., E.B 1990] y lo estandarizado por la [ANSI/API RP 10 B., 2013].

Para la preparación de la lechada se pesaron cemento, agua y aditivos de acuerdo con las concentraciones formuladas para cada concentración seleccionada. Para el mezclado se añaden los aditivos al agua en el orden establecido en el diseño, posteriormente se agrega el cemento a 4,000 RPM ± 250 RPM observando una correcta homogeneidad que genere un vórtice, finalizando el mezclado con 12,000 RPM ± 250 RPM. La evaluación de las propiedades reológicas se realizan al finalizar el mezclado, donde la lechada es acondicionada en el consistómetro atmosférico durante 30 minutos a temperatura de condiciones de pozo, para posteriormente tomar las lecturas en el viscosímetro rotacional para evaluar el esfuerzo de corte a diferentes revoluciones por minuto [RPM], de igual manera se calcula el punto de cedencia y su viscosidad plástica, así, como se toman los geles a $10''$ y $10'$. La evaluación de las pruebas de laboratorio consistió en un filtrado API, donde se colocó la lechada en la celda de filtrado, posteriormente se conecta el nitrógeno a la válvula superior y se aplican 1000 ± 50 psi presurizando la celda, manteniendo la temperatura y presión, se abre la válvula inferior para comenzar la prueba y se empieza a recolectar el filtrado durante 30 minutos, si se observa que sale nitrógeno en un tiempo menor de los 30 minutos se registra el volumen recolectado y el tiempo que duro la prueba al momento de la descarga de nitrógeno.

Para la prueba de fluido libre se vierte la lechada previamente acondicionada a condiciones de pozo, en una probeta de 250 ml de manera que esta quede estática durante 2 hrs simulando la desviación del pozo se pondrá la probeta a los grados de inclinación que se requieran, todo para evaluar la estabilidad de la lechada de cemento para evitar presencia de fluido libre en la parte superior de la probeta. La siguiente prueba es el tiempo bombeable para la lechada de cemento, esta se realizó simulando condiciones de pozo con presión y temperatura a la cual va estar expuesta la lechada durante su bombeo dentro del pozo, con la unidad de medición bearden de consistencia [Bc] esto monitorea el tiempo en que la lechada sigue fluida para bombear, la lechada usando un cilindro equipado con un conjunto de paleta estacionaria, todo esto dentro del consistómetro presurizado capaz de mantener las presiones y temperaturas simuladas, este recipiente que contiene la lechada gira a una velocidad de 150 ± 15 rpm.

Por último, la prueba del esfuerzo compresivo para identificar si el cemento está fraguando, por un equipo que trasmite una señal sónica donde el cemento es evaluado en 24 hrs, el tiempo de tránsito de la señal puede ser correlacionado con las propiedades del cemento tales como el tiempo bombeable junto con su desarrollo del esfuerzo compresivo, el esfuerzo compresivo es simulado a presión y temperatura de condiciones del pozo.

Resultados

Para comprobar la posibilidad de prescindir del suspensor de sólido, las pruebas fueron realizadas para muestras sin controlador de filtrado y con controlador de filtrado. El objetivo de esta última comprobación era reducir costo, a la vez que se mejoraba la reología y otros parámetros de control de la lechada. En todas las formulaciones evaluadas se mantuvieron cantidades iniciales idénticas de los componentes en suspensión líquida de la mezcla, solo variando las concentraciones de XGL [0.35 l/sac, 0.20 l/sac y 0.10 l/sac], a fin de evaluar el efecto de su concentración en las características funcionales de la lechada en las mezclas. Sin embargo, las muestras Xant 1, Xant 2 y Xant 3 [sin suspensor de sólidos] no arrojaron resultados satisfactorios, por lo que se concluyó que no es posible eliminar dicho componente de la mezcla, específicamente a concentraciones de XGL [0.35 l/sac]. [Tabla 2]. [Hadjer et al, 2024] y [Fut et al, 2020] coinciden que las propiedades reológicas, como la pseudoplástico y el límite elástico, se ven influenciadas por la concentración de goma xantana en emulsiones con concentraciones inferiores al 0,2 % en peso estabilizan la mezcla, mientras que concentraciones más altas pueden desestabilizarla. Para las muestras: Xant 4, Xant 5, Xant 6 se realizaron formulaciones en cantidades iniciales idénticas de los componentes en suspensión líquida de la mezcla, variando las concentraciones de XGL [0.20 l/sac, 0.10 l/sac y 0.08 l/sac] con un controlador de filtrado con una concentración de 0.53 l/sac para una lechada de llenado 1.60g/cm^3 . En el mezclado de Xant 4 [0.20 l/sac], se obtuvo un mezclado de 16 segundos, con buena homogeneidad. Los resultados obtenidos en la reología demuestran que con el controlador de filtrado y con el uso de la goma xantana para este diseño de mezcla hubo cambio significativo con respecto a lo estandarizado para estas pruebas [Vp 50 Cp y Pc de $15\text{ lbf}/100\text{ft}^2$] ya que presento Vp de 52.5 cp y Pc de $27.5\text{ lbf}/100\text{ft}^2$ lo que se evidencia en la prueba de control de fluidos donde no se observa sedimentación al tomar el gel de 10 minutos, [Wu et al, 2025] y [Xu et al, 2022] sustentan que el uso de agentes de suspensión avanzados puede mejorar la estabilidad de las lechadas de cemento, garantizando que los sólidos en suspensión se distribuyan uniformemente y no sedimenten prematuramente. En la prueba de filtrado se obtuvo un filtrado de 484 ml, lo que sugiere diferencia significativa con respecto a las muestras que no usaron suspensor de sólido, sin embargo, sigue sin adecuarse a lo estandarizado por la [API 10 B RP, 2013], por lo que se descartó este diseño. En la evaluación del mezclado para Xant 5 se logró el mezclado en 33 segundos, con buena homogeneidad [vórtice definido en la mezcladora]. La reología, mostró una Vp de 63 Cp y un Pc de $35\text{ lbf}/100\text{ft}^2$, representando un incremento de 31% y 5 % en la viscosidad plástica y el punto de cedencia con respecto a lo normado. Este diseño no presentó sedimentación, sin embargo, como el tiempo de mezclado está ligeramente elevado se procedió con la prueba de filtrado donde se obtuvo un filtrado de 350 ml observándose una mejoría significativa con respecto las muestras anteriores. [Li et al, 2024] y [Quitian et al, 2024] coinciden que la adición de XG con controladores de fluidos aumenta la viscosidad aparente de la lechada de cemento, especialmente a temperaturas elevadas mejorando su comportamiento, lo que permite una mejor suspensión de sólidos y mejores características de flujo.

En la prueba de fluido libre se obtuvo un resultado de 0 %, con respecto a lo estandarizado [menor 1.5%] por lo que se consideró un buen resultado. En el mezclado para Xant 6 se obtuvo un tiempo de 20 segundos y buena homogeneidad en la mezcla [figura 1]. Los resultados de la reología observados en la [tabla 12] muestran una Vp de 81 Cp y un Pc de $26\text{ lbf}/100\text{ft}^2$ representando un incremento de viscosidad plástica y punto cedente de 40.5 % y 3.9% respectivamente. Este diseño no presentó sedimentación, y se obtuvo un filtrado de 276 ml en 16 minutos [figura 2], lo que representa un filtrado controlado con respecto a lo especificado en la norma [menor al 2%]. [Mahmoud, 2024] revela que los lodos pueden presentar una cantidad significativa de agua libre después de 24 horas, algo que la prueba estándar de 2 horas no logra capturar. [Cadix et al, 2023] que el uso de goma xantana en combinación con otros aditivos puede mejorar la suspensión de sólidos, pero se debe tener cuidado para evitar los efectos antagónicos que podrían surgir de altas concentraciones como se observa en la figura 3 en la prueba de fluido libre no hay presencia de fluido en la superficie del cemento reportándose valor de 0% lo que representa un valor ideal para fluidos libre permitido en lechadas Clase H En la prueba del tiempo bombeable se obtuvo un tiempo bombeable de 71 Bc @ 4:43 horas [figura 4]. Lo que representa, un tiempo alto para cementaciones intermedias [3hrs] y adecuadas para cementaciones de liners o largos desplazamientos más profundas [4 hrs]. El esfuerzo compresivo se midió a la velocidad ultrasónica que indica las diferentes fases de la lechada, esto hace que la velocidad de tránsito disminuya y el esfuerzo compresivo aumente conforme va solidificando [tabla 3]. En la gráfica de la [figura 5] se observa el cómo el esfuerzo compresivo de la lechada se mantiene uniforme en el cemento fraguado durante 24 hrs. Entre todas las muestras de goma xantana evaluadas, las Xant 5 y Xant 6, destacaron por su rendimiento excepcional en comparación con las demás [tabla 4].

Estas muestras demostraron un incremento en la viscosidad plástica [19-24.5%]. Este aumento impacta positivamente en el comportamiento de las lechadas de llenado, ya que contribuye significativamente a minimizar los problemas asociados con la sedimentación de partículas, favoreciendo la gelificación de las lechadas, mejorando su estabilidad y evitando la segregación en el proceso de preparación de lechadas de baja densidad

Conclusiones

La goma xantana proporciona una mayor estabilidad a las lechadas de cemento al evitar la segregación de los componentes sólidos. Esto se debe a su capacidad para formar una estructura de gel que retiene los sólidos, lo cual mejora la consistencia en la lechada para evitar la sedimentación prematura durante el proceso de bombeo.

Comparado con otros aditivos de viscosidad o estabilizantes, la goma xantana tiene un costo competitivo, lo que la convierte en una opción económica para mejorar las propiedades de las lechadas sin aumentar considerablemente el costo total de la mezcla.

Existen algunas limitaciones asociadas al uso de XGL que pueden impactar en las lechadas de baja densidad, por lo que se requiere una agitación previa debido a la posible sedimentación del aditivo y su tendencia a alargar el tiempo bombeable, por consiguiente, se debe prestar atención al momento de ajustar la formulación.

Otro aspecto para considerar es que, a concentraciones elevadas, la goma xantana puede inducir tixotropía y gelificación, lo que puede afectar la eficiencia del proceso. Por último, su aplicabilidad está restringida a temperaturas inferiores a los 120°C, lo que limita su uso en ambientes de alta temperatura. A pesar de estas desventajas, tal como se observó a menores concentraciones formuladas [0.08 y 0.1 l/sac] con respecto a las concentraciones del viscosificante convencional [CMC] se logra mejores resultados en la toma de las lecturas reológicas, aumentando su viscosidad plástica y su punto cedente, lo que permite el incremento del gel para evitar la sedimentación en la lechada de cemento.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Declaraciones

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Milán-Cárdenas María del Carmen: Contribuyó en la búsqueda de las técnicas y el desarrollo de la metodología experimental.

Martinez-Vaqueiro, Eliud: Contribuyó al desarrollo experimental y la aplicación de técnicas estandarizadas.

Martinez-Ceballos, Teresa del Jesús: Contribuyó en la búsqueda de las técnicas y el desarrollo de la metodología experimental.

Vital-Ocampo Angelica Gabriela: Contribuyó en el análisis y la discusión de los resultados.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos y materiales de esta investigación están disponible en el repositorio de la Dirección de Bibliotecas de la Universidad Autónoma del Carmen

Financiación

Esta investigación no recibió ningún tipo de financiación.

Agradecimientos

Agradecimiento a: SECIHTI, a la Dirección General de Investigación y Postgrado de la Universidad Autónoma de Carmen, al laboratorio de Control de Calidad del Agua y al Centro de Investigación Servicios Petroleros y protección Ambiental.

Abreviaturas

API	American Petroleum Institute
Bc	Bearden de consistencia
Cp	Centipoise
ft ²	Pie cuadrado
lbf	Libra masa fuerza
RPM	Revoluciones Por Minuto
Pc	Punto de cedencia
Vp	Viscosidad plástica
XGL	Xanthan Gum

Referencias

Antecedentes

Cadix, A., & James, S. [2022]. Chapter 5 - Cementing additives, *In Oil and Gas Chemistry Management Series, Fluid Chemistry, Drilling and Completion*, Gulf Professional Publishing, Pages 187-254, ISBN 9780128227213

Fu, W., Chen, B., Zhang, K., Liu, J., Sun, X., Huang, B., & Sun, B. [2022]. Rheological Behavior of Hydrate Slurry with Xanthan Gum and Carboxmethylcellulose under High Shear Rate Conditions. *Energy & Fuels*, 36[6], 3169–3183.

Gaurina-Medimurec, N., Pašić, B., Mijić, P. y Medved, I. [2021]. Diseño de fluidos de perforación y lechadas de cemento para yacimientos fracturados naturalmente. *Ciencias Aplicadas*, 11 [2], 767.

Hammadi, L., & Hazzab, A. [2023]. Impact of the Xanthan Gum on Rheological and Mechanical Properties of Slip of Ceramic. *Materials Science Forum*, 1086, 49–58.

Kang, S.-H., Hong, S.-G., & Moon, J. [2020]. Performance Comparison between Densified and Undensified Silica Fume in Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete. *Materials*, 13[17], 3901.

Kummar, S., Dull, N. R., Helsper, S., & Liberatore, M. W. [2024]. Effect of shear rate, temperature, and salts on the viscosity and viscoelasticity of semi-dilute and entangled xanthan gum. *Journal of Applied Polymer Science*, 142[3], 56372.

Li, X., Wang, Z., Liu, Y., Liu, R., Wang, Z., Zhang, C., Zhu, Z., & Yan, J. [2024]. Properties of cement grout doped with xanthan gum and welan gum at high hydration temperatures. *Construction and Building Materials*, Volume 420, 135664, ISSN 0950-0618.

Majedul Islam Khan, Pranta Das, Md. Abu Mogira, M. Farhad Howladar, Sushmita Sarker Chnapa, Mohammad Saeiduj Jaman Chowdhury, [2024] Drilling mud contamination effect on wellbore cement strength: An experimental investigation, *Heliyon*, Volume 10, Issue 15, e35622, ISSN 2405-8440.

Phan, V. T. [2020]. Evaluation of Some Rheological Properties of Xanthan Gum. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 10[5], 6172–6175.

Yang, Kunpeng, Shi, Weiji, Sun, Xiaojie, Hou, Wei, Hu, Jinjun, Zhao, Mingyue, Zeng, Jianguo, and Jianlong Zou [2023] "Research and Application of Ultra-Low Density and Low Friction Cement Slurry Technology." *ISOPE*, Paper number-I-23-011.

Básicos

Lian, Wei, Li, Jun, Tao, Qian, Liu, Gonghui, Wang, Wei, Ren, Kai [2020] [Sealing Failure Mechanism and Control Method for Cement Sheath during Hydraulic Fracturing](#), *ACS Omega*, VL 5,32, pp19978-19994, American Chemical Society.

Mahmoud, Ahmed Abdulhamid, Abdalrahman, Eslam M., Nje, Lobe, Almadani, Abdallah, Al Ramadan, Mustafa, Elkatatny, Salaheldin, and Abdullah Sultan [2024]. ["Challenges of Cementing in Extreme Environments."](#) *GOTECH*, SPE, Paper Number: 219144-MS.

Shokry, Amir, Mahmoud, Ahmed Abdulhamid, and Salaheldin Elkatatny [2024]. ["Review of Remedial Cementing: Techniques, Innovations, and Practical Insights."](#) *GOTECH*, SPE, Paper Number: -219250-MS.

Perroni, Dominic, Medvedev, Anatoly, Kolchanov, Petr, Makarychev-Mikhailov, Sergey, and Justin Roye [2020]. ["Cement-Conveyed Technology Improves Zonal Isolation and Stimulation Efficiency."](#) *International Petroleum Technology Conference*, Paper Number: IPTC-19779-MS

Sajjad Mozaffari, Omeid Rahmani, Ali Piroozian, Zaman Ziabakhsh-Ganji, Hossein Mostafavi, [2022] [Oil-well lightweight cement slurry for improving compressive strength and hydration rate in low-temperature conditions](#), *Construction and Building Materials*, Volume 357,129301, ISSN 0950-0618

Tao, C., Kutchko, B., Rosenbaum, E., & Massoudi, M. [2020]. [A Review of Rheological Modeling of Cement Slurry in Oil Well Applications](#). *Energies*, 13[3], 570.

Soporte

ANSI/API 10 A, [2010]. ["Specification for Cements and Materials for Well Cementing, American Petroleum Institute"](#), ISO 10426-1 [Identical].

ANSI/API RP 10 B, [2013] ["Recommended Practice for Testing Well Cements, American Petroleum Institute"](#)

Bell, D.R. & Nelson, E.B [1990]. [B Laboratory Testing, Evaluation, and Analysis of Well Cements](#), Editor[s]: Erik B. Nelson, *Developments in Petroleum Science, Elsevier*, Volume 28, Pages B-1-B-16, ISSN 0376-7361, ISBN 9780444887511.

Shinde, A. R., & Shenoy, V. [2022]. [Cementing of an oil well using VBA. Nucleation and Atmospheric Aerosols](#). AIP Conference Proceedings, 2469[1], 020008.

Diferencias

ANSI/API RP 10 B, [2013]. ["Recommended Practice for Testing Well Cements, American Petroleum Institute"](#)

Mahmoud, A. A. [2024]. [Critical Evaluation of API Free Water Test Addressing Gaps in Lightweight Cement Slurries Testing](#). *ADIPEC*, SPE, Paper Number: 222839-MS.

Discusión

Cadix, A., Zhang, S. P., Molina, J. C., & Parker, C. O. [2023]. [Temperature Activated Modified Natural Polymer for High Temperature Cement Slurry Rheology Control](#). *SPE International Conference on Oilfield Chemistry*, SPE, Paper Number: 213833-MS [1].

Fu, W., Wang, Z., Sun, B., Xu, J., Chen, L., & Wang, X. [2020]. [Rheological Properties of Methane Hydrate Slurry in the Presence of Xanthan Gum](#). *SPE Journal*, 25[05], 2341–2352.

- Hadjer, D., Hammadi, L., & Abdelkrim, L. [2024]. [Effect of Xanthan gum on rheological properties of water - crude oil emulsions](#). *Brazilian Journal of Technology*, 7[4], e76330.
- Li, X., Wang, Z., Liu, Y., Liu, R., Wang, Z., Zhang, C., Zhu, Z., & Yan, J. [2024]. [Properties of cement grout doped with xanthan gum and welan gum at high hydration temperatures](#). *Construction and Building Materials*, 420 [135664].
- Quitian Ardila, L. H., García-Blanco, Y. J., Daza-Barranco, L. M., Schimicoski, R. S., Andrade, D. E. V., & Franco, A. T. [2024]. [Improving the rheological and thermal stability of water-based drilling fluids by incrementing xanthan gum concentration](#). *Physics of Fluids*, 36[10].
- Wu, L., Zhao, B., Zou, J., Wei, H., Shi, L., Dong, Z., Zou, S., Lu, H., Ao, K., Tian, L., & Guo, Y. [2025]. [Preparation and performance evaluation of cationic hydrophobically associating suspension agent for cementing](#). *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1–12.
- Xu, S., Cao, H., Zhu, Y. P., Sun, H., Lu, J., & Shi, J. [2022]. [Mechanism of Filtration Behaviors of Cement-Based Grout in Saturated Sand under Different Grouting Conditions](#). *Geofluids*, 2022 [1], 1–12.

Evaluación de la concentración de nanopartículas de SiO₂ en las propiedades petrofísicas del medio poroso

Evaluation of the concentration of SiO₂ nanoparticles on the petrophysical properties of the porous medium

Vital-Ocampo, Angelica Gabriela *^a, Montoya-Hernández, Daniel de Jesús^b, Solana-Neri, Fernando del Jesús^c y Domínguez-Trujillo, Miguel del Carmen^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen •  Q-3379-2019 •  0000-0002-9767-6984 •  94501
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen •  NBW-8911-2025 •  0000-0002-6949-1907 •  94495
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen •  NBW-8891-2025 •  0009-0001-0989-8051 •  131475
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen •  NBW-8310-2025 •  0000-0003-0266-7362 •  1144668

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.80.97>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería Petrolera y Petroquímica
Subdisciplina: Sistemas de Hidrocarburos

Key Handbooks

Mediante la simulación numérica se realiza la evaluación de las propiedades petrofísicas al inyectar nanopartículas de Óxido de Sílice [SiO₂] en un medio poroso. Lo anterior aporta elementos para la generación de conocimiento relacionado con las técnicas de recuperación mejorada, identificada como la última opción de extracción de aceite de los yacimientos petroleros. Como principales conclusiones se identifica la comprensión del cambio en las propiedades petrofísicas al manejar un solo tamaño de nanopartícula y tres diferentes valores de concentración de nanofluido; que las concentraciones disminuyen conforme se acercan al pozo productor; que en las cercanías del pozo inyector, predomina la adsorción y/o bloqueo de nanopartículas dañando a la formación y comprometiendo así, la transformación eficiente de las propiedades petrofísicas a favor del medio poroso.

Área: Fortalecimiento de la comunidad Científica

Citación: Vital-Ocampo, Angelica Gabriela, Montoya-Hernández, Daniel de Jesús, Solana-Neri, Fernando del Jesús y Domínguez-Trujillo, Miguel del Carmen. 2025. Evaluación de la concentración de nanopartículas de SiO₂ en las propiedades petrofísicas del medio poroso. 80-97. ECORFAN.

*  [\[avital@pampano.unacar.mx\]](mailto:avital@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>

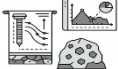


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

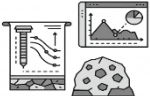
In this work, the variation of the concentration of SiO₂ nanoparticles was analyzed to evaluate the petrophysical properties of the porous medium. For this purpose, a two-dimensional mathematical model discretized in finite differences and programmed in MATLAB was proposed. Twelve scenarios were simulated with three different nanoparticle concentrations, named medium [0.03%], high [0.07%] and limit [0.11%], and a single nanoparticle size [20 nm]. It was found that in the vicinity of the injector well the concentration of nanoparticles generated adsorption and/or blockage to the porous medium causing a reduction in porosity. However, in the vicinity of the producer well [located 500m from the injector] and after one year of simulation, permeability [63.26%] and oil saturation [70.30%] increased. It was identified that the concentration of nanoparticles shows the same trend, however, the distance between the wells has an impact on the change of petrophysical properties.

Objectives	Methodology	Contributions
1.To evaluate, by means of numerical simulation, the influence of different concentrations of SiO₂ nanoparticles on petrophysical properties.  2. Identify which displacement mechanism [blocking, adsorption, transport and desorption] are present in the porous medium. 	1. It starts with the proposal of the physical model  2. The Mathematical model is generated  3. The Numerical and Computational Model is developed to predict petrophysical properties. 	1.It specifically contributes to the understanding of the use of SiO₂ nanoparticles in the porous medium in the presence of two-phase flow.  2.General contribution to generate proposals on the implementation of nanoparticle injection as a method of enhanced oil recovery. 

Simulation, Nanoparticles, SiO₂

Resumen

En este trabajo se analizó la variación de la concentración de nanopartículas de SiO₂ para evaluar las propiedades petrofísicas del medio poroso. Para ello, se propuso un modelo matemático bidimensional discretizado en diferencias finitas y programado en MATLAB. En el modelo se consideró la adsorción, desorción, transporte y bloqueo de poros. Se simularon doce escenarios con tres diferentes concentraciones de nanopartículas, denominadas media [0.03%], alta [0.07%] y límite [0.11%], y un solo tamaño de nanopartícula [20 nm]. Se encontró que en las cercanías del pozo inyector la concentración de nanopartículas generaba adsorción y/o bloqueo causando una reducción en la porosidad. Sin embargo, en las cercanías del pozo productor y a un año de simulación, se incrementó la permeabilidad [63.26%] y la saturación del aceite [70.30%]. Se identificó que la concentración de nanopartículas presenta la misma tendencia, sin embargo, la distancia entre los pozos repercute en el cambio de las propiedades petrofísicas.

Objetivos	Metodología	Contribuciones
1.Evaluar, mediante la simulación numérica la influencia de las diferentes concentraciones de nanopartículas de SiO₂ sobre las propiedades petrofísicas  2.Identificar cual mecanismo de desplazamiento [bloqueo, adsorción, transporte y desorción] se presentan en el medio poroso 	1.Se inicia con la propuesta del Modelo fisico  2.Se genera el Modelo matemático  3.Se desarrolla el Modelo Numérico y Computacional para predecir las propiedades petrofísicas 	1.Contribuye de manera específica sobre el entendimiento del uso de nanopartículas de SiO₂ en el medio poroso con presencia de flujo bifásico.  2.Aporte general que contribuye a generar propuestas sobre la implementación de la inyección de nanopartículas como método de recuperación mejorada de aceite 

Simulación, Nanopartículas, SiO₂

Introducción

En los últimos años la industria petrolera se ha inclinado al hallazgo de nuevas reservas, la evaluación de los procesos en el manejo de hidrocarburos y a la búsqueda de métodos de recobro que permitan extraer hidrocarburos que aún existen en los campos maduros del mundo. Lo anterior, es debido a que las mayores reservas de petróleo [ubicadas en Canadá, Venezuela, México, Estados Unidos, Rusia, Kuwait y China] de aceite pesado y extrapesado, el betún y las arenas bituminosas superan los 6 billones de barriles, lo que representa el 70% del total de las reservas mundiales de petróleo, mientras que el aceite pesado por sí solo representa el 15%. [Yernazarova et al. 2016].

En México, de los más de 750 campos existentes, alrededor de 485 pueden considerarse como maduros, 294 campos de aceite y 191 campos de gas [Franco, 2018]. Derivado de lo anterior, surge la necesidad de implementar nuevas tecnologías y metodologías en la exploración y producción de aceite. Una de estas tecnologías, es el uso de la nanotecnología la cual ha demostrado tener una gran aplicabilidad en distintos procesos de la industria petrolera [Hassan, 2024, Davoodi et al., 2022, Sircar et al., 2021]. Específicamente en los procesos de recuperación mejorada de aceite, la aplicación de esta tecnología consiste en inyectar nanopartículas en una fase continua [agua] a través de un pozo inyector al yacimiento para lograr que las propiedades del sistema roca/fluido se modifiquen y se incremente así, la recuperación de aceite [Foroozesh & Kumar, 2020]. Diversos estudios [Anirbid et al., 2022; Rezaei et al., 2020; Sun et al., 2017; Miranda, 2017; El-Diasty & Selem Ragab, 2013; Hendraningrat et al., 2013; Ju et al., 2006] han señalado que el uso de nanopartículas en el medio poroso aumentan la recuperación de aceite debido al cambio de la tensión interfacial entre el aceite y el agua, a la viscosidad de la fase en las que se dispersan y a la alteración de la mojabilidad del medio poroso. Particularmente de esta última, continúan los desacuerdos sobre sus efectos en la recuperación final de petróleo inundado por agua. A pesar de ello, la apuesta al uso de las nanopartículas se enfatiza no solo técnicamente si no también económica y ambientalmente. [Hassan et al., 2024 y Davoodi et al., 2022].

De las nanopartículas existentes, específicamente las de Óxido de Sílice [SiO_2] han demostrado tener beneficios al inyectarse como nanofluido para desplazar el aceite de las rocas [Mustafa & Baojun, 2018; Al-Anssari et al., 2017]. Por ejemplo, Youssif et al., [2018] mencionaron que las nanopartículas de SiO_2 tienen la capacidad de mejorar la producción de petróleo, al tiempo que son ecológicas y de composición natural para los yacimientos de arenisca. Mientras que Llinas & Sánchez-García [2013], mencionaron que éstas son inertes, biodegradables, fácilmente sintetizables y se pueden obtener de distinta forma y tamaño. Ding et al., [2024], menciona que las nanopartículas de SiO_2 pueden modificar la humectabilidad de las rocas cuando estas presentan baja permeabilidad, pasando de humedecer con aceite a mojado con agua, lo que mejora la eficiencia del desplazamiento del petróleo y lo lleva a un aumento de la tasa de recuperación de más del 17%.

En suma, a ello, diferentes esfuerzos han sido realizados para representar de manera teórica-experimental los fenómenos, mecanismos y efectos causados por las nanopartículas durante su paso a través de un medio poroso saturado. Por ejemplo. Ju et al., [2006], propusieron un modelo matemático unidimensional con flujo bifásico que considera la migración y adsorción de nanopartículas lipofóbicas e hidrofílicas de SiO_2 y desarrollaron un simulador para predecir la distribución de la concentración de nanopartículas, los cambios en las permeabilidades, porosidad y evaluación de la recuperación de aceite, derivado del cambio en el valor de la concentración de la nanopartícula. Los resultados de sus simulaciones mostraron que la permeabilidad y porosidad del medio poroso declinaban debido a la retención de nanopartículas durante su transporte por el medio poroso y demostraron que el uso de nanopartículas contribuía en los porcentajes de recuperación de aceite.

Por otra parte, Ju & Fan [2009], usaron dos tipos de nanopartículas de polisilicio y presentaron un modelo matemático para describir el transporte de la nanopartícula en medios porosos con flujo bifásico. Utilizando un modelo bifásico, Ju et al., [2012] proponen un modelo matemático que considera el control de mojabilidad por agentes químicos. Las simulaciones numéricas mostraron que el tratamiento con nanofluidos para el control de mojabilidad conducía a un 15.38% más en la recuperación de petróleo que en el desplazamiento normal por agua y que la concentración de las nanopartículas jugaba un rol importante en la recuperación del aceite cuando la concentración era menor que 0.02. Posteriormente, El-Amin et al., [2013], presentaron un modelo matemático para describir el transporte de nanopartículas con flujo de bifásico a través de un medio poroso que incluía la fuerza de gravedad, capilaridad y difusión Browniana.

Hicieron énfasis en el procedimiento de solución del sistema de ecuaciones que conformaban el modelo matemático. Los ejemplos numéricos que consideraron fueron: heterogeneidad en la permeabilidad y permeabilidad aleatoria. Sus resultados, identificaron una reducción en la porosidad debido a la retención de nanopartículas en la superficie del medio. Abdelfatah et al., [2017], presentaron un modelo matemático utilizando la ecuación de Darcy y la ecuación de convección-difusión para describir el flujo de fluido, el transporte de nanopartículas y la interacción de estas con el medio poroso. Utilizaron una distribución para el tamaño de la garganta de poro con el propósito de caracterizar la heterogeneidad del medio y un vector de permeabilidades como una función de esta distribución. Los resultados del modelo revelaron que la deposición en la superficie del medio, el taponamiento individual y el taponamiento de un conglomerado de nanopartículas podían ser los mecanismos dominantes bajo condiciones específicas. Abdelrahman et al., [2021], utilizaron dispersiones comerciales de nanopartículas de sílice en experimentos estándar de inundación del núcleo para evaluar el efecto de la inyección de nanofluido en la recuperación incremental de petróleo. Identificaron que existe una concentración crítica de nanopartículas a partir de la cual el petróleo recuperado disminuirá debido a la aglomeración y retención de las partículas en el sistema de poros. Encontraron que la concentración crítica es igual a la cantidad que cubrirá al 100% la superficie de los granos de roca y que cualquier concentración extra se aglomerará en las gargantas de los poros y afectará negativamente a la recuperación y reducirá la permeabilidad. A pesar de los antes mencionado, se continua con el desarrollo trabajos teóricos, experimentales ó bien Teóricos- Experimentales [Rodríguez et al, 2018, Domínguez-Trujillo, 2021, Zhou et al., 2023] enfocados a identificar los beneficios y alcances del uso de las nanopartículas de SiO₂ en la producción de aceite en yacimientos petroleros.

Por lo anterior, en el presente trabajo se contempla un estudio teórico de inyección de un nanofluido [fluido con nanopartículas] en un medio poroso bajo condiciones específicas con el fin de proponer un modelo en 2D, el cual contemple los principales fenómenos físicos de adsorción, desorción, transporte, y bloqueo de poros por los cuales actúan las nanopartículas y evaluar los cambios de las propiedades del sistema roca/fluido que dichos mecanismos propicien.

Modelo físico del flujo de nanofluido en un medio poroso

Con base en el trabajo de Rodríguez et al., [2018], se generó una nueva propuesta del modelo matemático considerando inicialmente en este: medio poroso isótropo e inicialmente homogéneo [saturado de aceite], inyección de agua con nanopartículas, flujo bifásico [agua-nanopartículas y aceite], medio poroso rígido, fluidos ligeramente compresibles y Newtonianos, sin efecto de gravedad. proceso isotérmico y transitorio, flujo bidimensional en coordenadas cartesianas, geometría esférica de las nanopartículas, tamaño de las nanopartículas fijo, movimiento Browniano de las nanopartículas. En suma, se consideraron los principales fenómenos físicos que gobiernan en el medio poroso dada la presencia de nanopartículas como: adsorción, desorción, bloqueo y Transporte. Lo anterior, se muestra en la Figura 1.

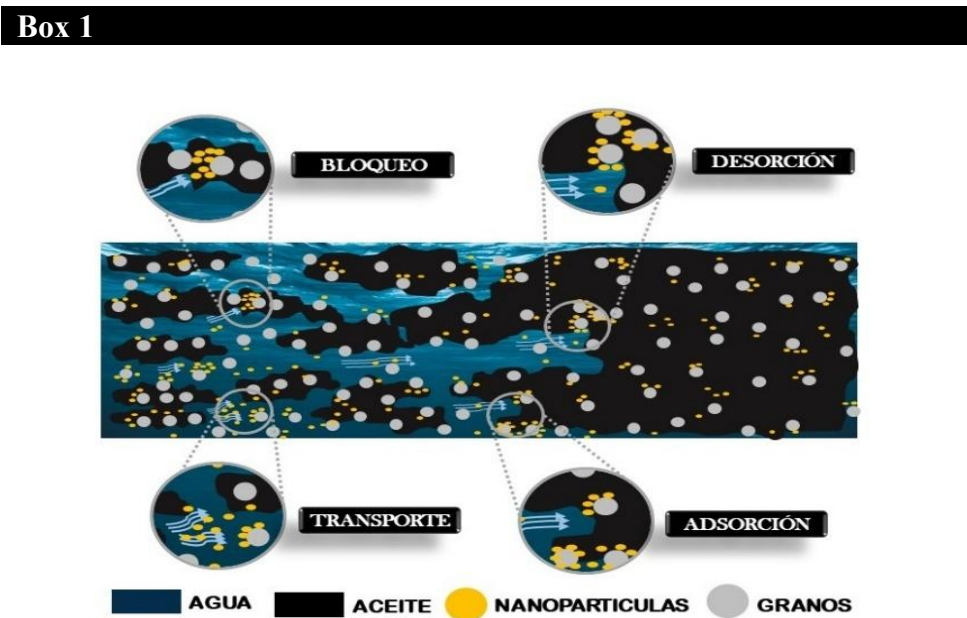


Figura 1
Representación del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia

Modelo Matemático

Tomando en cuenta el modelo físico y los trabajos presentados por Sepehri et al., [2019] y Ju et al., [2006], se propone el modelo matemático en 2D. Para éste, se partió de las ecuaciones de transporte de masa, cantidad de movimiento para cada fase [aceite y agua] y nanopartículas. De manera adicional se propusieron ecuaciones constitutivas que permiten contar con un sistema cerrado de ecuaciones dando pie al modelo hidrodinámico, tal como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kk_{ro}}{B_o \mu_o} \frac{\partial p_o}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kk_{ro}}{B_o \mu_o} \frac{\partial p_o}{\partial y} \right) + q_o = \frac{\partial}{\partial t} \left(\phi \frac{S_o}{B_o} \right) \quad [1]$$

$$y \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kk_{rw}}{B_w \mu_w} \frac{\partial p_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kk_{rw}}{B_w \mu_w} \frac{\partial p_w}{\partial y} \right) + q_w = \frac{\partial}{\partial t} \left(\phi \frac{S_w}{B_w} \right) \quad [2]$$

En las ecuaciones [1] y [2], p es presión, ϕ es porosidad, S es saturación, k es la permeabilidad efectiva, k_r es la permeabilidad relativa, μ es viscosidad, q es gasto, B es el factor volumétrico, x y y son dimensiones espaciales y t es tiempo. Los subíndices o y w indican las fases aceite y agua, respectivamente.

i) Ecuación para la presión

Partiendo de estas ecuaciones [1] y [2] se realiza la deducción de la ecuación para la presión. Para ello, se utiliza el método de Presión Implícita - Saturación Explícita o Implicit Pressure - Explicit Saturation [IMPES, por sus siglas en inglés]. De manera adicional, se tomaron en cuenta los conceptos de factor volumétrico y saturación de cada fase, así como la compresibilidad del aceite, agua y roca. Lo anterior permitió expresar la ecuación para la presión en términos de saturación y compresibilidad total, esto es:

$$\frac{\phi c_t}{B_w} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{B_o}{B_w} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kk_{ro}}{\mu_o B_o} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kk_{rw}}{\mu_w B_w} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{B_o}{B_w} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kk_{ro}}{\mu_o B_o} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kk_{rw}}{\mu_w B_w} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{B_o}{B_w} q_o + q_w \quad [3]$$

Donde p es presión, c_t es la compresibilidad total, ϕ es porosidad, k es permeabilidad efectiva, k_r es permeabilidad relativa, μ es viscosidad, q es gasto, B es el factor volumétrico, x y y son dimensiones espaciales y t es tiempo. Los subíndices o y w indican las fases aceite y agua, respectivamente. Para su solución se asumirá una condición inicial de $P=P_0$ en $t=0$, y condiciones de frontera del tipo dos, es decir: en $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ en $x=0$ y $y=0, L_y$; $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ en $x=L_x$ y $y=0, L_y$; $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ en $y=0$ y $x=0, L_x$ y $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ en $y=L_y$ y $x=0, L_x$

ii) Ecuación para la saturación

Dado que para la presión y la saturación se consideró el método IMPES, las ecuaciones [1] y [2] se utilizaron para la obtención de la ecuación de saturación. Para ello, fue necesario tomar en cuenta conceptos de compresibilidad del aceite, agua y roca, el factor volumétrico de cada fase por lo que su expresión es:

$$\frac{\phi}{B_w} \frac{\partial S_w}{\partial t} + (c_w + c_r) \frac{\phi S_w}{B_w} \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kk_{rw}}{\mu_w B_w} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kk_{rw}}{\mu_w B_w} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + q_w \quad [4]$$

Donde p es presión, c_w es la compresibilidad del agua, c_r es la compresibilidad de la formación, ϕ es porosidad, S_w es la saturación del agua, k es la permeabilidad efectiva, k_{rw} es la permeabilidad relativa al agua, μ_w es la viscosidad del agua y B_w es el factor volumétrico del agua. Para la ecuación [4] la condición inicial considerada es $S_w = S_{w0}$ en $t=0$. Para conocer la saturación de la fase aceite se utilizó en concepto de saturación total

$$S_w + S_o = 1 \quad [5]$$

Para el comportamiento de las curvas de permeabilidades relativas de la ecuación [4], se tomó en cuenta el trabajo presentado por [Ahmed, 2001]:

$$k_{ro} = k_{ro_Swc} \cdot (1 - S_n)^{n_o} \quad [6]$$

y

$$k_{rw} = k_{rw_Sorw} \cdot (Sn)^{n_w} \quad [7]$$

Donde k_{ro} es la permeabilidad relativa al aceite, k_{rw} es la permeabilidad relativa al agua, k_{ro_Swc} es la permeabilidad relativa al aceite en la saturación de agua connata, k_{rw_Sorw} permeabilidad relativa al agua en la saturación residual de aceite, n_o y n_w son los exponentes de la correlación de Brooks-Corey, que para este caso son para yacimientos de roca tipo arenisca por lo que $n_o=2$ y $n_w=2$ y Sn es la saturación normalizada que se define:

$$Sn = \frac{S_w - S_{wc}}{1 - S_{wc} - S_{orw}} \quad [8]$$

Donde S_w es la saturación de agua, S_{wc} es la saturación inicial de la fase agua y la S_{orw} es la saturación residual de la fase aceite después de su desplazamiento.

Por su parte, las velocidades que definen en la ecuación de transporte de nanopartículas para la fase agua, son:

$$u_{wx} = -\frac{kk_{rw}}{\mu_w} \frac{\partial p}{\partial x} \quad [9]$$

y

$$u_{wy} = \frac{kk_{rw}}{\mu_w} \frac{\partial p}{\partial y} \quad [10]$$

iii) Ecuación de transporte de nanopartículas

Para el transporte de las nanopartículas en la fase agua, se consideró movimiento browniano debido a que el tamaño de estas se encuentra entre 10 y 100 nm [Sepehri et al., 2019], entonces:

$$\phi S_w \frac{\partial C}{\partial t} + u_{wx} \frac{\partial C}{\partial x} + u_{wy} \frac{\partial C}{\partial y} - \phi S_w D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \phi S_w D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + R = 0 \quad [11]$$

Donde C es la concentración en volumen, D es el coeficiente de dispersión. y R es la tasa neta de pérdida de nanopartículas se define bajo dos tipos de retenciones: 1] por deposición en la superficie del medio poroso y 2] por el bloqueo en las gargantas de poros. Para su solución se asumirá una condición inicial de $C=0$ en $t=0$ y condiciones de frontera del tipo dos, es decir: $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ en $x=0$ y $y=L_y$; $\frac{\partial C}{\partial y} = 0$ en $x=L_x$ y $y=0$, L_y ; $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ en $y=0$ y $x=0, L_x$ y $\frac{\partial C}{\partial y} = 0$ en $y=L_y$ y $x=0, L_x$

Dado que, en el modelo físico, se consideró que las nanopartículas retenidas en la superficie de los poros podrán separarse [desorción] bajo la acción de fuerzas coloidales e hidrodinámicas y luego vuelven a adsorberse en otro sitio o quedarse atrapadas en las gargantas de poros. La razón neta de intercambio de nanopartículas está dada por:

$$R = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^*}{\partial t} \quad [12]$$

Donde v es el volumen de nanopartículas en contacto con la fase agua disponible en la superficie de los poros por unidad de volumen de roca y se define como:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \begin{cases} \alpha_d u_{wx} C + \alpha_d u_{wy} C & \text{cuando } u_{wx} \leq u_{wxc} \text{ y } u_{wy} \leq u_{wyc} \\ \alpha_d u_{wx} C + \alpha_d u_{wy} C - \alpha_e v [u_{wy} - u_{wyc}] & \text{cuando } u_{wx} \leq u_{wxc} \text{ y } u_{wy} > u_{wyc} \\ \alpha_d u_{wx} C - \alpha_e v (u_{wx} - u_{wxc}) + \alpha_d u_{wy} C & \text{cuando } u_{wx} > u_{wxc} \text{ y } u_{wy} \leq u_{wyc} \\ \alpha_d u_{wx} C - \alpha_e v (u_{wx} - u_{wxc}) + \alpha_d u_{wy} C - \alpha_e v (u_{wy} - u_{wyc}) & \text{cuando } u_{wx} > u_{wxc} \text{ y } u_{wy} > u_{wyc} \end{cases} \quad [13]$$

Donde u_{wxc} y u_{wyc} se definen como las velocidades críticas del agua para la deposición y arrastre de las nanopartículas. Los valores de las velocidades de la fase agua por debajo de las velocidades críticas permitirán la retención de nanopartículas en la superficie del medio poroso. Mientras que velocidades mayores a los valores de las velocidades críticas favorecerán una condición simultanea de arrastre y deposición de nanopartículas. Por otra parte, α_d y α_e son las constantes de velocidad para la retención en la superficie y arrastre de nanopartículas en la fase agua, respectivamente.

iv) Volumen de nanopartículas atrapadas

El volumen de nanopartículas atrapado en las gargantas de poro por unidad de volumen de roca en la fase agua, de la ecuación [12], es:

$$\frac{\partial v^*}{\partial t} = \alpha_{pt} u_{wx} C + \alpha_{pt} u_{wy} C \quad [14]$$

Donde C es la concentración en volumen, u_{wx} y u_{wy} definen a las velocidades de la fase agua en dirección x , y y α_{pt} es la constante de velocidad para el bloqueo de las gargantas de poros.

Como consecuencia del fenómeno de adsorción de nanopartículas, se forma una capa alrededor de la superficie del medio poroso, donde la porosidad cambia, para esto se define una porosidad instantánea dada por:

$$\emptyset = \emptyset_0 + \Delta\emptyset \quad [15]$$

En esta ecuación, $\emptyset_0$ representa la porosidad inicial y el término $\Delta\emptyset$ denota las variaciones de la porosidad debido a la adsorción o desorción de nanopartículas en la superficie y está representada por:

$$\Delta\emptyset = v + v^* \quad [16]$$

El mismo fenómeno de adsorción modifica a la permeabilidad absoluta del medio por lo que es necesario definir una permeabilidad instantánea, como:

$$k = k_o \left[(1 - f) k_f + f \left(\frac{\emptyset}{\emptyset_0} \right)^n \right] \text{ donde } f = 1 - \alpha_f v^* \quad [17]$$

En la ecuación [17], k y $\emptyset$ son permeabilidad y porosidad instantánea local, k_o es la permeabilidad efectiva inicial, k_f es la constante de filtración de fluido permitida a través de los poros bloqueados [para este trabajo, $k_f=0.35$], f es la fracción del área de la sección transversal original abierta al flujo [factor de eficiencia de flujo], la cual expresa la fracción de poros no bloqueados que permitirán el flujo libremente, α_f es el coeficiente de eficiencia de flujo para las nanopartículas, v^* es el volumen de nanopartículas atrapado en las gargantas de y n es el coeficiente empírico de este modelo [$n=2.5$]. Cabe señalar que los valores dados a constantes y coeficientes están basados en los reportados por Ju et al., [2006].

Debido a que la adsorción de nanopartículas representará el mecanismo de cambio de mojabilidad de la superficie del medio poroso, se requiere proponer expresiones de permeabilidades relativas en función de la geometría, el área superficial de las nanopartículas y el área específica del medio poroso. Entonces, estas expresiones de permeabilidades relativas de la fase agua y aceite, k'_{rwjp} y k'_{roj} como función de la superficie cubierta por nanopartículas, son:

$$k'_{rwjp} = k_{rwj} + \frac{k'_{rwj} - k_{rwj}}{S_v} S \quad [18]$$

y

$$k'_{roj} = k_{roj} + \frac{k'_{roj} - k_{roj}}{S_v} S \quad [19]$$

Donde k_{rwj} y k_{roj} son las permeabilidades relativas al aceite y al agua, antes del tratamiento con nanopartículas [Ju et al., 2012], S es el área superficial total de nanopartículas en contacto con los fluidos para todos los intervalos, y está definida por:

$$s = \beta \sum_{i=1}^{n,m} (v_{i,j} + v_{i,j}^*) \frac{6}{dp} \quad [20]$$

Donde β es coeficiente de área superficial para areniscas [el rango de su valor va de 0.0 a 1.0, en este trabajo, $\beta=0.8$], dp es el diámetro de nanopartícula [Ju et al., 2006] y S_v es el área específica de un núcleo, obtenida mediante la ecuación

$$s_v = 7000\phi \sqrt{\frac{\phi}{dp}}$$

[21]

Para las nuevas permeabilidades se tomará en cuenta que si $s \geq s_v$, las superficies totales por unidad de volumen del medio poroso están completamente ocupadas por las nanopartículas, adsorbidas en las superficies de los poros o atrapadas en las gargantas de poros y que la mojabilidad será determinada por las nanopartículas.

Cuando las superficies por unidad de volumen del medio poroso están completamente ocupadas por nanopartículas, las permeabilidades relativas de las fases de agua y aceite se toman como k'_{rwj} y k'_{roj} respectivamente; de otro modo, las permeabilidades relativas de las fases de agua y aceite se toman como una función lineal de las superficies ocupadas por nanopartículas, es decir, cuando $0 < s < s_v$, las permeabilidades relativas de agua y aceite son k'_{rwjp} y k'_{rojpp} . Por otra parte, cuando $s < s_v$, se asume que solo una parte de las superficies por unidad de volumen del medio poroso estará ocupada por nanopartículas.

Modelo Numérico y Computacional

Para la solución de sistema de ecuaciones [3], [4], [11] y [13-14]mostradas en la sección anterior se usó aproximación en diferencias finitas. Los esquemas de solución para el modelo numérico serán implícitos para las ecuaciones [3] y [11] y explícitos para las ecuaciones [4], [13] y [14]. La solución numérica del modelo en diferencias finitas proporcionará información de las variables dependientes dentro del espacio discreto tanto para las coordenadas espaciales como la temporal.

En la figura 2, se muestra la discretización en espacio y tiempo del medio poroso en 2D, en la cual [i] representa la posición espacial en x, [j] representa la posición espacial en y, ambas del nodo donde la variable es calculada, [n] indica el tiempo actual, [n+1] indica el cálculo de la variable en el nuevo tiempo de simulación. Los coeficientes S, W, E y N se refieren a las direcciones Sur, Oeste, Este y Norte, respectivamente; el coeficiente C, se refiere al nodo en sí mismo, en el Centro.

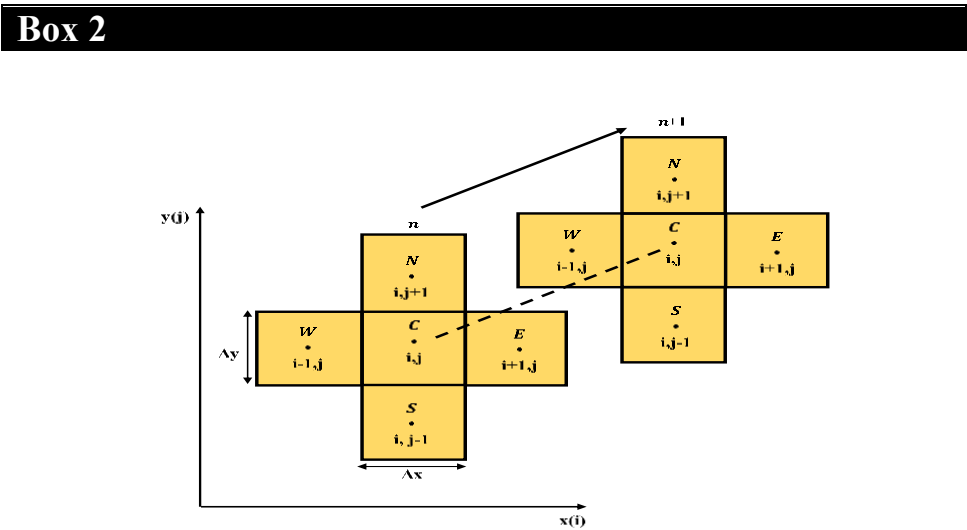


Figura 2
Discretización espacial y temporal del medio poroso en 2D
Fuente [Modificada de Ertekin et al., 2001]

Por otra parte, para la simulación se consideraron dos pozos, uno productor ubicado en dirección NO y otro inyector ubicado en dirección SE. De manera adicional se utilizaron para la simulación los datos concentrados en la Tabla 1.

Box 3

Table 1
Parámetros de simulación

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
Longitud de la malla en x L_x	500 [m]	Permeabilidad inicial, k	162 mD
Longitud de la malla en y , L_y	500 [m]	Saturación de agua inicial S_w	30 %
Tamaño de celda en x , Δx ,	50 [m]	Viscosidad del aceite, μ_o	50 cp
Tamaño de celda en y , Δy	50 [m]	Viscosidad del agua, μ_w	5 cp
Altura, h	50[m]	Gasto de inyección, Q_w	200 bpd
Porosidad inicial, ϕ	25 [%]	Gasto de producción Q	200 bpd

Para dar solución al sistema de ecuaciones obtenidas del modelo numérico, se desarrolló un código computacional en MATLAB. Dicho código computacional resuelve el sistema de ecuaciones algebraicas derivado del proceso de discretización el cual es expresado en forma matricial en términos de variables dependientes según sea el caso. Para el cálculo de la presión, se utilizó el método de matriz inversa, esto con la finalidad de hacer uso de alguno de los métodos denominados exactos, como sugieren algunos autores para la resolución de modelos en 1D y 2D. Mientras que, para el cálculo de la concentración, se utilizó el método Gauss-Seidel, debido a que la concentración inicial es muy pequeña, lo cual hace que la inversa de la matriz no pueda ser calculada.

Cabe señalar que las condiciones de frontera para la ecuación de presión y para la concentración se asumieron del mismo tipo, debido a que las nanopartículas y el fluido de inyección son introducidos a través del pozo inyector y no a través de la frontera como en los modelos en 1D.

Procedimiento de solución

El proceso de solución del sistema de ecuaciones discretizado que define al modelo computacional se resume en 12 pasos, mismos que se describen a continuación:

- Paso 1. Introducir las propiedades correspondientes al medio poroso y los fluidos.
- Paso 2. Definir los valores de condiciones iniciales y de frontera.
- Paso 3. Iniciar el ciclo de tiempo donde se fijan valores para cada celda del espacio discreto.
- Paso 4. Resolver de la ecuación de presión.
- Paso 5. Resolver la ecuación de saturación.
- Paso 6. Calcular las velocidades de la fase agua con las ecuaciones [9] y [10].
- Paso 7. Resolver la ecuación de concentración de nanopartículas con un criterio de paro de cien iteraciones.
- Paso 8. Calcular los volúmenes de nanopartículas de las ecuaciones.
- Paso 9. Calcular la nueva porosidad y la permeabilidad absoluta dada la inyección de nanopartículas con las ecuaciones [17] y [15].
- Paso 10. Calcular las permeabilidades relativas al aceite y al agua con las ecuaciones [6] y [7].
- Paso 11. Asignar las variables espaciales dependientes, calculadas en el tiempo actual para ser usadas al inicio del siguiente tiempo.
- Paso 12. Realizar el mismo procedimiento hasta completar el tiempo total de simulación. En caso contrario se regresa al paso 4.

Se realizo, además, un análisis de consistencia para garantizar la solución no dependa de los tamaños de paso espacial ni temporal, que por cuestiones de espacio este análisis no se presenta, pero puede consultarse con detalle con [Dominguez-Trujillo, 2021].

Metodología

Para la evaluación de las propiedades del sistema roca-fluido [presión, saturación y volumen de nanopartículas] derivado del cambio de la concentración de nanopartículas de SiO₂ inyectadas con agua en un medio poroso, se contempló la propuesta del modelo físico, matemático, numérico y computacional en 2D.

Para la propuesta del modelo numérico, se utilizó el método de diferencias finitas, mientras que para el modelo computacional se utilizó el método de Gauss-Seidel el cual fue desarrollado utilizando el lenguaje de programación de MATLAB. Particularmente para la predicción de la presión y saturación se utilizó el método de Presión Implícita - Saturación Explícita o Implicit Pressure - Explicit Saturation [IMPES, por sus siglas en inglés].

Para el caso de la concentración de las nanopartículas en la fase agua se consideró movimiento browniano debido a que el tamaño de las nanopartículas se encuentra entre 10 y 100 nm. Mientras que, para el volumen de nanopartículas, se definió en función de la deposición en la superficie del medio poroso y el bloqueo en las gargantas de poros. Para validar los resultados se compararon los datos obtenidos con los resultados experimentales presentados por Ju et al., [2006] y Sepehri et al., [2019].

Resultados y Discusión

Para validar el modelo computacional propuesto, se utilizaron los resultados experimentales presentados por Ju et al., [2006], Rodríguez et al., [2018] y Sepehri et al., [2019] en 1D y posteriormente se realizó la expansión a 2D.

En esos trabajos los autores utilizaron una mezcla de agua con nano partículas de SiO₂ a través de un medio poroso con condiciones controladas.

Los resultados obtenidos mostraron una aceptable concordancia al ser comparados con lo que se garantiza un buen acoplamiento del sistema de ecuaciones y un buen funcionamiento del modelo.

Con la finalidad de evaluar el cambio en las propiedades petrofísicas [porosidad, permeabilidad], el comportamiento en la producción de aceite y las contribuciones de los 4 fenómenos gobernantes del desplazamiento de aceite mediante la inyección de nanopartículas se simularon 12 escenarios. En estos se consideró un único tamaño de nanopartícula equivalente a 20 nm, tres diferentes valores de concentración [0.03% [concentración media], 0.07% [concentración alta] y 0.11% [concentración límite]] y tiempos de simulación que van de 3 mes a un 1 año. Lo anterior se resume en la Tabla 2.

Box 4

Table 2

Casos de simulación

Tiempo de simulación	Concentración de nanopartículas		
	Media [C ₁ = 0.03%]	Alta [C ₂ = 0.07%]	Límite [C ₃ = 0.11%]
3 meses	x	x	x
6 meses	x	x	x
9 meses	x	x	x
12 meses	x	x	x

En la figura 3, se muestra el comportamiento de la concentración respecto a la distancia para 3, 6, 9 y 12 meses de simulación. En estos, se aprecia que la concentración tiene una tendencia a disminuir con forme avanza al pozo productor e incrementa el tiempo de simulación. Sin embargo, los valores de concentración límite de 0.11 % en volumen, fueron los que mostraron un incremento en cada escenario de tiempo. En el recuadro ampliado, se muestra el cambio de las tendencias de las concentraciones, sin embargo, estas continúan disminuyendo hasta alcanzar valores desde 10⁻⁵⁵ % a 10⁻⁷² %.

Box 5

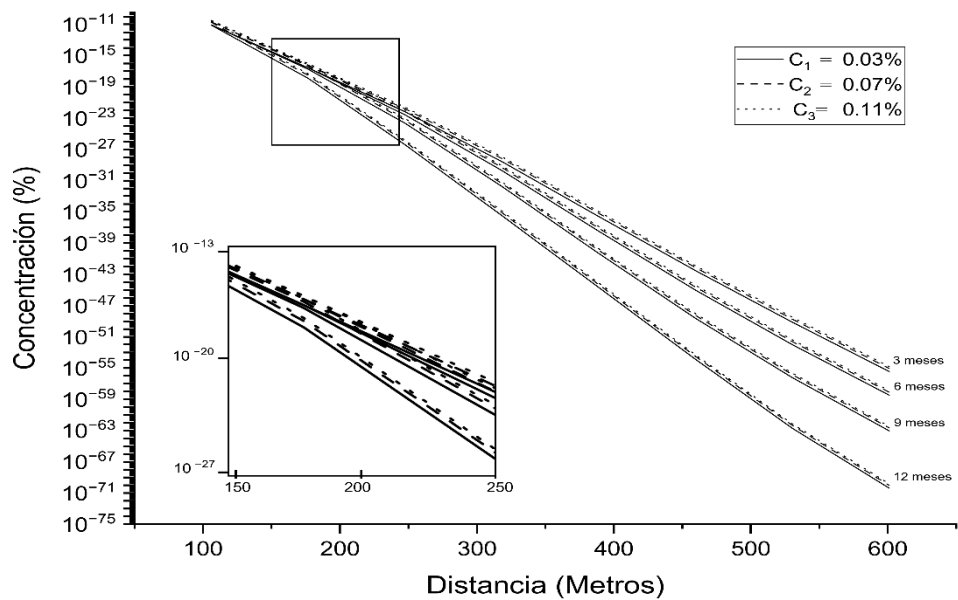


Figura 3
Concentración de nanopartículas respecto a la distancia para 3, 6, 9 y 12 meses de simulación

Dado lo anterior, en la Figura 4 se muestran los perfiles de porosidad respecto al tiempo para los tres casos de las concentraciones consideradas en las cercanías del pozo inyector. En estos se confirma que el incremento de la concentración afecta a la porosidad, ya que esta disminuye hasta alcanzar una diferencia entre C_1 y C_3 hasta de 4.6 %

Box 6

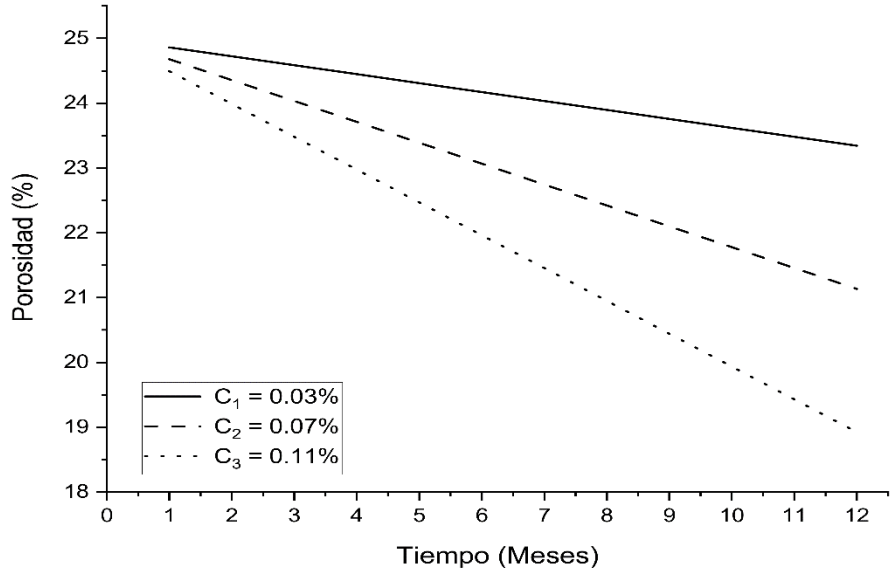


Figura 4
Perfiles de porosidades respecto al tiempo para los tres casos de concentración

En la Figura 5, se muestran los perfiles de permeabilidades relativas de agua y aceite para los tres valores de concentración durante un año de simulación. En estos se aprecia que, inicialmente las permeabilidades del agua tienden a aumentar conforme la concentración alcanza el valor límite, mientras que las permeabilidades relativas del aceite tienden a disminuir, estos cambios ponderan el efecto del cambio en la mojabilidad de la superficie del medio poroso. Sin embargo, conforme avanza en hacia el pozo productor y transcurre el tiempo de simulación la permeabilidad relativa del aceite tiende a incrementar mejorando el flujo del fluido.

Box 6

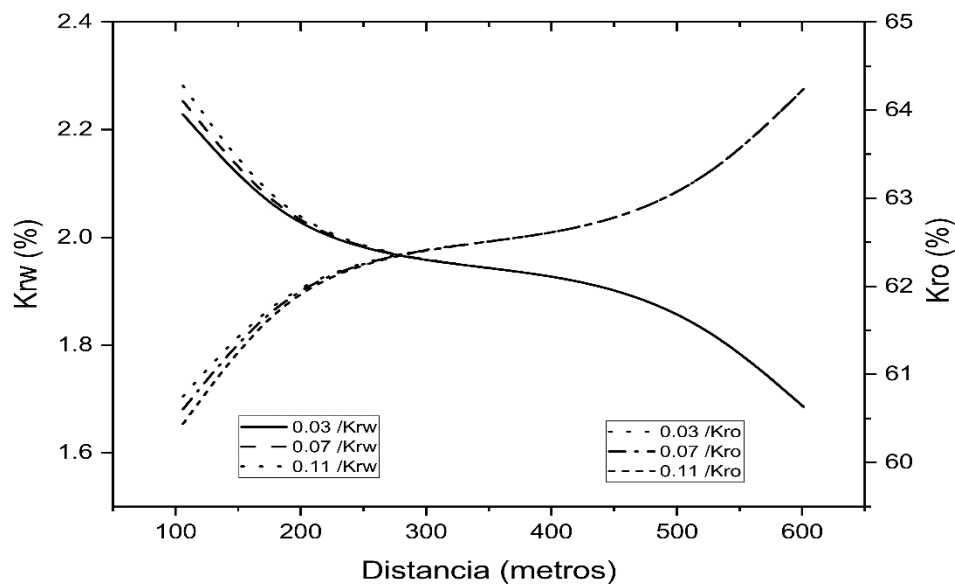


Figura 5
Perfiles de permeabilidades relativas a un tiempo de simulación de 12 meses.

En la Tabla 3, se concentran los resultados obtenidos de las tres concentraciones analizadas. En esta, se aprecia que la porosidad se reduce conforme el incremento de la concentración inicial y el tiempo. Lo anterior enfatiza que en las cercanías del pozo inyector, existe una mayor deposición [adsorción] de nanopartículas generando daño a la formación que afectará de manera similar a la permeabilidad de la roca.

Box 7

Table 3

Resultados de las simulaciones para las concentraciones

Tiempo de simulación	Concentración de nanopartícula					
	Media 0.03%]	[C ₁ =	Media 0.03%]	[C ₁ =	Media 0.03%]	[C ₁ =
3 meses	∅ [%]		∅ [%]		∅ [%]	
6 meses	24.59		24.59		24.59	
9 meses	24.17		24.17		24.17	
12 meses	23.76		23.76		23.76	

Amoo & Layi Fagbenle, [2020], mencionan que la cantidad de cambios que se producen en los fluidos con nanopartículas depende de la forma, el tamaño, la cantidad [volumen] de las nanopartículas. Por lo anterior, se analizó de manera particular el valor de la concentración de nanopartículas límite [C₃= 0.11%] para 3, 6, 9 y 12 meses de simulación. La figura 6 muestra la variación de la concentración de nanopartículas considerando la distancia comprendida entre el pozo inyector y el pozo productor. En esta, la concentración de nanopartículas disminuye significativamente a medida que la distancia desde el punto de inyección aumenta.

Esto es un comportamiento esperado debido a la dilución y la posible retención de nanopartículas en la matriz porosa a medida que la solución avanza. Por otra parte, de manera local, la concentración de nanopartículas tiende a mantenerse igual cerca del pozo inyector, mientras que en dirección al pozo productor esta tiende cambiar a los 12 meses de 10⁻⁷⁰ % a 10⁻⁵⁵ %.

Box 8

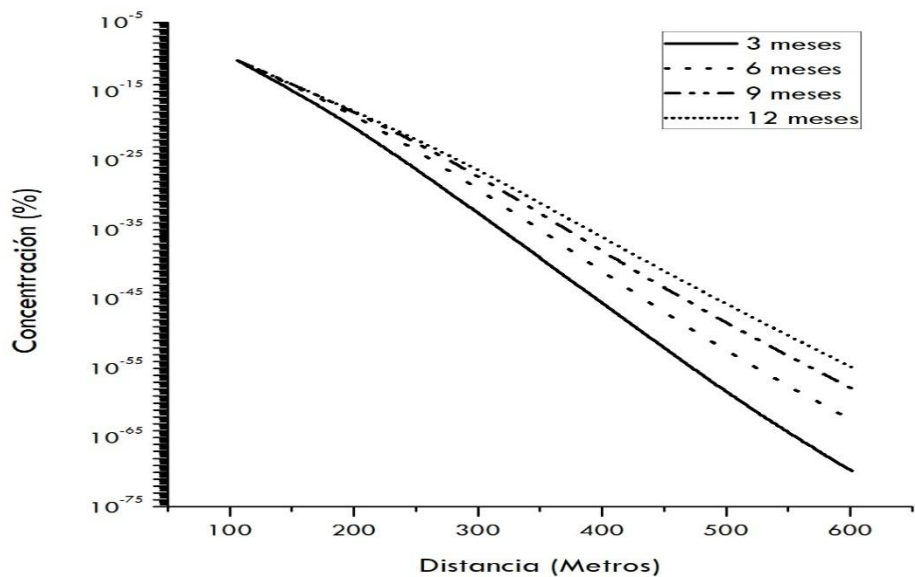


Figura 6
Concentración de nanopartículas en dirección pozo inyector-pozo productor.
con concentración de caso límite [$C_3= 0.11\%$]

Por otro lado, en la figura 7 se comparan los valores de presión obtenidos en un año [3, 6, 9 y 12 meses de simulación] para la concentración de nanopartículas límite de 0.11 % en volumen. La variación de la presión a lo largo de la distancia comprendida entre el pozo inyector y el pozo productor se debe a los gastos de inyección y producción, así como a la concentración de nanopartículas que se difunden en el medio poroso. La mayor diferencia se presenta a los 12 meses siendo esta, de más de 2 millones de pascales entre los pozos inyector y productor.

Box 9

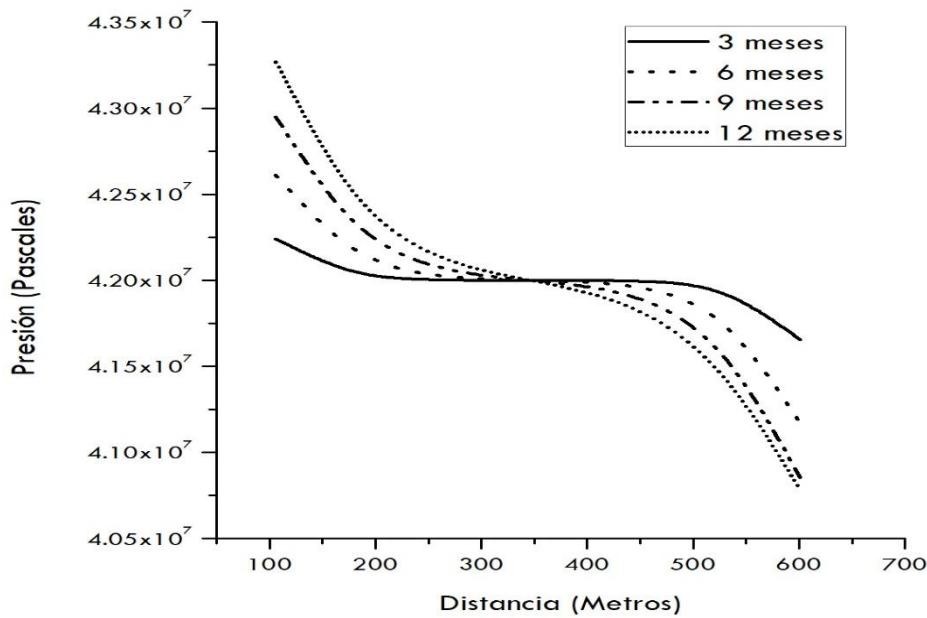


Figura 7
Perfiles de presión con concentración de caso límite [$C_3= 0.11\%$]

En la figura 8, se muestran los perfiles de saturación de agua y aceite para el caso límite [$C_3=0.11\%$] a diferentes tiempos de simulación [3, 6, 9 y 12 meses]. En esta, se aprecia inicialmente el incremento de la saturación del agua el cual va desplazando gradualmente al aceite. Sin embargo, a pesar de la retención de nanopartículas [Ver figura 4], se observó que, a los 350m y 12 meses de inyección, la saturación de aceite incrementa en mayor proporción alcanzando 70.7% mientras que la del agua disminuye hasta 29.3 %.

Box 10

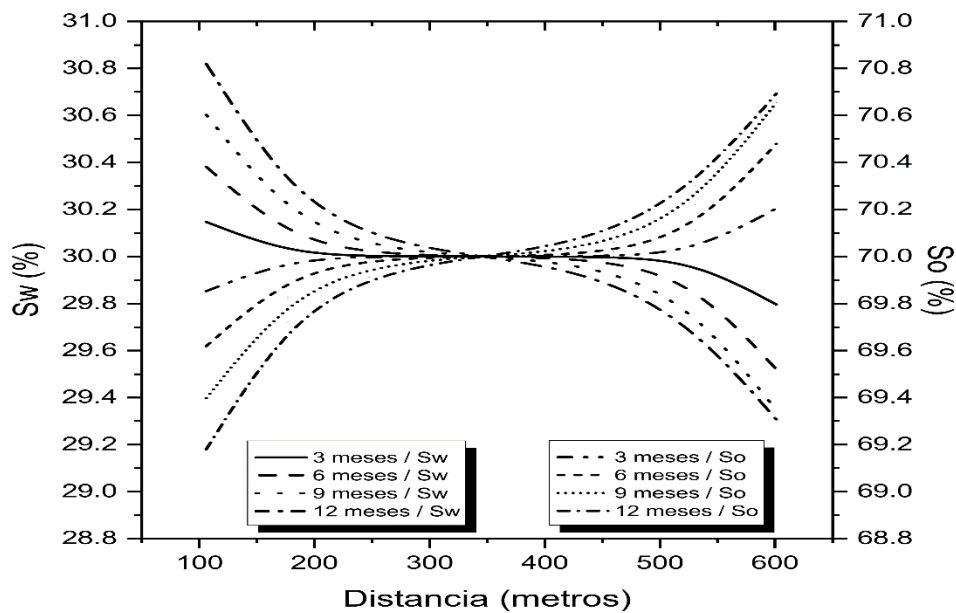


Figura 8

Perfiles de saturación con concentración de caso límite [$C_3=0.11\%$]

En la Figura 9, se muestran los perfiles de permeabilidades relativas para el agua y aceite. En esos, se aprecia que dado un aumento en la concentración de nano partículas [presentado en la figura 6] los valores de las permeabilidades muestran un incremento favoreciendo el flujo de aceite en relación al flujo de agua.

Box 11

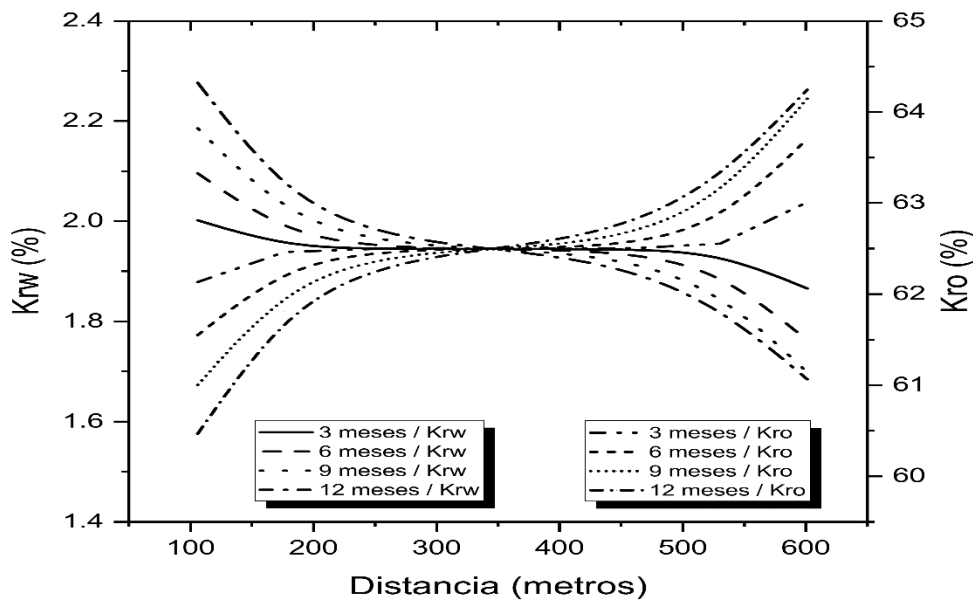


Figura 9

Perfiles de permeabilidades con concentración de caso límite [$C_3= 0.11\%$]

En la Tabla 4, se concentran los resultados de la inyección de nano fluido en el medio poroso para el caso límite $C_3=0.11\%$ para los diferentes tiempos de simulación [3, 6, 9 y 12 meses]. En esta, se muestran los valores de las propiedades petrofísicas y fluidos a 100 m y 500 m, referentes al pozo inyector y pozo productor. Particularmente, la concentración de nanopartículas $[C]$ disminuye significativamente a medida que la distancia desde el punto de inyección aumenta. De manera local, se tiene una mayor concentración de nanopartículas cerca del punto de inyección [100 m] lo que genera una mayor presión. Esto podría deberse a un ligero bloqueo de los poros por las nanopartículas, incrementando la resistencia al flujo y, por ende, la presión requerida para mantener la inyección. Respecto al comportamiento de las permeabilidades relativas la K_{rw} aumenta y K_{ro} disminuye ligeramente con el tiempo, lo cual es consistente con el aumento de la saturación de agua y la disminución de la saturación de petróleo, respectivamente. Lo anterior, puede afectar la distribución de la presión dentro del yacimiento.

Box 12

Tabla 4

Resultados de las simulaciones para la concentración Limite [C₃=0.11%]

Tiempo de simulación	Concentración de nanopartículas [C ₃ =0.11%]											
	Distancia de 100 m						Distancia de 500 m					
	C [%]	P [Pa]	Krw [%]	Kro [%]	Sw [%]	So [%]	C [%]	P [Pa]	Krw [%]	Kro [%]	Sw [%]	So [%]
3 meses	2.92 x10 ⁻¹¹	42240105.75	2.00	62.13	30.15	69.85	7.12 x10 ⁻⁶³	41964163.77	1.94	62.55	29.98	70.02
6 meses	3.18 x10 ⁻¹¹	42610510.29	2.10	61.55	30.38	69.62	2.19 x10 ⁻⁵⁶	41813094.06	1.90	62.78	29.89	70.11
9 meses	3.15 x10 ⁻¹¹	42947282.75	2.19	61.00	30.60	69.40	3.97 x10 ⁻⁵²	41630726.22	1.86	63.05	29.78	70.22
12 meses	3.14 x10 ⁻¹¹	43267397.65	2.28	60.47	30.82	69.18	3.06 x10 ⁻⁴⁹	41488992.17	1.83	63.26	29.70	70.30

Conclusiones

Se desarrollo un modelo matemático capaz de predecir las propiedades petrofísicas del sistema roca [porosidad y permeabilidad] -fluido [saturaciones de agua y aceite, presión, concentración]. El modelo computacional generado puede ser utilizado para optimizar la inyección de nanopartículas inyectadas en el medio poroso. Dado las diferentes simulaciones realizadas se encontró que el manejar concentraciones altas repercute en las propiedades petrofísicas del medio poroso, particularmente en las cercanías del pozo inyector ya que se obtuvo una disminución en la porosidad de hasta 4.6 % y alteraciones en las permeabilidades relativas. Sin embargo, a un año de simulación y una distancia de 500 m en dirección Nor-Oeste, relacionada con la ubicación del pozo productor, la concentración se redujo hasta en un 3.14x10-11 [%] beneficiando a la permeabilidad hasta en un 63.26 % y la saturación del aceite que alcanzo un 70.30 %. Los valores en las concentraciones de nanopartículas tienden a disminuir conforme el tiempo y la distancia, sea la concentración mínima o límite la tendencia se mantiene durante la simulación. Lo anterior, permite identificar que las distancia entre los pozos considerados juegan un rol importante en el cambio eficiente de las propiedades petrofísicas del medio poroso. De los cuatro mecanismos considerados en el modelo matemático, la simulación identifica particularmente adsorción y/o bloqueo en las cercanías de pozo inyector dado el exceso de nanopartículas presentes que puede generar un aumento benéfico para la presión, pero una pérdida de porosidad alta generando obstrucción en alrededores.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Vital-Ocampo, Angelica: Contribuyó en el desarrollo del proyecto sobre simulación del uso de nanopartículas como método de recuperación mejorada de aceite. Participo en el desarrollo del modelo físico, matemático y computacional en 1D y 2D, así como en la generación de los informes técnicos de dichos proyectos

Montoya-Hernández, Daniel: Contribuyó en el desarrollo del proyecto sobre simulación del uso de nanopartículas como método de recuperación mejorada de aceite. Participo en el desarrollo del modelo numérico y computacional en 1D y 2D.

Domínguez-Trujillo, Miguel: Contribuyó en el desarrollo del modelo numérico y computacional en 2D así como, con la generación de las diferentes simulaciones numéricas.

Solana Neri, Fernando: Contribuyo en la selección de las concentraciones de las nanopartículas y en el análisis de los resultados obtenidos.

Disponibilidad de datos y materiales

La información está completamente disponible en base de datos de la universidad Autónoma del Carmen

Financiación

El proyecto se generó con recurso propio.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Carmen por el apoyo en la adquisición de material bibliográfico para el desarrollo del presente trabajo.

Abreviaturas

EOR	Enhanced Oil Recovery
IMPES	Implicit Pressure - Explicit Saturation
SiO ₂	Oxido de Silice

Referencias

Antecedentes

Abdelrahman, E. D., Hamid, K. & Mahmoud, T. [2021]. [Application of Nanofluid Injection for Enhanced Oil Recovery \[EOR\]](#). Journal of University of Shanghai for Science and Technology. 23 [8],751.

Al-Anssari, S., Wang, S., Barifcani, A., Lebedev, M., & Iglauer, S. [2017]. [Effect of temperature and SiO₂ nanoparticle size on wettability alteration of oil-wet calcite](#). Fuel, 206, 34–42.

Anirbid, S., Kamakshi, R., Namrata, B., Kriti Y. & Surbhi, S. [2022]. [Applications of nanoparticles in enhanced oil recovery](#). Petroleum Research. 7[1], 77-90

Ding, J., Cheng, T., Fu, C., Huang, B., Yang, E., Qu, M., Liu, S., & Wu, J. [2024]. [Synthesis and Characterization of Self-Dispersion Monodisperse Silica-Based Functional Nanoparticles for Enhanced Oil Recovery \[EOR\] in Low-Permeability Reservoirs](#). Processes, 12 [11], 2349.

El-Diasty, A. I., & Salem, R. A. M. [2013]. [Applications of nanotechnology in the Oil & Gas industry: Latest trends worldwide & future challenges in Egypt](#). Society of Petroleum Engineers - North Africa Technical Conference and Exhibition, NATC. 2, 1036–1048.

Franco H. G. [2018]. [Campos Maduros en México](#). 36.

Hendraningrat, L., Li, S., & Torstaeer, O. [2013]. [A coreflood investigation of nanofluid enhanced oil recovery in low-medium permeability Berea sandstone](#). Proceedings - SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2, 728–741.

Ju, B. & Fan, T., [2009]. [Experimental Study and Mathematical Model of Nanoparticle Transport in porous media](#). Powder Technology 192. 1995-202

Ju, B., Fan, T., & Li, Z. [2012]. [Improving water injectivity and enhancing oil recovery by wettability control using nanopowders](#). Journal of Petroleum Science and Engineering, 86–87, 206–216.

Llinas, M. C., & Sánchez-García, D. [2013]. [Silica Nanoparticles: Preparation, Characterization and Applications in Biomedicine](#). Pharmaceutical Chemistry Journal, 53[4], 329–336.

Miranda, O. N. A. [2017]. [Efecto de las nanopartículas en la inyección de agua con baja salinidad como un método novedoso de recuperación mejorada: Alteración de la humectabilidad](#). Universidad Nacional de Colombia.

- Mustafa, A. & Baojun, B. [2018], [The synergistic effects of nanoparticle-surfactant nanofluids in EOR applications](#). Journal of Petroleum Science and Engineering, 171, 196-210.
- Rezaei, A., Abdollahi, H., Derikvand, Z., Hemmat-Sarapardeh, A., & Mosavi, A. [2020]. [Nabipour insights into the Effects of pore Size Distribution on the Flowing Behavior of Carbonate Rocks: Linking a Nano-Based Enhanced Oil Recovery Method to Rock Typing](#). MDPI. 10[5]
- Yernazarova, G., Kayirmanova, A., Baubekova, A. Zhubanova, A. [2016]. [Chemical Enhanced Oil Recovery \[cEOR\] - a Practical Overview](#). IntechOpen. Chap 5. 147-167.
- Youssif, M. I., El-Maghraby, R. M., Saleh, S. M., & Elgibaly, A. [2018]. [Silica nanofluid flooding for enhanced oil recovery in sandstone rocks](#). Egyptian Journal of Petroleum, 27[1], 105–110.

Básicos y Soporte

- Abdelfatah, E., Pournik, M., Shiau, B.J. M. & Harwell, J. [2017]. [Mathematical Modeling and Simulation of Nano particles Transpot in Heterogenius Porous Media](#). Journal of Natural Gas Science of Enginnering. 40. 1-6.
- Ahmed T. [2001]. [Reservoir Engineering Handbook](#). 2nd Edition. Gulf Professional Publishing.
- Amoo, L. M., & Layi, F. R. [2020]. [Advanced fluids - a review of nanofluid transport and itsapplications](#). In Applications of Heat, Mass, and Fluid Boundary Layers. Elsevier. 281–382.
- Domínguez-Trujillo, M. C. [2021]. [Modelo matemático bidimencional para la simulación de inyección de nanofluidos como proceso de recuperación mejorada](#). Tesis de Licenciatura de Ingeniería Petrolera. Universidad Autónoma del Carmen.
- El-Amin, M. F., Jisheng, K., Shuyu, S. & Amgad, S. [2013]. [Numerical modeling of nanoparticles transport with two-phase flow in porous media using iterative implicit method](#). arXiv preprint arXiv:1310.4769,
- Ertekin, T., Abou-Kassem, J.H., King, G. R. [2001]. [Basic Applied Reservoir Simulation](#). Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson, Texas.132.
- Foroozesh, J., & Kumar, S. [2020]. [Nanoparticles behaviors in pours media: application to enhanced oil](#). [Journal of Molecular Liquids](#). 316.
- Ju, B., Fan, T., & Ma, M. [2006]. [Enhanced Oil Recovery by Flooding with Hydrophilic Nanoparticles](#). China Particuology, 4[1], 41–46.
- Rodríguez A. L. F., Vital-Ocampo, A. G., Montoya –Hernández, D. J. & Tamayo O. F. A. [2018]. [Simulación de la inyección de nanoparticulas de SiO₂ como método de recuperación mejorada de aceite](#). Edición no. 107 de Acalán Revista de la Universidad Autónoma del Carmen, en formato digital con ISSN:2594-1658. Julio-Diciembre. 77-86
- Sepehri, M., Moradi, B., Emamzadeh, A., & Mohammadi, A. H. [2019]. [Experimental study and numerical modeling for enhancing oil recovery from carbonate reservoirs by nanoparticle flooding](#). Oil and Gas Science and Technology, 74.

Discusiones

- Davoodi S., Al-Shargabi, M., Wood, D. A., Rukavishnikov, V. S. & Minaev, K. M. [2022]. [Experimental and field applications of nanotechnology for enhanced oil recovery purposes: A review](#). Fuel. 324, Part B.
- Hassan, R. S. M. [2024]. [Nanotechnology Applications in Enhanced Oil Recovery \[EOR\]](#). International Journal of Scientific Research and Management [IJSRM]. 12 [6], 135-143.

Sircar, A., Rayavarapu, K., Bist, N., Yadav, K., & Singh, S. [2021]. [Applications of nanoparticles in enhanced oil recovery](#). Petroleum Research. Retrieved from 7[1], 77-90

Sun, X., Zhang, Y., Chen, G., & Gai, Z. [2017]. [Application of nanoparticles in enhanced oil recovery: A critical review of recent progress](#). Energies, 10[3].

Zhou, W., Xin, C., Chen, Y., Mouhouadi, R. D. & Chen, S. [2023]. [Nanoparticles for Enhancing Heavy Oil Recovery: Recent Progress, Challenges, and Future Perspectives](#). Energy & Fuels. 37 [12]

Estudio del electrodeposición de plata sobre materiales de carbón en medio neutro

Study of silver electrodeposition on carbon materials in a neutral medium

Garrido-González, Josseline ^a, Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín * ^b, Sierra-Grajeda, Juan Manuel Tadeo ^c y Mandujano-Ramírez, Humberto Julián ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Carmen •  MHR-6004-2025 •  0009-0001-9797-2345 •  139068
- ^b  Universidad Autónoma del Carmen •  AIB-1429-2022 •  0000-0003-1368-1741 •  164797
- ^c  Universidad Autónoma del Carmen •  LSK-8588-2024 •  0000-0002-0565-6450 •  219284
- ^d  Universidad Autónoma del Carmen •  LTC-9972-2024 •  0000-0003-3714-5564 •  266189

Clasificación: **DOI:** <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.98.105>

Área: Ingeniería
Campo: Ingeniería
Disciplina: Ingeniería química
Subdisciplina: Química orgánica

Key Handbooks

El siguiente trabajo presenta el estudio del electrodeposición de plata sobre materiales de carbono en medio neutro. El objetivo de este estudio es determinar el intervalo de potencial en el cual la plata es depositada sobre carbón vitreo y una película de vulcan mediante voltamperometría cíclica de potenciales de inversión y estudiar el efecto con la velocidad de barrido. Cabe mencionar que este trabajo contribuirá a la elaboración de electrocatalizadores que servirán para la reducción electroquímica del CO₂ por sus propiedades catalíticas. La autora Garrido-González cuenta con beca SECIHTI y el resto de los autores cuentan con perfil deseable PRODEP y pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores [SNI]. Tres autores son procedentes de la Universidad Autónoma del Carmen [Institución Pública Estatal] y un autor de la Universidad autónoma de Campeche [Institución Pública Estatal]. Las palabras claves más empleadas son: electrodeposición, plata, voltamperometría y carbón.

Área: Difusión y acceso universal a la ciencia

Citación: Garrido-González, Josseline, Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín, Sierra-Grajeda, Juan Manuel Tadeo y Mandujano-Ramírez, Humberto Julián. 2025. Estudio del electrodeposición de plata sobre materiales de carbón en medio neutro. 98-105. ECORFAN.

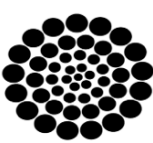
* ✉ [\[sfigueroa@pampano.unacar.mx\]](mailto:sfigueroa@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>



ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee **MARVID®**- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.

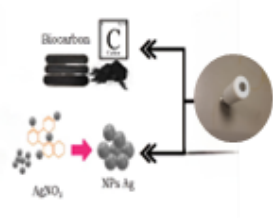
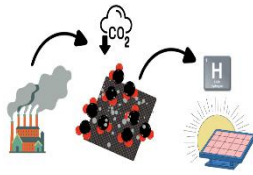


RENIECYT
Registro Nacional de Instituciones y
Empresas Científicas y Tecnológicas

I 702902 SECIHTI

Abstract

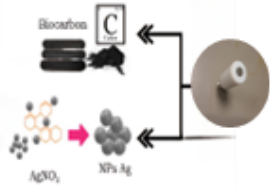
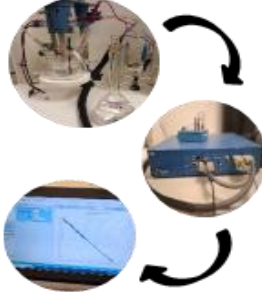
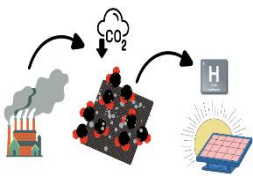
This study analyzes how the morphology of two types of carbon, vitreous carbon [smooth surface] and volcanic carbon [porous surface], influences the electrodeposition of silver, used as an electrocatalyst in the electrochemical reduction of CO₂. Due to the formation of byproducts, a conductive support is required to maintain the catalytic efficiency of silver. Cyclic voltammetry was used to evaluate the process, observing that silver is deposited between 0.4 V and 0.2 V vs. Calomel sat., with slight variations depending on the material. The reduction of Ag[I] ions is controlled by diffusion, regardless of the electrode surface.

Study of silver electrodeposition on carbon materials in neutral medium		
Objetive	Methodology	Contribution
Electrode preparation 	Electrochemical characterization 	Application as supports for ERCO₂ 

Electrodeposit, Ag, carbon

Resumen

En este estudio se analiza como la morfología de dos tipos de carbón, carbón vítreo [superficie lisa] y carbón vulcan [superficie porosa], influye en el electrodepósito de plata, usada como electrocatalizador en la reducción electroquímica del CO₂. Debido a la formación de subproductos, se requiere un soporte conductor para mantener la eficiencia catalítica de la plata. Se utilizó voltamperometría cíclica para evaluar el proceso, observando que la plata se deposita entre 0.4 V y 0.2 V vs Calomel sat., con ligeras variaciones según el material. La reducción de ion Ag[I] está controlada por la difusión, sin depender de la superficie del electrodo.

Estudio del electrodepósito de plata sobre materiales de carbón en medios neutros		
Objetivo	Metodología	Contribución
Preparación del electrodo 	Caracterización electroquímica 	Aplicación como soporte para ERCO₂ 

Electrodepósito, Ag, carbón

Introducción

El uso de la plata [Ag] como electrocatalizador ha tenido un creciente interés en diversos campos de la electroquímica [Elattar et al., 2024] debido a sus propiedades únicas, como su alta conductividad eléctrica, excelente estabilidad y su relativa abundancia en comparación con otros metales nobles [Bouafia et al., 2021][Beck, Loessl, & Baeumner, 2023]. La plata ha demostrado ser particularmente efectiva en reacciones electroquímicas clave, como la reducción de oxígeno [Linge et al., 2018][Guo, Hsu, Chu, & Chen, 2010] y la electroreducción de dióxido de carbono [Li et al., 2023], lo que la convierte en un material prometedor para aplicaciones en celdas de combustible, baterías y sistemas de almacenamiento de energías renovables [Zan et al., 2022]. En este contexto, el tipo de sustrato o soporte sobre el cual se deposita la plata juega un papel fundamental en la actividad catalítica del material. Las películas de carbón, debido a su alta conductividad y estabilidad química, son materiales ampliamente utilizados como soportes en procesos de electrocatálisis [Liu et al., 2022][Truong, Yang, & Yang, 2019]. Sin embargo, el comportamiento electrocatalítico de la plata puede verse significativamente afectado por el tipo de película de carbón utilizada. Diferentes materiales como el carbón vítreo, el grafeno y los nanotubos de carbono presentan variaciones en su estructura y propiedades que pueden influir en la distribución, adherencia y eficiencia del electrodeposición de plata [Luo, Fu, Yin, & Lin, 2022][Vega-Cartagena et al., 2021]. En este trabajo, se propone el uso de materiales de carbón como soportes de partículas de Ag y evaluar su comportamiento electroquímico, este enfoque busca optimizar el desempeño catalítico de Ag. La investigación incluye caracterización morfológica de los carbones mediante SEM y su evaluación electroquímica, explorando su capacidad para ser soportes de partículas metálicas. Los resultados obtenidos podrían abrir nuevas perspectivas en el desarrollo de catalizadores y sus aplicaciones en el ámbito ambiental.

Metodología

Preparación de los electrodos

En este estudio se evaluaron dos electrodos de carbón con diferente morfología. El primero fue polvo de carbón vulcan XC-72 con un área superficial total [BET] 254 m²/g y tamaño de partícula de 30 a 60 nm obtenido de manera comercial suministrado por la Química Rana y el segundo electrodo fue una barra de carbón vítreo [CV] con área geométrica de 0.168 cm².

Para el primer electrodo se preparó una tinta catalítica que contenía 32 mg de polvo de carbón vulcan, 1.28 mL de alcohol isopropílico y 0.32 mL de nafion líquido [5 wt% Sigma-Aldrich], posteriormente se sometieron en agitación ultrasónica durante 30 minutos hasta obtener una tinta homogénea. La película de carbón vulcan se soportó sobre el electrodo de carbón vítreo [área geométrica 0.168 cm²] agregando 10 µL de tinta de carbón y posteriormente se dejó secar durante 2 minutos a temperatura ambiente. Para el caso del electrodo de CV, se desbastó la superficie con diferentes lijas, después con un paño con alúmina se pulió para darle acabado espejo y finalmente se limpió con agua desionizada y acetona.

Caracterización de los electrodos de carbón mediante Microscopia Electrónica de Barrido [SEM]

Los electrodos de carbón se analizaron mediante un microscopio electrónico de barrido [SEM] de alta resolución FE SEM Hitachi S-5500 a diferentes magnitudes para conocer la morfología mediante un haz de electrones de campo.

Caracterización electroquímica de las películas de carbón

Se empleó una celda electroquímica típica de tres electrodos como electrodo auxiliar una barra de grafito, como electrodo de referencia un electrodo de calomel saturado y como electrodo de trabajo la película de carbón Vulcan y el carbón vítreo. Se empleó el sistema electrolítico 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7. Las películas de carbón se evaluaron mediante voltamperometría cíclica a diferentes velocidades de barrido [10, 20, 30, 50, 70 y 100 mV/s] y potenciales de inversión en intervalos de 0.4 V a 1 V y -0.1 V a 1 V. Todas las pruebas se realizaron en el potencióstato/galvanostato BioLogic® y la adquisición y tratamiento de las respuestas voltamperométricas se obtuvieron mediante el software Ec-Lab® V.10.38. Así mismo, los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente y en atmósfera de nitrógeno. El electrolito fue preparado con agua desionizada [ultrapure Mili-Q], burbujeada previamente durante 10 minutos con nitrógeno y todas las sales utilizadas son de grado reactivo.

Resultados

Caracterización de la superficie de los electrodos de carbón mediante Microscopia Electrónica de Barrido [SEM]

En la figura 1 se muestran imágenes SEM correspondientes al electrodo de carbón vítreo [CV] y la película de carbón vulcan a 0.5 kV, 5.0 KV, respectivamente. Como se puede observar ambos materiales presentan diferentes morfologías, el carbón vítreo exhibe una superficie lisa, mientras que la película vulcan presenta aglomerados de tamaño homogéneo.

Box 1

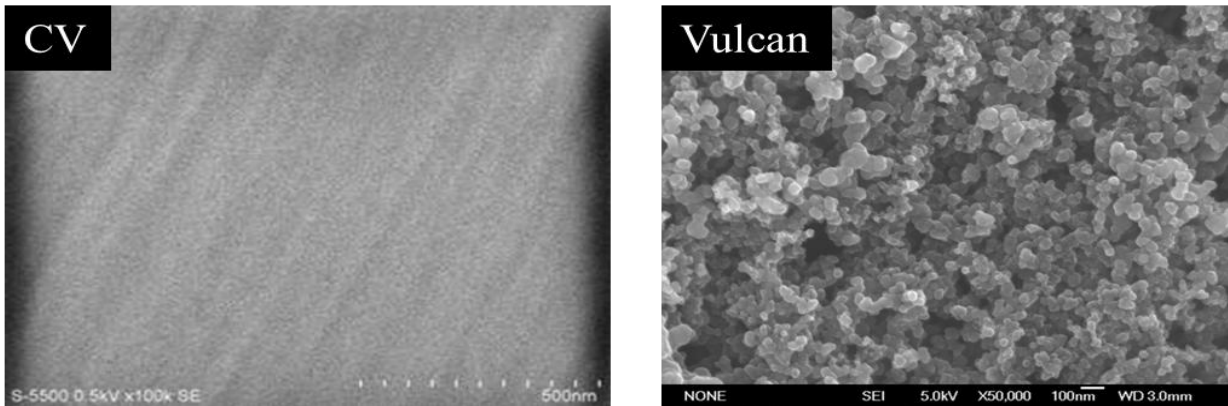


Figura 1
Imágenes de SEM del electrodo de carbón vítreo [CV] y la película de carbón vulcan.
Fuente: Elaboración propia.

Estudio del electrodeposito de Ag mediante voltamperometría cíclica de potenciales de inversión [E_i]

Para determinar el intervalo de potencial dónde se deposita la plata sobre los electrodos de carbono, se realiza un estudio de voltamperometría de potenciales de inversión [E_i] en el intervalo de potencial de 0.9 V ≤ E ≤ -0.1 V vs Calomel sat. KCl. En la Figura 2 se comparan las respuestas voltamperométricas obtenidas sobre el soporte de carbón vítreo [CV] y la película de carbón de vulcan en el intervalo de potencial de potencial 0.4 V ≤ E ≤ 0.9 V vs. Calomel sat. KCl en un electrolito de 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7 y 20 mV/s. En todos los casos, se inició el barrido de potencial en sentido negativo con respecto al potencial de circuito abierto [E_{ocp}]. En ambos electrodos se observa una respuesta capacitiva, además se observan corrientes ligeramente más grandes sobre la película de vulcan, esto debido a la superficie porosa, alcanzando corrientes catódicas de -3.41x10⁻³ mA y corrientes anódicas de 1.21x10⁻² mA. Cabe mencionar que en este intervalo de potencial no se describe ningún proceso faradaico.

Box 2

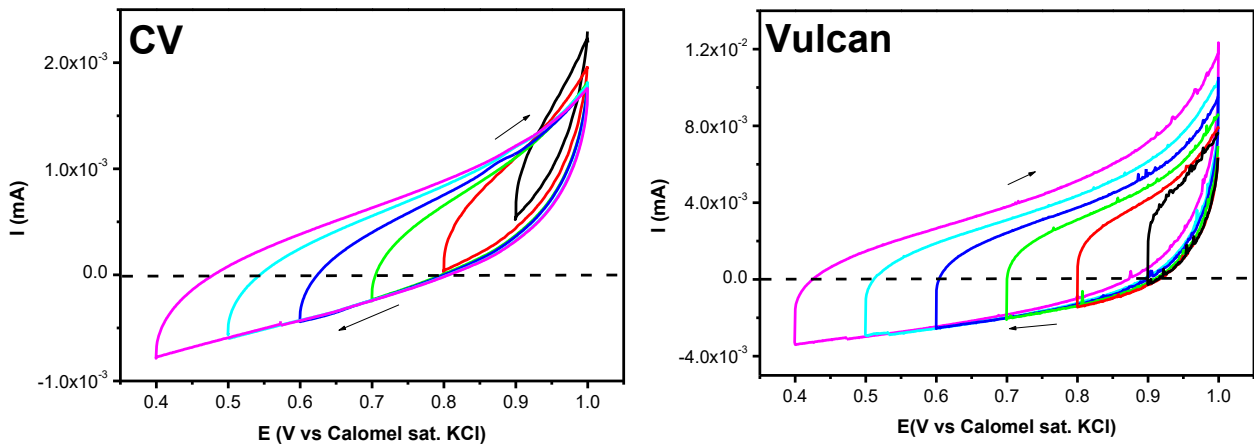


Figura 2
Voltamperogramas de potenciales de inmersión obtenidos sobre el electrodo CV y la película de carbón vulcan [indicadas en la figura] correspondiente al intervalo 0.4 V ≤ E ≤ 0.9 V vs Calomel sat. KCl, en el sistema 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7, 20 mV/s.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se muestran las respuestas voltamperométricas en el intervalo $0.3V \leq E \leq -0.1 V$ vs Calomel Sat. KCl. En ambos electrodos, se describe un potencial de pico catódico [Epc] asociado al proceso de reducción de plata [Ag^+ a Ag] y al invertir el potencial se observa el potencial de pico anódico [Epa] correspondiente a la oxidación de la plata depositada previamente [ecuación 1]. Para la película vulcan y el electrodo de CV se describe un potencial de sobrecruce [Ec] asociado a un proceso de electrocristalización con valores de 0.4032 V y el 0.3849 V, respectivamente.



Considerando la reacción 1 y mediante la ecuación de Nernst, se puede conocer teóricamente el potencial termodinámico [E] que se asocia con el potencial estándar [E°], el cual se describe mediante la siguiente ecuación:

$$E = E_{Ag^+/Ag}^\circ + \frac{RT}{nF} \log [Ag^+]$$

[2]

Considerando el $E_{Ag^+/Ag}^\circ = 0.7996 V$ vs SHE o $E_{Ag^+/Ag}^\circ = 0.5386 V$ vs Calomel Sat. KCl y la [Ag^+]= 0.01 M, teóricamente el E es 0.4386 V vs Calomel sat. KCl. Comparando los valores de la figura 3 con este el E, se observan valores muy cercanos, esto posiblemente se deba a la morfología del material de carbón.

Box 3

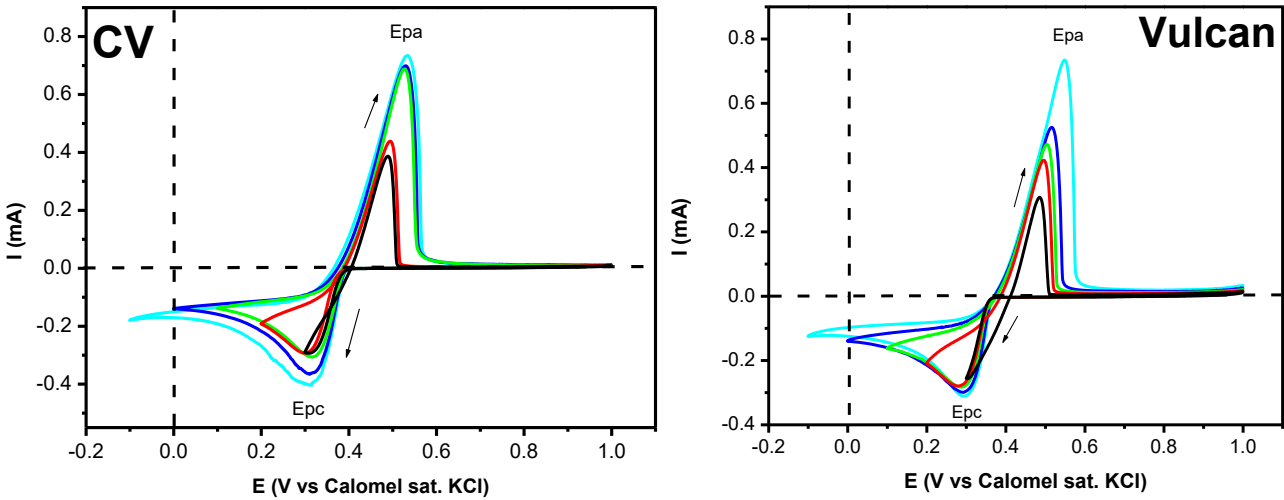


Figura 3
Voltamperogramas de potenciales de inmersión obtenidos sobre el electrodo CV y la película de carbón vulcan [indicadas en la figura] correspondiente al intervalo $0.3 V \leq E \leq -0.1 V$ vs Calomel sat. KCl, en el sistema 0.01 M $AgNO_3$, 0.1 M KNO_3 a pH=7, 20 mV/s.

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las respuestas de la figura 3, se determinó que el intervalo de potencial dónde se deposita la plata es de 0.38 V a -0.01 V.

Box 4

Tabla 1

Valores de potencial de pico anódico [Epa] y catódico [Epc] obtenidos de la ventana de potencial de -0.1 V a 1 V.

Electrodos	Epc [V]	Epa [V]	Intervalo de reducción [V]
CV	0.31	0.53	0.38 a -0.01
Película vulcan	0.29	0.54	0.35 a -0.01

Fuente: Elaboración propia

Efecto de la velocidad de barrido

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de los electrodos se realiza un estudio de voltamperometría cíclica a diferentes velocidades de barrido. En la figura 4 se muestran las respuestas voltamperométricas obtenidas sobre el electrodo de carbón vítreo y la película de carbón vulcan en un electrolito de 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7 a 10, 20, 30, 50, 70 y 100 mV/s. En los dos casos, se observan los picos de reducción y oxidación de la plata, las corrientes aumentan en función de la velocidad de barrido, así mismo los valores de corriente dependen del tipo de material.

Box 5

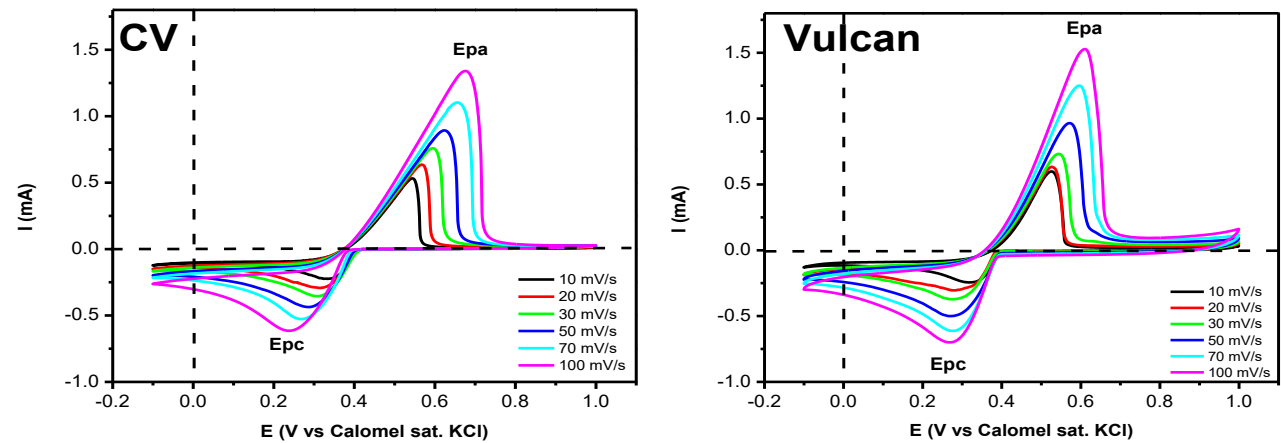


Figura 4
Respuestas voltamperométricas obtenidas sobre el carbón vítreo y la película vulcan en el sistema 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7 a diferentes velocidades de barrido.

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de conocer si el proceso está controlado por la difusión, se emplearon las corrientes de pico [catódica y anódica] y la ecuación de Randles-Servick:

$$I_p = [-2.69 \times 10^5] n^{3/2} A D^{1/2} C v^{1/2} \tag{3}$$

Donde: I_p = intensidad de corriente de pico [A], n = número de electrones intercambiados A = área superficial del electrodo [cm²], D = coeficiente de difusión de la especie electroactiva [cm²/s], C = concentración de la especie electroactiva [mol/cm³] y v = velocidad de barrido [V/s]. El coeficiente de difusión de Ag⁺ en 0.1 M KNO₃ es 1.55×10⁻⁵ cm²/s. Graficando I_{pc} vs. $v^{1/2}$ e I_{pa} vs. $v^{1/2}$, se observa un comportamiento lineal; por lo tanto, obedece a la ecuación de Randles-Servick, esto indica que la reducción del ion Ag⁺ está controlado por difusión. La difusión es independiente de la superficie del electrodo.

Box 6

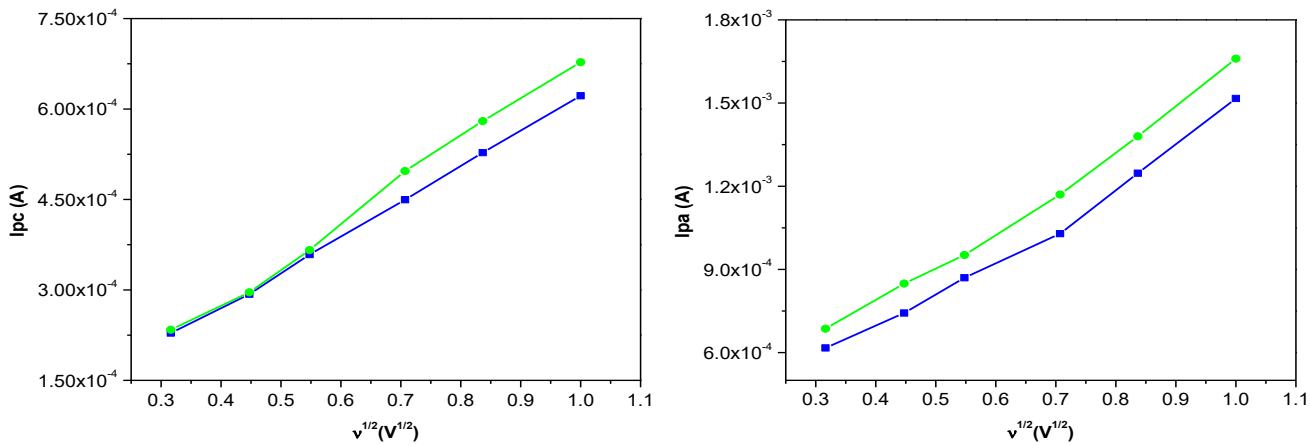


Figura 5
Relación del I_{pc} vs. $v^{1/2}$ e I_{pa} vs. $v^{1/2}$ obtenida de la figura 4 sobre el electrodo de carbón vítreo [línea azul] y la película de carbón [línea verde] en el sistema 0.01 M AgNO₃, 0.1 M KNO₃ a pH=7 a diferentes velocidades de barrido

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Con la caracterización de los dos diferentes tipos de carbón mediante SEM comprobamos la porosidad del carbón vulcan y la superficie plana del carbón vítreo. De acuerdo con las voltamperometrías cíclicas de potenciales de inmersión se observaron respuestas similares para la película vulcan y CV donde se describió un potencial de sobrecruce [*E_c*] asociado a un proceso de electrocristalización con valores de 0.3940 V y el 0.3849 V, respectivamente.

La voltamperometría cíclica permitió establecer el intervalo de potencial de 0.4 V a 0.2 V vs. Calomel sat. KCl, donde se lleva a cabo el electrodeposición de plata, dicho valor depende ligeramente del tipo de carbón. Observando que a mayor velocidad de barrido mayor será la corriente y los potenciales catódicos y anódicos se desplazan ligeramente hacia potenciales más negativos y positivos respectivamente.

Finalmente, la reducción del ion Ag[I] está controlado por difusión, la cual es independiente de la superficie del electrodo. Por lo tanto, las películas de carbón vulcan y carbón vítreo pueden aplicarse como soportes de partículas metálicas.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Garrido-González, Josseline: Contribuyó en el desarrollo experimental y la redacción del artículo.

Figueroa-Ramírez, Sandra Jazmín: Contribuyó al análisis de los resultados.

Sierra-Grajeda, Juan Manuel Tadeo: Contribuyó a la revisión de los resultados.

Mandujano-Ramírez, Humberto Julián: Contribuyó en la revisión de documento.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos están disponibles previa solicitud al correo electrónico: sfigueroa@pampano.unacar.mx

Financiación

Este trabajo de investigación se realizó con recursos propios.

Agradecimientos

Josseline Garrido González agradece al SECIHTI la beca otorgada para sus estudios de maestría. Los autores desean agradecer al M.C. César Cima Mukul del Centro de Excelencia de Investigación en Servicios Petroleros y Protección Ambiental [CEISPPA]-Facultad de Ingeniería de la UNACAR por brindar los medios para realizar el electrodeposición de plata. Asimismo, al Ing. Rogelio Morán Elvira del Instituto de Energías Renovables [IER] de la Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] por su apoyo en la obtención de las imágenes de SEM.

Abreviaturas

Ag	Plata
CV	Carbón vítreo
RECO ₂	Reducción electroquímica del CO ₂
SEM	Microscopio Electrónico de Barrido

Referencias

Antecedentes

Elattar, R. H., Magdy, G., Abdel Salam, R. A., Hadad, G. M., & El-Deen, A. K. [2024]. [Cutting-edge progress in carbon nanomaterial-functionalized silver nanoparticles for enhanced optical and electrochemical sensing applications](#). *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 181, 117995.

Li, G., Han, G., Wang, L., Cui, X., Moehring, N. K., Kidambi, P. R., ... Sun, Y. [2023]. [Dual hydrogen production from electrocatalytic water reduction coupled with formaldehyde oxidation via a copper-silver electrocatalyst](#). *Nature Communications*, 14[1], 525.

Linge, J. M., Erikson, H., Merisalu, M., Matisen, L., Käärik, M., Leis, J., ... Tammeveski, K. [2018]. [Oxygen Reduction on Silver Nanoparticles Supported on Carbide-Derived Carbons](#). *Journal of The Electrochemical Society*, 165[14], F1199-F1205.

Liu, Y., Wang, Q., Zhang, J., Ding, J., Cheng, Y., Wang, T., ... Liu, B. [2022]. [Recent Advances in Carbon-Supported Noble-Metal Electrocatalysts for Hydrogen Evolution Reaction: Syntheses, Structures, and Properties](#). *Advanced Energy Materials*, 12[28].

Básicos

Bouafia, A., Laouini, S. E., Ahmed, A. S. A., Soldatov, A. V., Algarni, H., Feng Chong, K., & Ali, G. A. M. [2021]. [The Recent Progress on Silver Nanoparticles: Synthesis and Electronic Applications](#). *Nanomaterials*, 11[9], 2318.

Luo, H., Fu, H., Yin, H., & Lin, Q. [2022]. [Carbon materials in persulfate-based advanced oxidation processes: The roles and construction of active sites](#). *Journal of Hazardous Materials*, 426, 128044.

Soporte

Beck, F., Loessl, M., & Baeumner, A. J. [2023]. [Signaling strategies of silver nanoparticles in optical and electrochemical biosensors: considering their potential for the point-of-care](#). *Microchimica Acta*, 190[3], 91.

Guo, J., Hsu, A., Chu, D., & Chen, R. [2010]. [Improving Oxygen Reduction Reaction Activities on Carbon-Supported Ag Nanoparticles in Alkaline Solutions](#). *The Journal of Physical Chemistry C*, 114[10], 4324-4330.

Truong, V. M., Yang, M.-K., & Yang, H. [2019]. [Functionalized Carbon Black Supported Silver \[Ag/C\] Catalysts in Cathode Electrode for Alkaline Anion Exchange Membrane Fuel Cells](#). *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 6[4], 711-721.

Vega-Cartagena, M., Rojas-Pérez, A., Colón-Quintana, G. S., Blasini Pérez, D. A., Peña-Duarte, A., Larios-Rodríguez, E., ... Cabrera, C. R. [2021]. [Potential dependent Ag nanoparticle electrodeposition on Vulcan XC-72R carbon support for alkaline oxygen reduction reaction](#). *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 891, 115242.

Zan, L., Amin, H. M. A., Mostafa, E., Abd-El-Latif, A. A., Iqbal, S., & Baltruschat, H. [2022]. [Electrodeposited Cobalt Nanosheets on Smooth Silver as a Bifunctional Catalyst for OER and ORR: In Situ Structural and Catalytic Characterization](#). *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14[50], 55458-55470.

Indicadores de sostenibilidad aplicados a comunidades rurales de la costa de Campeche: estudio de ciencia multidisciplinaria

Sustainability indicators applied to rural communities of Campeche coast: a multidisciplinary science research

Núñez-Lara, Enrique * ^a, Martínez-Fernández, Cynthia ^b y Acuña-Lara, Patricia ^c

^a Universidad Autónoma del Carmen •  A-2016-2015 •  0000-0003-1166-9714 •  81040
^b Universidad Autónoma del Carmen •  MFI-1542-2025 •  0000-0002-4766-7123 •  482450
^c Universidad Autónoma del Carmen •  NGQ-9813-2025 •  0000-0001-8171-2509 •  826687

Clasificación: DOI: <https://doi.org/10.35429/H.2025.1.106.116>

Área: Biología, Química y Ciencias de la Vida
Campo: Ciencias de la Vida
Disciplina: Ecología
Subdisciplina: Otra

Key Handbooks

El presente capítulo explica como una herramienta diagnóstica y prospectiva, como los indicadores de sostenibilidad [IS], pueden ser aplicados para evaluar y monitorear el desarrollo de poblaciones humanas. La ciencia de la sostenibilidad puede considerarse una ciencia moderna inherentemente multidisciplinaria, que tiene su origen en el reconocimiento de que el modelo de desarrollo basado en la explotación sin límites de recursos naturales ya no podía ser sostenible. El trabajo se divide en dos partes, la primera de ellas ofrece una explicación del marco conceptual y metodológico de los indicadores de sostenibilidad, destacando las características fundamentales de diseño y aplicación en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS]. La segunda parte expone los resultados de un proyecto multidisciplinario de Ciencia Básica financiado por el entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT] donde se emplearon IS para analizar el grado de desarrollo de tres poblados de la costa de Campeche en transición de actividades primarias al turismo. El trabajo concluye que existe una alta correlación entre indicadores sociales, sesgados por el IS de Ingreso por Debajo de la Línea Nacional de Pobreza; también se observa una condición relativamente saludable de los ecosistemas, lo que a su vez lleva a pensar a residentes y visitantes que la región tiene potencial turístico.

Área: Impulso a la investigación de fronteras y la ciencia básica en todos los campos de conocimiento

Citación: Núñez-Lara, Enrique, Martínez-Fernández, Cynthia y Acuña-Lara, Patricia. 2025. Indicadores de sostenibilidad aplicados a comunidades rurales de la costa de Campeche: estudio de ciencia multidisciplinaria. 106-116. ECORFAN.

* ✉ [\[elara@pampano.unacar.mx\]](mailto:elara@pampano.unacar.mx)

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>

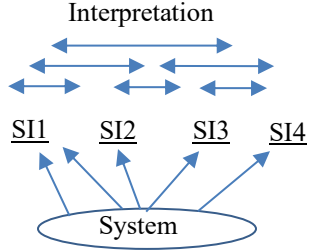


ISBN 978-607-8948-59-8 /©2009 The Authors. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding Mexico on behalf of Handbook HCOMPDS. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]
Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee MARVID®- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.



Abstract

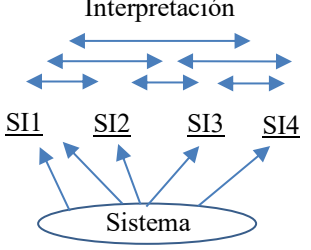
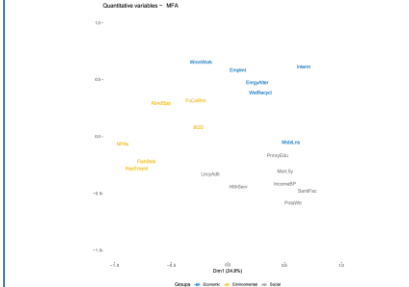
The conceptual and methodological framework of sustainability science is inherently multidisciplinary. Sustainability indicators have been applied as diagnostic tools to assess development at many regions of the world. Results of a multidisciplinary research project are discussed, concerning a comprehensive evaluation of sustainability of a coastal region of south-eastern Gulf of Mexico, transitioning from primary activities to tourism. Nineteen social, economic and environmental indicators were employed, complemented with information on perception of tourism from resident and visitors. The results showed that half of people sampled live below the national poverty line, which consequently affect other social and economic indicators. The environmental indicators reflected a relatively good condition of ecosystems. Residents perceived that tourism provides more positive than negative outcomes, highlighting the importance of healthy environments. Most visitors perceived tourism activities as a promising option for regional development, suggesting that tourism might be the principal economic activity.

Sustainability indicators applied to rural communities of campeche coast: a multidisciplinary science study		
Objectives	Methodology	Contributions
Diagnosis and monitoring  Sustainable development	Interpretation 	

Sustainability Indicators, Multidisciplinary project, Rural development

Resumen

El marco conceptual y metodológico de la sostenibilidad es inherentemente multidisciplinario. Los indicadores de sostenibilidad han sido aplicados como herramientas diagnósticas de desarrollo en muchas regiones del mundo. Se discuten los resultados de un proyecto de investigación sobre evaluación de sostenibilidad de una región costera del sureste del Golfo de México, la cual transita de actividades primarias hacia el turismo. Diecinueve indicadores sociales, económicos y ambientales fueron empleados, complementados con información de la percepción de residentes y visitantes sobre el turismo. Los resultados mostraron que la mitad de la población muestreada vive debajo de la línea nacional de pobreza, lo cual afecta otros indicadores sociales y económicos. Los indicadores ambientales reflejan una buena condición de los ecosistemas. Los residentes perciben que el turismo provee más cosas buenas que malas, resaltando la importancia de tener ambientes sanos. Muchos visitantes percibieron las actividades turísticas como promisorias en el desarrollo regional.

Indicadores de sustentabilidad aplicados a comunidades rurales de la costa de campeche: estudio de ciencia multidisciplinaria		
Objetivos	Metodología	Contribuciones
Diagnóstico y monitoreo  Desarrollo Sostenible	Interpretación 	

Indicadores de sostenibilidad, Proyecto multidisciplinario, Desarrollo rural

Introducción

1. La ciencia multidisciplinaria y los indicadores de sostenibilidad

La investigación multidisciplinaria ha transitado por diferentes momentos y desafíos: primero, el reconocimiento de la multi-dimensionalidad o multi-causalidad de los asuntos y problemáticas que enfrenta la humanidad, segundo, la necesidad de un modelo de investigación con un enfoque, si no holístico, al menos interdisciplinario, que desde su origen plantee la interacción de temas desde distintas áreas de conocimiento, y tercero, el desarrollo de marcos metodológicos con la capacidad de integrar datos e información de diversas fuentes, expresada en distintas unidades y con diferentes escalas de medición, que ofrezca un panorama completo que soporte la planeación y las decisiones para el desarrollo. Aun con el reconocimiento de que las problemáticas relacionadas con el desarrollo humano incluyen inherentemente múltiples aspectos económicos, ambientales y sociales, persisten limitaciones para el planteamiento de estudios multidisciplinarios, algunos de ellos relacionados con la aceptación de cambiar a este enfoque respecto a la arraigada ciencia disciplinaria tradicional y otros relacionados con la implementación práctica de esos enfoques, que conlleva una interpretación integral compleja.

Un área de conocimiento relativamente moderna e inherentemente multidisciplinaria, interdisciplinaria y transdisciplinaria es la ciencia de la sostenibilidad [Komiya y Takeuchi 2006, Rapport 2007]. El término en inglés “sustainability science” ha generado cierta controversia en la comunidad científica internacional ya que se le ha dado una connotación de disciplina emergente con algunos componentes conceptuales de otras áreas o aspectos teóricos inexistentes; un término alternativo más aceptado es “the science of sustainability” que conlleva la noción de múltiples ciencias abordando un tema en común [Clark y Dickson 2003]. Este cambio en el abordaje científico busca analizar las interacciones entre componentes ambientales y sociales reconociendo su interdependencia de origen, en vez de analizar de manera individual diferentes componentes disciplinarios y luego tratar de interrelacionarlos [Knippenberg et al. 2007].

La historia de la sostenibilidad, ya ampliamente conocida, partió de la Estrategia Mundial para la Conservación [UICN 1980], posteriormente promovida por el Reporte de la Comisión Brundtland “Nuestro Futuro Común” en 1987 y enriquecida por el Plan de Acción Agenda 21 surgido en la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1992.

Actualmente, se acepta de manera amplia, que los estudios sistemáticos de temas que implique sostenibilidad tienen que tomar en cuenta los objetivos y metas de desarrollo sustentable propuestos por la Organización de Naciones Unidas [ONU 2000], complementados con un método de evaluación que reporte el avance para cumplir tales objetivos y metas [National Science Foundation 2003]. Una herramienta desarrollada inicialmente por el Departamento de Asuntos Sociales y Económicos de la ONU y después retomada por múltiples organismos y países en todo el mundo, son los indicadores de sostenibilidad [IS], que pueden ser definidos como herramientas cuantitativas diseñadas para capturar la complejidad de los socio-ecosistemas interrelacionando aspectos de diferentes áreas: ambiental, social y económica [Bell y Morse 2008].

El capítulo 40 de la Agenda 21 planteó a los países y organizaciones, desarrollar indicadores de desarrollo sostenible para tener una base sólida para la toma de decisiones. El primer listado preparado en 1995 por la Comisión de Desarrollo Sustentable [CDS] contenía 134 indicadores, el cual, junto con sus hojas metodológicas, conformaron la publicación conocida como libro azul [ONU 1996], revisado en dos ocasiones posteriores 2001 y 2006 hasta llegar al listado actual de 48 indicadores de desarrollo sustentable [ONU 2007], relacionados con los Objetivos de Desarrollo del Milenio [ODM].

En general, los IS son diseñados para capturar la complejidad de los sistemas socio-ambientales y ofrecer un panorama objetivo y simplificado a especialistas y no especialistas [Bell y Morse 2018], estas herramientas tienen varios propósitos: i] evaluar las condiciones de desarrollo de territorios y organizaciones, ii] monitorear el progreso hacia los objetivos y metas de desarrollo sostenible, iii] informar a los tomadores de decisiones sobre las mejores estrategias y políticas a ser implementadas con visión prospectiva, iv] comparar lugares y situaciones en el sentido de logros hacia la sostenibilidad, v] advertir y promover cambios en políticas o comportamientos que impliquen riesgos a la viabilidad de los recursos naturales y vi] orientar la participación pública mediante acciones cívicas [Moreno-Pires 2023].

Hoy en día los IS son aplicados a escalas que van de lo local a lo internacional y en temas tan diversos como la agricultura, la minería, la educación y el comercio internacional. El uso cada vez más común de los indicadores ha llevado a la confusión de llamar a cualquier observación o medida “indicador”, partiendo del significado más amplio de la palabra, sin embargo, los indicadores, técnicamente hablando, son herramientas prácticas metodológicas que desde su diseño deben cumplir con ciertos criterios para ser considerados como tales: a] relevantes en la evaluación de sostenibilidad, b] entendibles sin ambigüedades c] conceptualmente y técnicamente fundamentados d] representativos del sistema a evaluar, e] basados en datos de calidad y f] dentro de capacidades razonables para su medición e implementación [Moldhan y Lyon 2009].

El presente capítulo ejemplifica como la aplicación de una herramienta de la ciencia de la sostenibilidad como lo son los indicadores, puede ofrecer un diagnóstico claro, sencillo y útil para la toma de decisiones integrando de manera correlativa información, datos e interpretación desde distintas disciplinas. La ventaja principal de este enfoque de investigación es el de capturar la complejidad de interacciones que ocurren en los socioecosistemas integrando distintas áreas de conocimiento, en vez de partir de un abordaje disciplinario, que sería claramente incompleto.

El caso de estudio se deriva de un proyecto de investigación multidisciplinaria, financiado por el entonces CONACYT como parte del Fondo Sectorial de Ciencia Básica. La idea inicial surgió de observar la contradictoria situación que enfrentan las poblaciones rurales del sureste de México, en el sentido de contar con una alta riqueza natural y cultural, pero al mismo tiempo una marcada pobreza económica y social.

Esto llevó al planteamiento de algunas preguntas: ¿se cuenta con un diagnóstico del estado de desarrollo de las poblaciones en zonas como la costa de Campeche? ¿ha habido algún tipo de planeación que oriente las actividades productivas y que promueva cambios en el nivel de vida? ¿qué tipo de información pudiera ser útil para las instancias de gobierno, inversionistas y sociedad en general, que ayude al planteamiento de estrategias de desarrollo? En la siguiente sección se describen el marco metodológico basado en IS para abordar las preguntas anteriores, una discusión de los resultados obtenidos en términos de la utilidad diagnóstica de los indicadores de sostenibilidad y su relevancia en política pública.

2. Aplicación de indicadores de sostenibilidad: caso de estudio

Esta segunda sección del capítulo describe el marco conceptual y metodológico empleado en el proyecto de Ciencia Básica denominado “Indicadores de sostenibilidad para el corredor costero Isla Aguada-Champotón” financiado a la Universidad Autónoma del Carmen [UNACAR] por el entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [SECHITI], además de exponer algunos de los resultados obtenidos en el mismo.

El propósito en esta sección es mostrar cómo la conceptualización de la ciencia multidisciplinaria es llevada al sentido práctico a partir del desarrollo de proyectos de investigación básica, destacando la integración de capacidades de académicos de diferentes disciplinas. Por otro lado, también se discuten los resultados obtenidos de los IS y como estos pudieran ser implementados en políticas públicas.

El proyecto de Indicadores de Sostenibilidad se planteó a partir de dos premisas, la primera relacionada con el problema de desarrollo de las poblaciones rurales de la costa de Campeche, con marcadas insuficiencias socio-económicas, pero con una vasta riqueza ambiental.

La segunda, relacionada con el uso de nuevas herramientas metodológicas para el diagnóstico socioeconómico y ambiental, generadas desde la plataforma de Objetivos de Desarrollo Sustentable de la ONU y que pudieran ser usadas de manera factible para visualizar los aspectos y deficiencias críticas de desarrollo en los poblados en esa región [Figura 1].

El interés final del proyecto fue transferir a los tomadores de decisiones [entidades de gobierno, empresarios, organizaciones civiles] y a la sociedad en su conjunto, resultados simplificados y estandarizados sobre el estado de desarrollo de esos poblados, confiando en que esta información contribuyera a una planeación estratégica con prospectiva de largo plazo.

Con esa intención, el proyecto siguió una línea de trabajo que incluyó las siguientes etapas: i] una documentación exhaustiva del contexto histórico de la región con apoyo de cartografía y documentos estadísticos oficiales, ii] la reunión de expertos para hacer la selección del mejor conjunto de indicadores de sostenibilidad que ofrecieran un panorama completo sobre la socio-economía y aspectos ambientales de la región; etapa en la que participaron científicos de universidades e institutos de investigación de la región sureste de diferentes disciplinas, iii] obtención de datos de archivo e *in situ*, para lo cual se realizaron más de 20 salidas de campo en las cuales participaron investigadores, técnicos y estudiantes de las facultades de: ciencias naturales, ciencias socio-económicas, ciencias educativas, ciencias de la salud y ciencias químicas de la UNACAR, iv] procesamiento y análisis de los datos colectados en campo para obtener, mediante las hojas metodológicas y fórmulas apropiadas, los valores de los indicadores; esto incluyo la exploración de métodos y técnicas novedosos de análisis numérico, principalmente de tipo correlativo y multivariado, y v] interpretación integral de los resultados, contando nuevamente con la participación de investigadores y estudiantes de múltiples disciplinas para elaborar documentos simplificados con los resultados, para asegurar su utilidad en el diseño de estrategia de desarrollo [Tabla 1].

Box 1

Tabla 1

Marco metodológico general del proyecto describiendo los pasos principales

Paso	Descripción
1. Descripción general	Contexto histórico y presente de la región de estudio [geográfico, demográfico, económico, social, ambiental y cultural].
2. Selección de indicadores	Selección por el grupo multidisciplinario de trabajo del mejor listado de indicadores de sostenibilidad.
3. Adquisición de datos	Documentación en fuentes oficiales, muestreo en ecosistemas, cuestionarios a residentes y visitantes en las localidades de estudio
4. Análisis integral	Obtención de resultados del análisis numérico de datos, variables e indicadores de sostenibilidad y de actividades turísticas
5. Discusión y difusión	Interpretación de resultados y transferencia de información a tomadores de decisiones, inversionistas, académicos y sociedad.

Fuente: Nuñez-Lara et al. 2022

Box 2

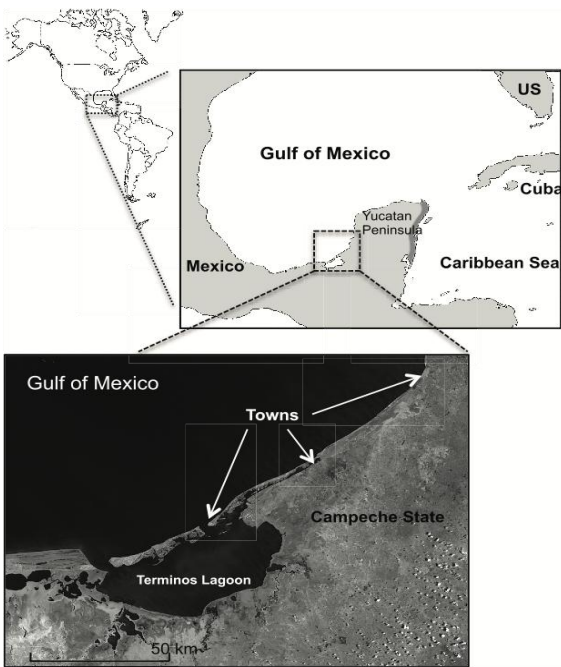


Figura 1
Area de estudio. Se indican tres poblados de la costa de Campeche en donde se realizaron las colectas de datos [Isla Aguada, Sabancuy, Champotón].
Fuente Nuñez-Lara et al. 2022.

Metodología

Las reuniones del grupo multidisciplinario llevaron a la selección de diecinueve indicadores de sostenibilidad que se consideraron apropiados para evaluar el desarrollo de los poblados en la región de estudio. Los datos necesarios para estos indicadores fueron obtenidos de distintas fuentes oficiales, principalmente del Instituto Nacional de Geografía e Informática [INEGI]. Otros datos fueron colectados directamente en los poblados y ecosistemas.

Los métodos de colecta incluyeron cuestionarios y entrevistas aplicados a 300 habitantes de cada uno de los tres poblados de la costa de Campeche [Isla Aguada, Sabancuy y Champotón]. Además, se emplearon técnicas estándar de muestreo en ambientes acuáticos para indicadores de calidad de agua como Demanda Bioquímica de Oxígeno [DBO] y concentración de coliformes fecales, entre otros.

Los datos necesarios para los indicadores relacionados con el turismo fueron colectados empleando los cuestionarios publicados en la guía de indicadores para destinos turísticos [OMT 2005] aplicados a una muestra de 200 residentes y 100 visitantes en cada uno de los tres poblados mencionados. Estos cuestionarios han sido aplicados en múltiples destinos turísticos y se enfocan en el uso de recursos naturales, patrimonio cultural, valor de las tradiciones, preocupaciones socioeconómicas y ambientales, así como la percepción de riesgo de cambio en el estilo de vida relacionada con la presencia de personas con otras costumbres o tradiciones. El tamaño de muestra de residentes fue estimado con base a la población de cada poblado con un nivel de confianza de 95%, mientras que la muestra de visitantes fue calculada con base en los registros de visitas de las oficinas turísticas.

Para correlacionar de manera simultánea los valores de todos los indicadores de sostenibilidad obtenidos en la región de estudio y poder visualizar de manera integral la relación entre indicadores y entre dimensiones [social, ambiental y económica] se utilizó Análisis de Factor Múltiple [AFM]. Este método es una aproximación de análisis simétrico de ordenación que utiliza datos que pueden ser de diferente tipo [cualitativos, cuantitativos y semi-cuantitativos] y medidos en diferentes unidades. En este caso, todos los indicadores fueron cuantitativos, por lo que AFM es en esencia un Análisis de Componentes Principales [ACP], donde cada indicador es ponderado durante el análisis y esos valores ponderados son utilizados para normalizar los indicadores dentro de ejes de ordenación que posteriormente son proyectados en un gráfico denominado círculo de correlación, que revela estructuras correlativas, tanto entre indicadores como entre grupos de indicadores. Todos los análisis fueron realizados en la plataforma R utilizando la función AFM del paquete 'FactomineR' [R Core Team 2021].

Resultados

El AFM explicó un 57% de la varianza de los datos de todos los indicadores retenida principalmente en tres ejes de ordenación. Este porcentaje es aceptable de acuerdo con lo esperado, 40 y 60%, en este tipo de análisis. Otro resultado esperado es que los indicadores de cada una de las tres dimensiones mostraran una alta correlación entre sí, es decir, indicadores sociales correlacionados entre sí, lo mismo los ambientales y económicos [Figura 2]. La interpretación del gráfico destaca, además de la correlación entre indicadores, la importancia de los mismos para explicar la variación total de los datos, es decir, cuáles de los IS medidos fueron más importantes para expresar las tendencias o cambios en las mediciones realizadas. También fue importante observar que no existieran correlaciones positivas entre indicadores [vectores cercanos] o correlaciones negativas [vectores con dirección opuesta] entre IS de dimensiones diferentes.

Esto sugeriría que los indicadores empleados quizá no capturan la interrelación entre aspectos sociales y ambientales, sociales y económicos y ambientales y económicos; por lo que sería deseable en futuras investigaciones explorar otros IS explícitamente correlativos, es decir, que los datos obtenidos se combinaran desde la formula inicial.

Box 3

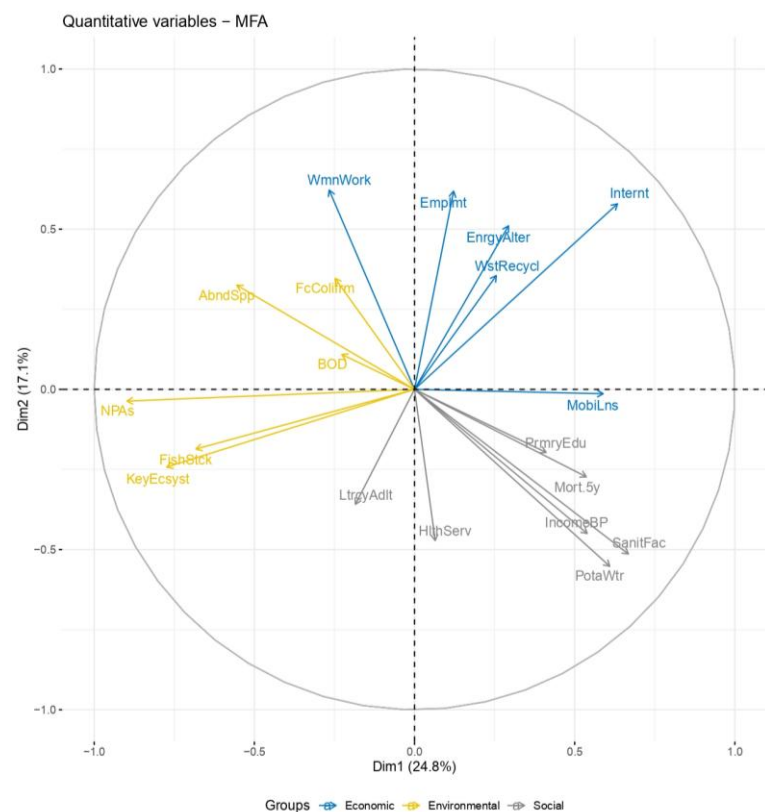


Figura 2
Círculo de correlación producido por Análisis de Factor Múltiple [AFM] de 9 indicadores de sostenibilidad medidos en tres poblados de la costa de Campeche. Económicos: mujeres en empleos pagados [WmWork], tasa de empleo [Emplmt], uso de energías alternativas [EnerAlter], reciclado e residuos [WstRecycl], acceso a servicio de internet [Internt] y líneas móviles de teléfono [MobLns]. Sociales: tasa de matrícula neta en educación primaria [PrmryEdu], inverso de la tasa de mortalidad de niños menores de 5 años [mort5y], acceso a facilidades sanitarias [SanitFac], ingreso por debajo de la línea nacional de pobreza [IncomeBP], acceso a agua potable segura [PotaWtr], acceso a servicios primarios de salud [HlthServ], tasa de alfabetización de adultos [LtrcyAdlt]. Ambientales: área de ecosistemas clave [KeyEcsyst], reseras pesqueras dentro de los límites saludables [FishStck], porcentaje dentro de áreas naturales protegidas [NPAs], demanda biológica de oxígeno [BOD], abundancia de especies clave [AbndSpp], concentración de coliformes fecales [FcColifm].
Fuente: Nuñez-Lara et al. 2022.

Cinco de los siete indicadores sociales mostraron una alta correlación, particularmente entre el acceso a servicio de agua potable, el uso de instalaciones sanitarias y el ingreso de la población por debajo de la línea de pobreza, lo cual es un resultado lógico si se piensa en las limitaciones que padecen las poblaciones rurales de México están fuertemente determinadas por los bajos ingresos. Estos tres indicadores a su vez muestran correlación con la tasa de mortalidad infantil y la matrícula en educación primaria, lo cual también es simple de explicar si se considera que un salario de menos de \$2,900 mensuales, que es la línea de pobreza por ingresos en México, no podría garantizar el acceso a muchos servicios o cubrir con algunos aspectos básicos de desarrollo humano. Los indicadores económicos también mostraron correlación entre sí, pero no tan marcada como las de los indicadores sociales o los ambientales. La correlación observada parece indicar que de acuerdo con la tasa de empleo es el acceso a servicio como el de internet o el uso de energías alternativas. Pareciera un resultado ilógico no observar relación entre el indicador de ingreso y el de empleo, sin embargo, al analizar los indicadores de manera independiente, se observó que un alto porcentaje de la población [70%] tiene empleo, pero el salario es muy bajo, es decir no hay una relación directamente proporcional. El número de mujeres con empleo en las poblaciones muestreadas fue aceptable [$>50\%$], sin embargo, los ingresos por este empleo son más bajos que los de los hombres, demostrando inequidad. Los indicadores ambientales de ecosistemas clave, superficie dentro de Área Natural Protegida [ANP] y reservas de peces en estado saludable estuvieron correlacionadas, indicando un estado de conservación relativamente bueno de los ecosistemas. Extrañamente la abundancia de especies claves no mostro relación con los indicadores previos, lo cual podría indicar que existe la presencia de especies clave, como delfines, tortugas marinas y aves, pero no en la abundancia que se esperaría para un área natural protegida. Esto puede significar una alerta para los desarrolladores, ya que estas especies son emblemáticas en la región y atraen un flujo turístico importante, pero pudieran estar siendo estresadas por la presencia humana y esto afectar la viabilidad de sus poblaciones.

Los indicadores medidos pudieran no haber capturado toda la variabilidad asociada con los aspectos clave de desarrollo, sin embargo, son suficientemente confiables y robustos en su medición para ser empleados en la planeación del desarrollo regional. Además, los IS obtenidos tienen la virtud de servir en el manejo precautorio para la conservación de especies y ecosistemas, que son la base de las actividades productivas en los poblados estudiados y por lo tanto la fuente principal de ingreso y bienestar social. Para mejorar la selección y diseño de los IS se requieren datos suficientes de buena calidad, es decir, medidas sistemáticas de aspectos clave. Además es importante la identificación de las necesidades específicas de las poblaciones a través de esquemas participativos. Finalmente, es necesario contar con una inversión sostenida y aumento de salarios que garanticen el acceso a servicios básicos como agua potable, atención médica y electricidad.

En relación con la medición de percepción hacia las actividades turísticas, la mayor parte de los residentes [85%], de los tres poblados en donde se aplicaron cuestionarios, expresaron estar de acuerdo con la idea de que el turismo representa la mejor opción para el progreso en sus comunidades. El porcentaje restante opinó que no cree que el turismo sea la mejor opción de desarrollo porque percibían algunos riesgos a largo plazo. Aunque la mayoría de residentes piensa que el turismo implicaría una mejora en la calidad de los servicios para sus comunidades, algunas opiniones adversas [39%] se relacionaron con la percepción de un riesgo en el aumento del crimen con la llegada de gente de otros lugares del país, con la alteración de los valores morales [31%] o el aumento de los precios [65%]. Alrededor de la mitad de los residentes opinó que las ganancias del turismo se quedarían en la propia comunidad, mientras que la otra mitad comentó que la mejor ganancia sería para los grandes inversionistas. La mayoría de los residentes [65%] piensa que el turismo no daña el ambiente, mientras que un pequeño porcentaje [5%] cree que los turistas competirán por los servicios básicos como agua, electricidad y comunicaciones.

Un porcentaje alto de visitantes encuestados [80%] expresó que habían tenido una experiencia positiva y gratificante al conocer los poblados de la región de la costa de Campeche entre Isla Aguada y Champotón, que les permitió estar en contacto cercano con la naturaleza. También mencionaron haberse sentido seguros, lo cual era una ventaja importante en comparación con otras regiones del país. En sentido menos positivo, el 40% mencionó que la infraestructura y servicios no les permitía ampliar su estancia en estos sitios, la mitad solo paso el día y continuaron a otra ciudad y la otra mitad solo pasó una noche. Pese a las deficiencias en los servicios, las opciones de alimentos y hospedajes les resultaron aceptables en términos de costos. Prácticamente el 100% opinó que las principales atracciones estaban relacionadas con la diversidad de paisajes naturales, teniendo una percepción de que las especies y ecosistemas estaban bien conservadas. En contrasentido, los visitantes opinaron que hacía falta más información sobre las actividades y lugares de interés, muy pocos de ellos tuvieron una visita guiada que les informara sobre el ANP y su riqueza natural. Más del 75% de turistas comentó que eran necesarios servicios bancarios, transporte, facilidades de pago, seguridad pública, infraestructura urbana y promoción de amenidades.

Aun cuando la opinión de los residentes y visitantes es importante, es evidente la falta de estudios sobre capacidad de carga de los ecosistemas y del socio-ecosistema integral, una base de información indispensable antes de iniciar cualquier estrategia de desarrollo. Las variantes de turismo de naturaleza, de exploración, de observación o ecológico de mínimo impacto, pudieran ser alternativas viables con buenas ganancias económicas y mejoras sociales, pero es importante la aplicación de la normatividad ambiental para evitar el detrimento de los recursos naturales.

En México la promoción de destinos turísticos está basada principalmente en la diversidad natural, sobre todo en regiones remotas con críticas condiciones de vida. Esto ha llevado a las comunidades locales a explorar la alternativa económica del turismo; motivación en parte compartida con las autoridades de gobierno, que intentan impulsar una dinámica económica que reditué a diferentes niveles, sin embargo, esta promoción e impulso no siempre se acompaña por una apropiada evaluación diagnóstica del grado de desarrollo y de las capacidades reales y sostenidas hacia el progreso [Núñez-Lara *et al.*, 2022]. Es importante reiterar que aunque los proyectos de infraestructura urbana son necesarios estos deben guiarse hacia una meta específica de carácter social y considerar la preservación del medio [Sánchez, 2002]. La complejidad para transitar hacia la sustentabilidad, sobre todo en países en desarrollo como México, se explica en parte por una tendencia inercial de utilización irracional del capital natural guiado en parte por estilos de vida cómodos y en otra parte por el desconocimiento y falta de conciencia de la población en relación con el valor de los recursos naturales [Mansera 2001, Gabaldón y Rodríguez 2002].

Aun con los avances científicos y tecnológicos, las estrategias del gobierno para lograr un crecimiento sostenido y mejorar las condiciones de vida en un ambiente saludable siguen sin basarse en información confiable, resultando ser más bien improvisaciones y ocurrencias políticas, claramente inadecuadas o insuficientes para lograr una mejora en la calidad de vida.

Conclusiones

Aun cuando la investigación científica en las últimas décadas ha ido transitando hacia abordajes interdisciplinarios y multidisciplinarios, como en el caso de la ciencia de la sostenibilidad, aun existen muchos enfoques tradicionales disciplinarios, que no siempre ofrecen respuestas completas a las problemáticas actuales. La sostenibilidad es un concepto que implica multidisciplinariedad y por lo tanto, las herramientas empleadas para medirla, tendrían que contemplar la relación directa y simultánea de datos de diferentes especialidades: ambientales, sociales, económicas, institucionales. Los indicadores de sostenibilidad han sido empleados desde la década de los noventa para diagnosticar y estimar el progreso hacia la sostenibilidad de países y regiones, demostrando ser una herramienta útil de medición, de comparación entre regiones, de información para la toma de decisiones y de planeación de estrategias de desarrollo a escala local.

El proyecto sobre indicadores de sostenibilidad en la región costera del Estado de Campeche, ejemplificado en este capítulo, corroboró las propiedades de los indicadores como medidas objetivas y simplificadas. Este estudio requirió la participación de investigadores y estudiantes de diferentes áreas de conocimiento analizando colectivamente una misma situación, el desarrollo de localidades rurales con el interés de cambiar las actividades productivas tradicionales al turismo. Los resultados mostraron alta correlación entre los indicadores sociales, con una influencia clara del IS de Ingreso por Debajo de la Línea Nacional de Pobreza en otros IS sociales. Los IS ambientales mostraron un desempeño aceptable, lo mismo que los económicos en términos generales; destacando que aun cuando no existe una alta tasa de desempleo en la región, los salarios son bajos y desiguales en el caso de las mujeres. Tanto para residentes como para visitantes de los poblados de la costa sureste de Campeche parece buena opción el desarrollo del turismo. En general se tiene una buena opinión sobre el potencial turístico relacionado con los atractivos naturales de la zona, aunque se reconocen las deficiencias en infraestructura y servicios, como suministro de agua potable, uso de energías renovables, disposición de residuos, acceso a internet, transporte y amenidades. La planeación e implementación de políticas de desarrollo para la región tendrían que considerar la información diagnóstica obtenida con los IS, y emplearlos para monitorear, junto con otros instrumentos de gobierno, la conservación ambiental y el progreso socioeconómicos de las comunidades.

Declaraciones

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. No tienen intereses financieros o relaciones personales que pudieran haber influido en este libro.

Contribución de los autores

Núñez-Lara, Enrique: Contribuyó al manuscrito con la idea inicial desarrollada a partir de la información y datos obtenidos como resultado de un proyecto de ciencia básica. Coordinó tanto el proyecto mencionado como la elaboración de esta obra.

Martínez-Fernández, Cynthia: Contribuyó con planteamientos teóricos y metodológicos relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sustentable, las metas e indicadores de sostenibilidad.

Acuña-Lara, Patricia: contribuyó con la interpretación de resultados del caso de estudio, particularmente los de orden social, además de edición y organización del manuscrito.

Disponibilidad de datos y materiales

Los datos e información empleada para elaboración del manuscrito se derivaron del proyecto de investigación CB-82079 CONACYT quien mantiene la propiedad de los mismos.

Financiación

La investigación de la cual se derivaron los datos empleados en este manuscrito fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación al proyecto CB-82079.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma del Carmen por el apoyo otorgado tanto para la realización de la investigación como para la elaboración del presente manuscrito.

Abreviaturas

CDS	Comisión de Desarrollo Sustentable
IS	Indicadores de Sostenibilidad
ODS	Objetivos de Desarrollo Sustentable.
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio

Referencias

Antecedentes

Clark, W.C. & Dickson, N.M. [2003]. [Sustainability science: The emerging research program](#). *Proceedings of the Natural Academy of Sciences U.S.A.* 100 [14], 8059-8061.

Komiyama, H. & Takeuchi, K. [2006]. [Sustainability science: building a new discipline](#). *Sustainability Sciences*, 1, 1–6.

Organización de Naciones Unidas ONU. [2000]. [Objetivos de desarrollo del milenio, Cumbre del Milenio](#). Recuperado el 12 de septiembre de 2010.

Rapport, D. J. [2007]. [Sustainability science: an ecohealth perspective](#). *Sustainability Sciences* 2 [1] 77–84.

Básicos

Bell, S. & Morse, S. [2008]. [Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?](#) [2ª ed.]. Routledge.

Bell, S. & Morse, S. [2018] [Sustainability Indicators Past and Present: What Next?](#) *Sustainability* 10, 1688. Routledge.

Moldan, B. & Lyon, A. [2009]. [Challenges to sustainability indicators](#). En: Hák, T., Moldan, B., Lyon Dahl Editores, *Sustainability Indicators: A scientific Assessment* [pp. 1-24]. SCOPE 67, Island Press, London.

Moreno-Pires, S. [2023]. [Sustainability Indicators](#). En: *Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research* [Maggino, F. Editor], Springer, Chambers.

Organización de Naciones Unidas ONU. [1996]. [Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies](#). United Nations Sales Publication. 96, New York.

Organización de Naciones Unidas ONU. [2007]. [Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies](#) [3ª ed.].

Soporte

Gabaldón, J. & Rodríguez, A. [2002]. [Evolución de las políticas e instituciones ambientales: ¿hay motivos para estar satisfechos?](#). En: Leff, E., Ezcurra, E., Pisanty, I., Romero, L. Compiladores, *La Transición hacia el Desarrollo Sustentable* [pp. 35-60]. SEMARNAT, INE, UAM, ONU, PNUMA. México.

- Knippenberg, L., Beckers, T., Hermans, F., Haarmann, W. & Dagevos, J. [2007]. *Developing Tools for the Assessment of Sustainable Development in the Province of Brabant, the Netherlands*. En: Hák, T., National Science Foundation. Advisory Committee on Environmental Research and Education. [2003]. *Complex Environmental Systems*. National Science Foundation, Washington, DC.
- Organización Mundial de Turismo. [2005]. *Indicadores de desarrollo sostenible para los destinos turísticos - Guía práctica*. Madrid, España.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing [2021]. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria.

Diferencias

- Sánchez, R. [2002]. *Sustentabilidad urbana, descentralización y gestión local*. En: Leff, E., Ezcurra, E., Pisanty, I. y Romero, L. Compiladores, *La Transición hacia el Desarrollo Sustentable* [pp. 305-326]. SEMARNAT, INE, UAM, ONU, PNUMA. México.

Discusiones

- Masera, D. [2001]. *Hacia un consumo sustentable*. En: Leff, E., Ezcurra, E., Pisanty, I., Romero, L. Compiladores, *La Transición hacia el Desarrollo Sustentable* [pp. 61-90]. SEMARNAT, INE, UAM, ONU, PNUMA. México.
- Núñez-Lara, E., Beltrán-Ramírez, V., Laffon-Leal, S., Martínez-Fernández, C. [2022]. An indicator-based evaluation of sustainability in a coastal region of southern Mexico transitioning from traditional activities to tourism, *Environmental Development*, 42.
- Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza. [1980]. *Estrategia Mundial para la Conservación*.

[Title in TNRoman and Bold No. 14 in English and Spanish]

Surname, Name 1st Author*^a, Surname, Name 1st Co-author^b, Surname, Name 2nd Co-author^c and Surname, Name 3rd Co-author^d [No.12 TNRoman]

- ^a  [Affiliation institution](#),  [Researcher ID](#),  [ORCID ID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- ^b  [Affiliation institution](#),  [Researcher ID](#),  [ORCID ID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- ^c  [Affiliation institution](#),  [Researcher ID](#),  [ORCID ID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- ^d  [Affiliation institution](#),  [Researcher ID](#),  [ORCID ID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) or CVU PNPC [No.10 TNRoman]

All ROR-Clarivate-ORCID and SECIHTI profiles must be hyperlinked to your website.
Prot-  [University of South Australia](#) •  [7038-2013](#) •  [0000-0001-6442-4409](#) •  416112

SECIHTI classification: <https://marvid.org/area-i.php> [No.10 TNRoman]

Area:
Field:
Discipline:
Subdiscipline:
DOI: <https://doi.org/>

Key Handbooks

[Explain the following aspects:]

-What are the main contributions to generating Science and Technology written in this research?

-What are the key aspects to be understood in order to apply to the generation of universal knowledge?

-Outline the main conclusions of the research.

-How many citations did the authors of the work generate in the last year?

-From which institutions do they originate?

Citation: Surname, Name 1st Author, Surname, Name 1st Co-author, Surname, Name 2nd Co-author and Surname, Name 3rd Co-author. Year. Book title. [Pages]. ECORFAN.
Contact e-mail address:
*  [example@example.org]

Handbook shelf URL: <https://www.ecorfan.org/handbooks.php>



ISBN XXX-XX-XXXXXX-XX-X/© 2009 The Author[s]. Published by ECORFAN-Mexico, S.C. for its Holding X on behalf of Book X. This is an open access chapter under the CC BY-NC-ND license [\[http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/\]](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Peer Review under the responsibility of the Scientific Committee [MARVID®](#)- in contribution to the scientific, technological and innovation Peer Review Process by training Human Resources for the continuity in the Critical Analysis of International Research.

ECORFAN® All rights reserved México – Bolivia – Spain – Ecuador – Cameroon – Colombia – Salvador – Guatemala – Paraguay – Nicaragua – Peru - Democratic Republic of Congo – Taiwan



Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Abstract [In English]

Must contain up to 150 words

Graphical abstract [In English]

Your title goes here		
Objectives	Methodology	Contribution

Authors must provide an original image that clearly represents the work described in the chapter. Graphical abstracts should be submitted as a separate file. Please note that, as well as each article must be unique. File type: the file types are MS Office files. No additional text, outline or synopsis should be included. Any text or captions must be part of the image file. Do not use unnecessary white space or a "graphic abstract" header within the image file.

Keywords [In English]

Indicate 3 keywords in TN Roman and Bold No. 12

Abstract [In Spanish].

Must contain up to 150 words

Graphical abstract [In Spanish]

Your title goes here		
Objectives	Methodology	Contribution

Authors must provide an original image that clearly represents the work described in the book. Graphical abstracts should be submitted as a separate file. Please note that, as well as each article must be unique. File type: the file types are MS Office files. No additional text, outline or synopsis should be included. Any text or captions must be part of the image file. Do not use unnecessary white space or a "graphic abstract" header within the image file.

Keywords [In Spanish]

Indicate 3 keywords in TN Roman and Bold No. 12

Introduction

Text in TNRoman No.12, single space.

What is your added value with respect to other techniques?

Clearly focus each of its features

Clearly explain the problem to be solved and the central hypothesis.

Explanation of sections Chapter.

Products in development No.12 TNRoman, single spaced.

In the Chapter content any figure and table should be editable formats that can change size, type and number of letters, for the purposes of edition, these must be high quality, not pixelated and should be noticeable even reducing image scale.

[Indicating the title at the top with No.12 and TNRoman Bold]

Table 1

Title [Should not be images-everything must be editable]

QUESTION			

Source [in italic]

Box

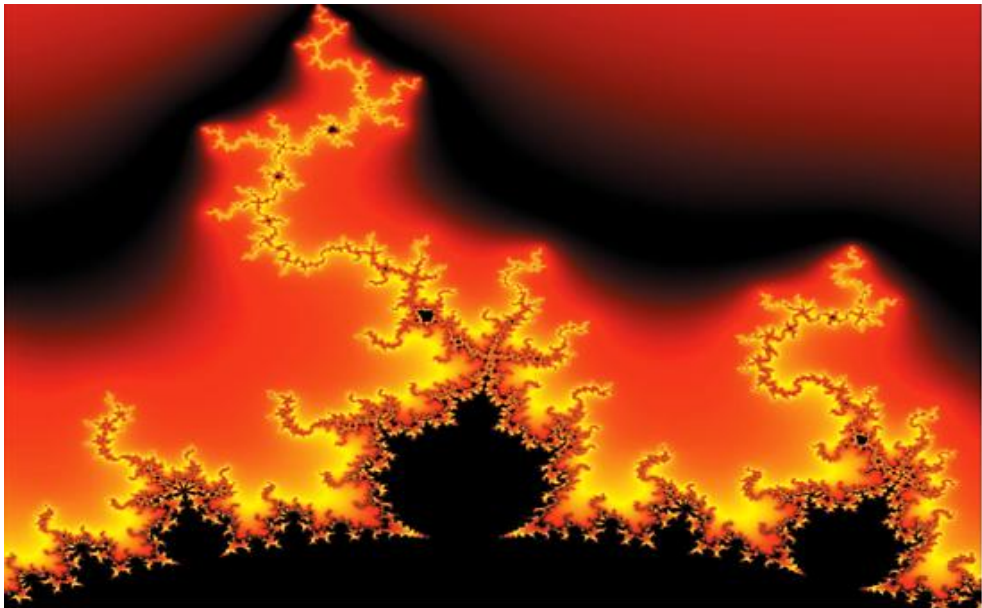


Figure 1

Title [Should not be images-everything must be editable]

Source [in italic]

The maximum number of Boxes is 10 items

For the use of equations, noted as follows:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[\frac{1 \ [-1]}{lim} \right]^2 = \frac{[0]^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad [1]$$

Must be editable and number aligned on the right side.

Methodology

Develop give the meaning of the variables in linear writing and important is the comparison of the used criteria.

Results

The results shall be by section of the chapter.

Conclusions

Clearly explain the results and possibilities of improvement.

Annexes

Tables and adequate sources.

The international standard is 7 pages minimum and 14 pages maximum.

Declarations

Conflict of interest

The authors declare no interest conflict. They have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence in this chapter.

Author contribution

Specify the contribution of each researcher in each of the points developed in this research.

Prot-

Benoit-Pauleter, Gerard: Contributed to the project idea, research method and technique.

Availability of data and materials

Indicate the availability of the data obtained in this research.

Funding

Indicate if the research received some financing.

Acknowledgements

Indicate if they were financed by any institution, University or company.

Abbreviations

List abbreviations in alphabetical order.

ANN Artificial Neural Network

References

Use APA system. Should not be numbered, nor with bullets, however if necessary numbering will be because reference or mention is made somewhere in the chapter.

Use the Roman alphabet, all references you have used should be in Roman alphabet, even if you have cited a chapter, book in any of the official languages of the United Nations [English, French, German, Chinese, Russian, Portuguese, Italian, Spanish, Arabic], you should write the reference in Roman alphabet and not in any of the official languages.

Citations are classified the following categories:

Antecedents. The citation is due to previously published research and orients the citing document within a particular scholarly area.

Basics. The citation is intended to report data sets, methods, concepts and ideas on which the authors of the citing document base their work.

Supports. The citing article reports similar results. It may also refer to similarities in methodology or, in some cases, to the reproduction of results.

Differences. The citing document reports by means of a citation that it has obtained different results to those obtained in the cited document. This may also refer to differences in methodology or differences in sample sizes that affect the results.

Discussions. The citing article cites another study because it is providing a more detailed discussion of the subject matter.

The URL of the resource is activated in the DOI or in the title of the resource.

Prot-

Mandelbrot, B. B. [2020]. [Negative dimensions and Hölders, multifractals and their Hölder spectra, and the role of lateral preasymptotics in science](#). Journal of Fourier Analysis and Applications Special. 409-432.

Instructions for Scientific, Technological and Innovation Publication

Intellectual Property Requirements for editing:

- Authentic Signature in Color of [Originality Format](#) Author and Coauthors.
- Authentic Signature in Color of the [Acceptance Format](#) of Author and Coauthors.
- Authentic Signature in blue color of the [Conflict of Interest Format](#) of Author and Co-authors.

Reserva a la Política Editorial

ECORFAN Handbooks se reserva el derecho de hacer los cambios editoriales requeridos para adecuar la Obra Científica a la Política Editorial del Ecorfan Handbooks. Una vez aceptada la Obra Científica en su versión final, el Ecorfan Handbooks enviará al autor las pruebas para su revisión. Ecorfan® únicamente aceptará la corrección de erratas y errores u omisiones provenientes del proceso de edición de la revista reservándose en su totalidad los derechos de autor y difusión de contenido. No se aceptarán supresiones, sustituciones o añadidos que alteren la formación de la Obra Científica.

Código de Ética – Buenas Prácticas y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Declaración de Originalidad y carácter inédito de la Obra Científica, de Autoría, sobre la obtención de datos e interpretación de resultados, Agradecimientos, Conflicto de intereses, Cesión de derechos y distribución.

La Dirección de Ecorfan-México, S.C reivindica a los Autores de la Obra Científica que su contenido debe ser original, inédito y de contenido Científico, Tecnológico y de Innovación para someterlo a evaluación.

Los Autores firmantes de la Obra Científica deben ser los mismos que han contribuido a su concepción, realización y desarrollo, así como a la obtención de los datos, la interpretación de los resultados, su redacción y revisión. El Autor de correspondencia de la Obra Científica propuesto requisitara el formulario que sigue a continuación.

Título de la Obra Científica:

- El envío de una Obra Científica a Ecorfan Handbooks emana el compromiso del autor de no someterlo de manera simultánea a la consideración de otras publicaciones seriadas para ello deberá complementar el Formato de Originalidad para su Obra Científica, salvo que sea rechazado por el Comité de Arbitraje, podrá ser retirado.
- Ninguno de los datos presentados en esta Obra Científica ha sido plagiado ó inventado. Los datos originales se distinguen claramente de los ya publicados. Y se tiene conocimiento del testeo en PLAGSCAN si se detecta un nivel de plagio Positivo no se procederá a arbitrar.
- Se citan las referencias en las que se basa la información contenida en la Obra Científica, así como las teorías y los datos procedentes de otras Obras Científicas previamente publicados.
- Los autores firman el Formato de Autorización para que su Obra Científica se difunda por los medios que Ecorfan-México, S.C. en su Holding México considere pertinentes para divulgación y difusión de su Obra Científica cediendo sus Derechos de Obra Científica.
- Se ha obtenido el consentimiento de quienes han aportado datos no publicados obtenidos mediante comunicación verbal o escrita, y se identifican adecuadamente dicha comunicación y autoría.
- El Autor y Co-Autores que firman este trabajo han participado en su planificación, diseño y ejecución, así como en la interpretación de los resultados. Asimismo, revisaron críticamente el trabajo, aprobaron su versión final y están de acuerdo con su publicación.
- No se ha omitido ninguna firma responsable del trabajo y se satisfacen los criterios de Autoría Científica.
- Los resultados de esta Obra Científica se han interpretado objetivamente. Cualquier resultado contrario al punto de vista de quienes firman se expone y discute en la Obra Científica.

Copyright y Acceso

La publicación de esta Obra Científica supone la cesión del copyright a ECORFAN-Mexico, S.C en su Holding México para su ECORFAN Handbooks, que se reserva el derecho a distribuir en la Web la versión publicada de la Obra Científica y la puesta a disposición de la Obra Científica en este formato supone para sus Autores el cumplimiento de lo establecido en la Ley de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a la obligatoriedad de permitir el acceso a los resultados de Investigaciones Científicas.

Título de la Obra Científica:

Nombre y apellidos del Autor de contacto y de los Coautores	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principios de Ética y Declaratoria de Solución a Conflictos Editoriales

Responsabilidades del Editor

El Editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los Árbitros la identidad de los Autores, tampoco podrá revelar la identidad de los Árbitros en ningún momento.

El Editor asume la responsabilidad de informar debidamente al Autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del arbitraje a Doble Ciego.

El Editor debe evaluar los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los Autores.

El Editor y su equipo de edición de los Holdings de ECORFAN® no divulgarán ninguna información sobre la Obra Científica enviado a cualquier persona que no sea el Autor correspondiente.

El Editor debe tomar decisiones justas e imparciales y garantizar un proceso de arbitraje por pares justa. Responsabilidades del Consejo Editorial

La descripción de los procesos de revisión por pares es dado a conocer por el Consejo Editorial con el fin de que los Autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación y estará siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación. En caso de Detección de Plagio a la Obra Científica el Comité notifica a los Autores por Violación al Derecho de Autoría Científica, Tecnológica y de Innovación.

Responsabilidades del Comité Arbitral

Los Árbitros se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los Autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de la Obra Científica. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con la Obra Científica que evalúan.

Cualquier manuscrito recibido para su arbitraje debe ser tratado como documento confidencial, no se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del Editor.

Los Árbitros se deben conducir de manera objetiva, toda crítica personal al Autor es inapropiada.

Los Árbitros deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos que contribuyan al que hacer Científico, Tecnológica y de Innovación del Autor.

Los Árbitros no deben evaluar los manuscritos en los que tienen conflictos de intereses y que se hayan notificado al Editor antes de someter la Obra Científica a evaluación.

Responsabilidades de los Autores

Los Autores deben garantizar que sus Obras Científicas son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética.

Los Autores deben garantizar no han sido previamente publicados o que no estén siendo considerados en otra publicación seriada.

Los Autores deben seguir estrictamente las normas para la publicación de Obra Científica definidas por el Consejo Editorial.

Los Autores deben considerar que el plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable, en consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.

Los Autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza de la Obra Científica presentado a arbitraje.

Servicios de Información

Indización - Bases y Repositorios

V|LEX (Plataforma global de inteligencia jurídica)

RESEARCH GATE (Alemania)

MENDELEY (Gestor de Referencias bibliográficas)

GOOGLE SCHOLAR (Índices de citaciones-Google)

REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico- CSIC)

Servicios Editoriales

Identificación de Citación e Índice H

Administración del Formato de Originalidad y Autorización

Testeo de Handbooks con PLAGSCAN

Evaluación de Obra Científica

Emisión de Certificado de Arbitraje

Edición de Obra Científica

Maquetación Web

Indización y Repositorio

Publicación de Obra Científica

Certificado de Obra Científica

Facturación por Servicio de Edición

Política Editorial y Administración

Park Pedregal Business 3580 – Adolfo Ruiz Cortines Boulevard, CP-01900. San Jeronimo Aculco Álvaro Obregón - Mexico City. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; E-mail: contact@ecorfan.org www.ecorfan.org

ECORFAN®

Editor en Jefe

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD

Director Ejecutivo

RAMOS-ESCAMILLA, María. PhD

Director Editorial

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Diseñador Web

ESCAMILLA-BOUCHAN, Imelda. PhD

Programador web

LUNA-SOTO, Vladimir. PhD

Asistente Editorial

ROSALES-BORBOR, Eleana. BsC

Filólogo

RAMOS-ARANCIBIA, Alejandra. BsC

Publicidad y Patrocinio

(ECORFAN®- Mexico- Bolivia- Spain- Ecuador- Cameroon- Colombia- El Salvador- Guatemala- Nicaragua- Peru- Paraguay- Democratic Republic of The Congo- Taiwan), sponsorships@ecorfan.org

Licencias del Sitio

03-2010-032610094200-01-Para material impreso, 03-2010-031613323600-01-Para material electrónico, 03-2010-032610105200-01-Para material fotográfico, 03-2010-032610115700-14-Para Compilación de Datos, 04 -2010-031613323600-01-Para su página Web, 19502-Para la Indización Iberoamericana y del Caribe, 20-281 HB9-Para la Indización en América Latina en Ciencias Sociales y Humanidades, 671-Para la Indización en Revistas Científicas Electrónicas España y América Latina, 7045008-Para su divulgación y edición en el Ministerio de Educación y Cultura-España, 25409-Para su repositorio en la Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Para su indexación en Dialnet, 20589-Para Indización en el Directorio en los países de Iberoamérica y el Caribe, 15048-Para el registro internacional de Congresos y Coloquios. financingprograms@ecorfan.org

Oficinas de Gestión

Park Pedregal Business 3580 - Adolfo Ruiz Cortines Boulevard, CP-01900. San Jeronimo Aculco Álvaro Obregón - Mexico City.

21 Santa Lucia, CP-5220. Libertadores -Sucre - Bolivia.

38 Matacerquillas, CP-28411. Morazarzal -Madrid-Spain.

18 Marcial Romero, CP-241550. Avenue, Salinas I - Santa Elena-Ecuador.

1047 Avenida La Raza - Santa Ana, Cusco-Peru.

Boulevard de la Liberté, Immeuble Kassap, CP-5963.Akwa- Douala-Cameroon.

Avenida Suroeste, San Sebastian - León-Nicaragua.

31 Kinshasa 6593- Republique Démocratique du Congo.

Avenida San Quentin, R 1-17 Miralvalle - San Salvador-El Salvador.

16 kilometers, U.S. highway, Terra Alta house, D7 Mixco Zone 1-Guatemala.

105 Alberdi Rivarola Capitán, CP-2060. Luque City- Paraguay.

69 Street YongHe District, Zhongxin. Taipei-Taiwan.

43 Street # 30 -90 B. El Triunfo CP.50001. Bogotá-Colombia.

