



Educación
Secretaría de Educación Pública



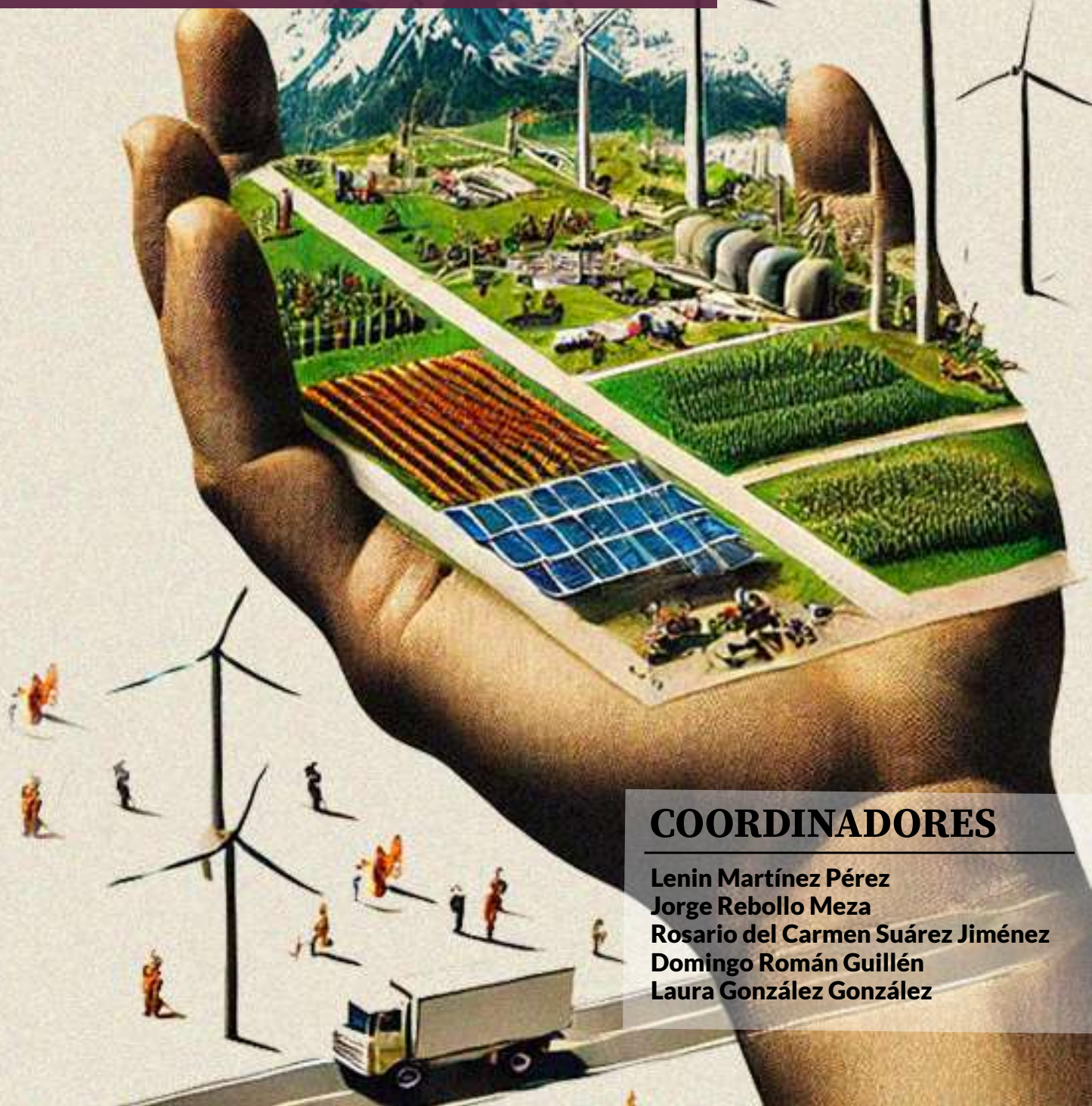
TABASCO

UTP
DIRECCIÓN GENERAL DE UNIVERSIDADES
Tecnológicas y Politécnicas



¡Excelencia académica,
innovación con sentido social!

Energía, alimentación e innovación empresarial para la sustentabilidad.



COORDINADORES

Lenin Martínez Pérez
Jorge Rebollo Meza
Rosario del Carmen Suárez Jiménez
Domingo Román Guillén
Laura González González



**Energía, alimentación e innovación
empresarial para la sustentabilidad.**

Universidad Tecnológica de Tabasco

Energía, alimentación e innovación empresarial para la sustentabilidad. Coordinadores, Lenin Martínez Pérez, Jorge Rebollo Meza, Rosario del Carmen Suárez Jiménez, Domingo Román Guillén y Laura González González. --Primera edición. -- Villahermosa, Centro, Tabasco: Universidad Tecnológica de Tabasco, 2025.

297 páginas: Ilustraciones.

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN digital: 978-607-26747-4-5

Primera edición, 2025

D. R. © Universidad Tecnológica de Tabasco

Carretera, Villahermosa-Teapa

Km. 14.6, Parrilla II, Tabasco. C.P. 86288

Villahermosa, Centro, Tabasco. www.uttab.mx

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

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

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

Coordinadores: Lenin Martínez Pérez, Jorge Rebollo Meza, Rosario del Carmen Suárez Jiménez, Domingo Román Guillén y Laura González González.

Diseño Editorial: Baldemar Fabián Hernández Pérez.

Responsable de la edición: Universidad Tecnológica de Tabasco.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México.

Comité Científico

Energía, alimentación e innovación empresarial para la sustentabilidad, es una obra colectiva creada por un equipo de profesionales, quienes cuidaron el nivel y la pertinencia de los contenidos, lineamientos y estructuras establecidas por la Editorial Universidad Tecnológica de Tabasco.

Fue dictaminada con arbitraje a doble ciego por un Comité Científico Interinstitucional India-México, integrado por especialistas en el tema.
Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dictaminador India

Dr. Srinivas Godavarthi

Universidad de Andhra

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

Dictaminadores México

Dr. José Gilberto Torres Torres

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Juan Carlos Arévalo Pérez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dr. Adib Abiu Silahua Pavón

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Aída Dinorah García Álvarez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Aransazú Avalos Díaz

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Dra. Selene Peña Ramos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

Mtra. Laura Elena Herrera Jiménez

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Dr. Ramón Ramón Castillo

Universidad Tecnológica de Tabasco

Dra. Zenaida Guerra Que

Instituto Tecnológico de Villahermosa (ITVH).

Energía, alimentación e innovación empresarial para la sustentabilidad.

Lenin Martínez Pérez

Jorge Rebollo Meza

Rosario del Carmen Suárez Jiménez

Domingo Román Guillén

Laura González González

ÍNDICE

Prólogo / Lenin Martínez Pérez.....	8
--	----------

Capítulo I.

El huerto de traspatio; una experiencia universitaria para el bienestar social y soberanía alimentaria

<i>Domingo Román Guillén, Laura González González, Rosario del Carmen Suárez Jiménez, Jorge Rebollo Meza y Aída Dinorah García Álvarez.....</i>	9
--	----------

Capítulo II.

Caracterización Físicoquímica y Propiedad Fitoquímica de la Harina de Zapote de Agua (Pachira Aquatica), con Fines de Uso en la Panificación

<i>Yeinmi Karelly Ávalos Díaz, Viridiana Olvera Hernández, Jorge Luis Blé Castillo y Josafat Alberto Hernández Becerra.....</i>	24
--	-----------

Capítulo III.

Evaluación sensorial de una carne para hamburguesa utilizando carne de búfalo (bubalus bubalis).

<i>Franco Lucio Ruíz Santiago, Josafat Alberto Hernández Becerra y Rafael García Jiménez.....</i>	39
--	-----------

Capítulo IV.

Galletas elaboradas con harina de lenteja (Lens culinaris) y harina de garbanzo (Cicer arietinum) Infusión de té elaborada con harina de Moringa Oleífera Lam (Moringance)

<i>Juan Carlos Aguilar Arpaiz, Jesús David Aguilar Estrada y Ninfa María Herrera Sánchez.....</i>	48
--	-----------

Capítulo V.

Modelación de las cinéticas de liberación de aceite esencial de hojas de Pimenta dioica (L.) durante el proceso de hidrodestilación.

<i>Josafat Alberto Hernández Becerra, Angélica Alejandra Ochoa Flores, Mireya Martínez Rodríguez, Luisa Fernanda Jiménez Castellanos y Juan Carlos Aguilar Arpaiz.....</i>	60
---	-----------

Capítulo VI.

Contenido de metilxantinas de nuevos clones y variedades nativas de cacao (theobroma cacao L.) Después de un proceso de fermentación tradicional

<i>Franco Lucio Ruíz Santiago, Facundo Joaquín Márquez Rocha, Pedro García Alamilla, Areli Carrera Lanestosa y Josafat Alberto Hernández Becerra.....</i>	72
--	-----------

Capítulo VII.

Análisis de la implementación de un sistema energético de secado solar de cacao para los productores del programa sembrando vida del estado de tabasco.

<i>Marbella Mendoza Sánchez, Erika Guadalupe May Guillermo y Aracely Celina Sánchez Albores.....</i>	82
---	-----------

Capítulo VIII.

Análisis termodinámico y ambiental de la combustión en vehículos de gasolina adaptados a gas natural.

Ignacio de Jesús Gómez Rosales, Imer López Grijalva, Luisa Fernanda May Álvarez y Dorieamy Esther Estrada Villegas.....94

Capítulo IX.

Eliminación de bisfenol A en agua a través de una nueva nanoplateforma de biofotocatalizadores basada en enzimas lacasa y nanoestructuras de titanio.

Raúl García Morales, Andrés Zarate Romero y José Gilberto Torres Torres.....110

Capítulo X.

Fotocatalizadores TiO₂-ZnO dopados con Eu: Efecto de la procedencia de la luz en la conversión y selectividad a CO₂ en la degradación del DBSS

Sadie Naomi Blé Lezama, Juan Carlos Arévalo Pérez y José Gilberto Torres Torres...122

Capítulo XI.

Potencial energético teórico de residuos agroindustriales de Jalisco.

Anahí Arreaga Cancino, José Yovany Galindo Díaz e Irving Geovanny Zúñiga Santiz.....135

Capítulo XII.

Puesta en marcha del laboratorio de hidrógeno verde en la Universidad Tecnológica de Puebla

Avelina García Sánchez, Juan Pedro Cervantes de la Rosa y Jaime Luna Aguirre.....147

Capítulo XIII.

El impacto sostenible del ferrocarril de pasajeros en el sureste de México

Julio César Vergara Vázquez, Luis Alberto Baltazar Tadeo, Ulises Maza Nájera y Quirino Estrada Barbosa.....165

Capítulo XIV.

Mejoras en Poleas de Gancho Transportador de Racimos de Plátanos

José García de la Cruz, Franco Lucio Ruíz Santiago, Josafat Alberto Hernández Becerra y Patricia Guzmán Echeverría.....179

Capítulo XV.

Teapa como productor de plátano en el sureste mexicano.

María del Rosario García Vázquez, Maricela Utrilla Díaz y Jonás Hernández Velasco.....191

Capítulo XVI.

Factores organizacionales que contribuyen al desarrollo sustentable en las mipymes en el estado de México

Blanca Estela Hernández Bonilla, Verónica Ramírez Cortés y Sendy Janet Sandoval Trujillo.....201

Capítulo XVII.

Viabilidad del Nearshoring en la economía de Tabasco: Una aproximación teórica

Concepción Cáceres Ruíz, Norma Angélica Hernández Gómez y Ricardo Amado Moheno Barrueta.....222

Capítulo XVIII.

Gestión sostenible del capital de trabajo

Montserrat Romero Sánchez, Rosa Isela Solorzano Rivera y Norma Angélica Hernández Gómez.....242

Capítulo XIX.

La contabilidad gubernamental en México y Tabasco como instrumento de sostenibilidad: revisión bibliográfica y perspectivas regionales

Ricardo Maglioni Montalvo y Luis Arturo Vázquez Cuj.....258

Capítulo XX.

La inclusión financiera como herramienta para el desarrollo sostenible en México

Verónica Ramírez Cortés, Sendy Janet Sandoval Trujillo y Blanca Estela Hernández Bonilla.....270

Capítulo XXI.

Las mipymes: motor de la economía mexicana

Ana Ruth Ulloa Pimienta, Rosa del Carmen Sánchez Trinidad y Aurora Ramírez Meneses.....297

PRÓLOGO

En un mundo cada vez más interconectado, donde los desafíos ambientales y sociales se presentan con urgencia, surge la necesidad de repensar nuestras estrategias en torno a la energía, la alimentación y la innovación empresarial. Este libro, titulado *Energía, Alimentación e Innovación Empresarial para la Sustentabilidad*, se adentra en el corazón de estas problemáticas, ofreciendo una revisión de enfoques y perspectivas que son fundamentales para la construcción de sociedades más sostenibles y resilientes.

La interdependencia entre energía y alimentación es clara: la producción de alimentos exige altos niveles de energía, y contar con fuentes energéticas adecuadas es clave para optimizar los procesos agrícolas. En este contexto, la innovación se convierte en el motor de la sustentabilidad. Este libro muestra cómo las nuevas tecnologías y prácticas innovadoras mejoran la eficiencia en la cadena alimentaria y en el uso de energía. Desde ingredientes agrícolas alternativos como harinas de zapote, lenteja, garbanzo y carne de búfalo hasta sistemas de secado solar para cacao, cada capítulo evidencia cómo la creatividad impulsa soluciones sostenibles.

El recorrido a través de las 20 contribuciones que componen este volumen nos ofrece un panorama diverso y enriquecedor. Cada capítulo aborda un aspecto particular que, en conjunto, revela el potencial transformador del enfoque innovador en el ámbito empresarial, agrícola e industrial. Nos confronta también con la realidad de que, si bien los retos son grandes, las soluciones son cada vez más accesibles gracias a la investigación y al compromiso de académicos, emprendedores e instituciones.

Al leer estas páginas, el lector encontrará no solo un análisis profundo de los temas tratados, sino también inspiración para adoptar prácticas que promuevan la eficiencia de recursos y la reducción del impacto ambiental en sus propias comunidades. Este libro no solo es un llamado a la acción, sino también un testimonio de que mediante la innovación y la colaboración podemos allanar el camino hacia un futuro más sostenible. La energía, la alimentación y la innovación empresarial no son caminos separados, sino un viaje conjunto hacia un objetivo común: construir un mundo donde las necesidades actuales se satisfacen sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Así, invita al lector a sumergirse en este compendio de saberes y experiencias, donde cada capítulo es un paso hacia la comprensión y la implementación de soluciones prácticas y efectivas para los desafíos que enfrentamos en el ámbito de la energía y la alimentación, todo bajo la premisa de la innovación como la clave para la sustentabilidad.

LENIN MARTÍNEZ PÉREZ

Capítulo I

EL HUERTO DE TRASPATIO; UNA EXPERIENCIA UNIVERSITARIA PARA EL BIENESTAR SOCIAL Y SOBERANÍA ALIMENTARIA

Domingo Román Guillén
Laura González González
Rosario del Carmen Suárez Jiménez
Jorge Rebollo Meza
Aída Dinorah García Álvarez

RESUMEN

La formación de estudiantes tiene como finalidad lograr cambios actitudinales, dichas transformaciones deben estar relacionadas con mejorar el entorno. Desde una mirada de la transversalidad del currículo; el principio de sustentabilidad debe ser un eje rector para alcanzar esas nuevas formas de vida. En este sentido, en el presente estudio se aplicaron principios de la fenomenología e investigación acción analizando las experiencias educativas de estudiantes que cursaron la asignatura de Derechos humanos, sociedad y medio ambiente de las Licenciaturas que imparte la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, que presentaron como evidencia final la implementación de un huerto realizándose durante la totalidad del curso. Es de vital importancia que los estudiantes generen el aprendizaje aplicando saberes conceptuales, herramientas y técnicas, pero sobre todo lograr la metacognición (reflexión de lo que sabían, aprendieron y falta por aprender). Por lo anterior, se inició con un diagnóstico del entorno comprendiendo que, todo ciudadano puede ejercer el derecho a un medio ambiente con responsabilidad social, en dicha experiencia educativa se determinó especies endémicas de la región y aquellas que se utilizan cotidianamente en su hogar para establecer una estrategia que permitiera durante la duración del curso demostrar el cuidado y crecimiento de estas, para el aprovechamiento en el hogar. Finalmente, después de todo el proceso se elaboró un portafolio de evidencias que dio cuenta del desarrollo de esta actividad, pero sobre todo demostrar la posibilidad del éxito del proyecto y el impacto positivo que puede tener en la familia y comunidad, generando la producción alimentos, salud y economía doméstica.

Palabras clave: Huerto de traspatio, sustentabilidad, metacognición.

Introducción

El proyecto “El huerto de traspatio: una experiencia universitaria para el bienestar social y soberanía alimentaria” representa una iniciativa formativa que busca integrar el conocimiento teórico con la práctica comunitaria dentro del marco de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente. En un contexto global marcado por el deterioro ambiental, la pérdida de biodiversidad, la inseguridad alimentaria y las crecientes desigualdades sociales, se vuelve indispensable que las instituciones educativas desarrollen estrategias pedagógicas que permitan a los estudiantes comprender estas problemáticas desde una perspectiva crítica, responsable y participativa.

El huerto de traspatio surge como una respuesta concreta ante la necesidad de vincular la educación con acciones de sostenibilidad y bienestar social. A través de esta experiencia, las y los estudiantes tuvieron la oportunidad de explorar los principios básicos de la agroecología, el uso consciente de los recursos naturales, la producción de alimentos saludables y la construcción de espacios comunitarios que fortalecen la autonomía y la resiliencia. Además, este proyecto permitió reflexionar sobre el derecho humano a un medio ambiente sano y la importancia de promover prácticas que garanticen la salud, la alimentación adecuada y el respeto por la naturaleza.

Este tipo de iniciativas universitarias no solamente contribuyen al aprendizaje técnico, sino que también fomentan actitudes éticas y valores esenciales como la cooperación en la familia, la responsabilidad social, la solidaridad y el compromiso con el entorno. El huerto de traspatio se convirtió así en un laboratorio vivo donde la teoría cobró sentido a través de la acción, permitiendo a los estudiantes comprender que los derechos humanos no son principios abstractos, sino realidades concretas que se construyen día a día mediante prácticas sostenibles y comunitarias.

En este sentido, se analizan los procesos, aprendizajes y resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del huerto en cada uno de los hogares de los estudiantes, así como su impacto pedagógico y social dentro del contexto universitario. La experiencia no solo enriqueció la

formación académica de los participantes, sino que también demostró que pequeñas iniciativas impulsadas desde el ámbito educativo pueden generar cambios significativos tanto en la conciencia individual como en el bienestar colectivo.

DESARROLLO

La educación juega un rol fundamental para crear conciencia y preparar a las futuras generaciones para tomar decisiones informadas y responsables. Las perspectivas de sustentabilidad, que integran la dimensión ambiental, social y económica, también nos ayudan a repensar el desarrollo y a construir modelos más equilibrados y resilientes.

Para enfrentar los retos globales del siglo XXI, desde el cambio climático hasta la conservación de los recursos naturales y la equidad social. Es por ello, que la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco [UJAT] incluye un grupo de asignaturas institucionales en sus planes de estudio como parte fundamental del Área de Formación General con el propósito de fortalecer la formación integral de todos sus estudiantes (UJAT, 2005), incluida dentro de ellas la asignatura de derechos humanos, sociedad y medio ambiente (figura 1).

Figura 1. *Asignaturas Institucionales de la UJAT.*



Nota: Elaboración propia

La inclusión de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente en los planes y programas de estudio de la UJAT es esencial para formar profesionales con una visión ética, crítica y comprometida con su entorno. En la actualidad, los desafíos sociales y ambientales exigen que los estudiantes comprendan la importancia de garantizar el respeto a la dignidad

humana y de actuar de manera responsable frente a los problemas que afectan a sus comunidades.

Organismos internacionales como la UNESCO destacan que la educación debe promover el desarrollo sostenible, la justicia social y la cultura de paz, ya que estos elementos son clave para la formación ciudadana y para la transformación positiva de la sociedad (UNESCO, 2015). Al incorporar esta asignatura, la UJAT refuerza su compromiso con una educación integral que favorezca la reflexión, la responsabilidad social y la participación en la búsqueda de soluciones a los retos contemporáneos.

Es por ello que, como parte de esta asignatura se diseñó como proyecto integrador realizar “Un huerto de traspatio; una experiencia universitaria para el bienestar social y soberanía alimentaria”, el cual se estructuró a partir de la finalidad de cumplir con el propósito de la asignatura de manera participativa y que integrara conocimientos teóricos y prácticas ambientales sostenibles, favoreciendo la economía familiar y fortaleciendo el vínculo entre los derechos humanos, el medio ambiente y el bienestar social. Fundamentándose en que, el derecho a un ambiente sano es indispensable para el ejercicio pleno de otros derechos fundamentales, como la alimentación, la salud y la vida digna (figura 2).

Tal como señala la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas, “la protección del medio ambiente es una condición previa para el disfrute de los derechos humanos” (ONU, 2018). Por ello, en la tabla 1 se compara la concordancia entre el propósito de la asignatura, la idea del proyecto propuesto y el contenido (figura 3).

Figura 2. *Asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente.*

Propósito de la asignatura	Propuesta para cumplir con el propósito de la asignatura
Analizar la problemática ambiental, reconociendo a los derechos humanos como un marco conceptual necesario dentro de la formación social del profesionista de la UJAT que le permita enmarcar diversos problemas del mundo contemporáneo, en su relación con la disciplina objeto de sus estudios universitarios.	Proyecto huerto de traspatio que le permitió al estudiante analizar la problemática ambiental desde tres dimensiones del desarrollo sustentable: Ambiental, social y económico; y cómo desde su individualidad puede aportar y participar en actividades relacionadas con el cuidado del medio ambiente.

Nota: En la tabla se compara la concordancia del propósito de la asignatura con el proyecto del huerto de traspatio. Elaboración Propia.

Figura 3. Contenido de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente



Nota: Se muestran las unidades y sus contenidos de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente que demuestran la pertinencia del proyecto. Elaboración Propia.

En el ámbito educativo, la realización de este proyecto se argumentó a través de lecturas y discusiones sobre la importancia de promover modelos de aprendizaje que involucren activamente a los estudiantes en la comprensión de los problemas socioambientales. Freire (1970) sostiene que la educación debe ser un acto liberador que permita al estudiante tomar conciencia crítica de su realidad y transformarla mediante la acción. Bajo esta lógica, el proyecto del huerto no se planteó únicamente como una actividad práctica, sino como una oportunidad para desarrollar pensamiento crítico y sentido de responsabilidad social (figura 4).

Figura 4. Principios pedagógicos.



Nota: Describe aspectos pedagógicos claves para la aplicación del proyecto.

Se inició con un diagnóstico del entorno comprendiendo que, todo ciudadano puede ejercer el derecho a un medio ambiente con responsabilidad social, en dicha actividad se determinó especies endémicas de la región y aquellas que se utilizan cotidianamente en su hogar para establecer una estrategia que permitiera durante el desarrollo del curso demostrar el cuidado y crecimiento de estas, logrando con esto la implementación. Finalmente, después de todo el proceso se elaboró un portafolio de evidencias que dio cuenta de esta experiencia, pero sobre todo demostrar la posibilidad del éxito del proyecto y el impacto positivo que puede tener en la familia y comunidad, generando la producción alimentos, salud y economía doméstica. El proceso de enseñanza-aprendizaje se llevó a cabo de manera virtual, realizándose con la participación de dos grupos: AUVIRT5 con 21 integrantes y el AUVIRT6 con 23 estudiantes inscritos; una de las características más relevantes de estos grupos fue la multidisciplinariedad que la asignatura albergaba, ya que al ubicarse esta en el Área de Formación General contaba con alumnos de diferentes divisiones académicas donde se imparten diversas carreras. Esto permitió diversos puntos de vistas, desde pensamientos críticos de variadas perspectivas en cuanto a formas y estrategias para cultivar y mirar el

medio ambiente, de acuerdo con la formación de cada estudiante y su relación con la disciplina que estudia (figura 5).

Figura 5. Planes de estudio participantes en los grupos AUVIRT5 y AUVIRT6.

Grupos	Divisiones Académicas	Carreras/Plan	Cantidad de alumnos
AUVIRT5	De Educación y Artes	Licenciatura en Comunicación	1
	De Ingeniería y Arquitectura (DAIA)	Ingeniería Química	7
		Ingeniería Eléctrica Electrónica	3
	De Ciencias Agropecuaria (DACA)	Médico Veterinario Zootecnista	3
	De Ciencias Económico Administrativas (DACEA)	Licenciatura en Contaduría Pública	5
	De Ciencias y Tecnologías de la Comunicación (DACYT)	Ingeniería en Sistemas Computacionales	2
TOTAL			21
AUVIRT6	De Ciencias Agropecuaria (DACA)	Médico Veterinario Zootecnista	3
	De Ingeniería y Arquitectura (DAIA)	Ingeniería Química	8
		Ingeniería Eléctrica Electrónica	3
	De Ciencias y Tecnologías de la Comunicación (DACYT)	Ingeniería en Sistemas Computacionales	5
	De Ciencias Sociales y Humanidades (DACS YH)	Licenciatura en derecho	2
	De Ciencias Económico Administrativas (DACEA)	Licenciatura en Mercadotecnia	1
TOTAL			23

Nota: En la figura se puede notar las divisiones académicas, carreras y el total de alumnos matriculados que conformaban cada grupo. Elaboración propia.

La primera fase del desarrollo del proyecto consistió en la planeación del huerto. Para lo anterior, se analizaron las características del espacio disponible, las condiciones climáticas y las especies adecuadas para su cultivo. Se tomaron como referencia los principios de la agroecología, una disciplina que promueve sistemas agrícolas sostenibles basados en la diversidad biológica, el uso responsable de los recursos y el respeto por los ciclos naturales (Altieri, 1999). Durante esta fase, los estudiantes trabajaron de manera colaborativa para definir el diseño del huerto, elaborar listas de materiales reciclables y organizar roles dentro de su grupo familiar.

La etapa práctica comenzó con la preparación del terreno, el acondicionamiento del espacio y la instalación de áreas de cultivo. Este proceso fue esencial para que los participantes experimentaran directamente los desafíos del manejo agrícola, como la conservación del suelo, el control natural de plagas y el riego eficiente. Según Caporal y Costabeber (2002),

el aprendizaje práctico en agroecología contribuye a la construcción de capacidades técnicas, pero también fortalece la comprensión del impacto social y ecológico de la agricultura sustentable (figura 6).

Figura 6. Fase inicial del proyecto Huerto de traspatio



Nota: En la fase 1 se describe el proceso que siguieron los alumnos desde la elección hasta ubicar el área para hacer la plantación.

Durante esta primera etapa lo crucial para los alumnos era encontrar un espacio pertinente para plantar ya fueran en macetas o directo a la tierra (figura 7).

Figura 7. Limpieza del área a sembrar o ubicación del macetero.



Nota: Se escogió un espacio del patio para iniciar el proyecto o quienes no tenían un patio de tierra lo llevaron a cabo en maceteros.

Durante el mantenimiento del huerto, el grupo llevó registros de crecimiento, humedad, iluminación y salud de las plantas, aplicando métodos básicos de observación científica. Esta dinámica favoreció el desarrollo de competencias como la resolución de problemas, la toma de decisiones y el trabajo colaborativo (figura 8). Además, se generó un espacio de

convivencia y bienestar emocional: diversos estudios han demostrado que el contacto con la naturaleza reduce el estrés, mejora el estado de ánimo y promueve la cohesión social (Pretty, 2004).

Figura 8. Fase 2 del proyecto huerto de traspatio.



Nota: En esta fase se detalla el proceso para realizar el inventario de la plantación realizada y que se tendría que llevar semana a semana para la vigilancia de crecimiento y cuidados de esta. Elaboración propia.

Finalmente, el proyecto culminó con una etapa de evaluación participativa donde se analizaron los aprendizajes obtenidos, las dificultades enfrentadas y el impacto del huerto tanto en el grupo como en el entorno. Se discutió de qué manera la experiencia contribuyó a fortalecer la comprensión del derecho a un ambiente sano, así como la importancia de adoptar prácticas sostenibles en la vida cotidiana (figura 9). Este proceso coincidió con lo planteado por Leal y Silva (2017), quienes destacan que los proyectos ambientales en educación superior permiten consolidar una conciencia ecológica que trasciende el aula y se convierte en compromiso cívico.

Figura 9. Fase 3 del proyecto huerto de traspatio



Nota: En esta fase se concluyó con el proyecto generando en el alumno un pensamiento crítico y reflexivo a cerca de los objetivos alcanzados o no alcanzados, así como las experiencias obtenidas o beneficios para sus familias o comunidad. Elaboración propia.

En suma, el desarrollo del huerto de traspatio representó un proceso integral que combinó teoría, práctica, reflexión crítica y participación comunitaria, reafirmando que la educación ambiental es una herramienta clave para el bienestar social y la defensa de los derechos humanos.

MÉTODO

En el presente estudio se aplicaron principios metodológicos propios de la fenomenología y de la investigación-acción, con el propósito de comprender en profundidad las experiencias educativas vividas por los estudiantes durante el desarrollo de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente. Este enfoque permitió no solo observar y analizar los fenómenos desde la perspectiva de quienes los experimentan, como señalan Husserl (1936) y van Manen (1990) en sus bases fenomenológicas, sino también promover una intervención reflexiva y participativa que contribuyera a la transformación del proceso educativo y social.

La investigación se centró en las vivencias y percepciones de estudiantes de diversas licenciaturas impartidas en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, quienes, como parte de la evaluación final del curso, implementaron un huerto de traspatio en sus casas. Esta

actividad práctica se llevó a cabo a lo largo de toda la duración del semestre, constituyendo un eje central para la integración de conocimientos teóricos con acciones concretas orientadas al bienestar social y la sostenibilidad ambiental.

A través de la fenomenología, se buscó captar la esencia y significado de la experiencia del huerto desde la voz de los participantes, recogiendo sus impresiones, desafíos, aprendizajes y reflexiones mediante la técnica cualitativa de grupos focales (Sampieri et al. 2014). Simultáneamente, la investigación-acción facilitó un proceso dinámico donde estudiantes e investigadores colaboraron en la planificación, ejecución y evaluación del huerto, siguiendo la lógica cíclica propuesta por Kemmis y McTaggart (1988), lo que permitió generar un conocimiento situado y una práctica educativa transformadora.

Este doble enfoque metodológico permitió obtener una comprensión holística del impacto educativo, social y ambiental del proyecto, evidenciando cómo la implementación del huerto de traspatio favoreció el desarrollo de competencias técnicas, valores éticos y un compromiso activo con la defensa de los derechos humanos y el medio ambiente.

RESULTADOS

En el desarrollo del proyecto “El huerto de traspatio: una experiencia universitaria para el bienestar social y soberanía alimentaria”, participaron dos grupos universitarios denominados AUVIRT5 y AUVIRT6, con una tasa de participación de 18 de 21 y 20 de 23 estudiantes, respectivamente, lo que representa una alta involucración en la actividad práctica.

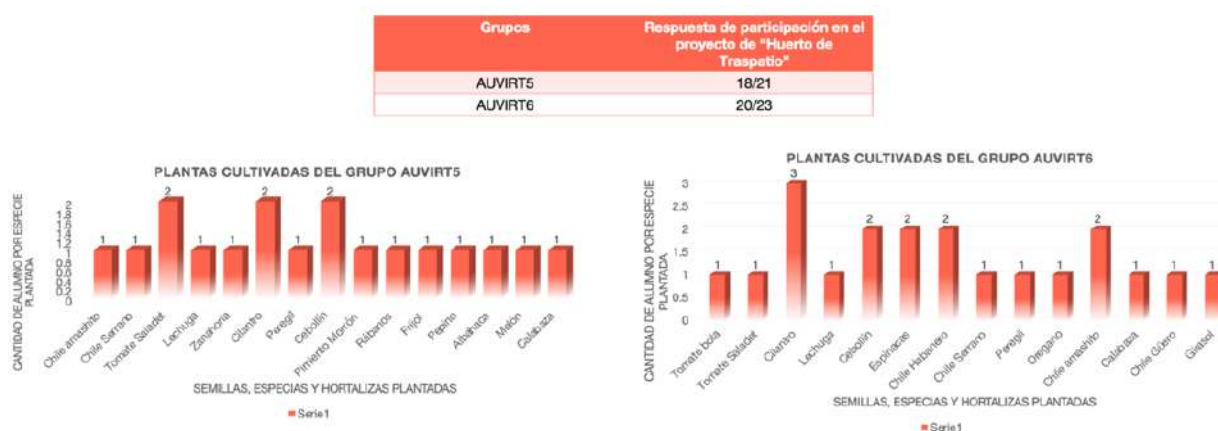
Ambos grupos cultivaron una variedad significativa de semillas, especies y hortalizas, demostrando interés y compromiso en la producción de alimentos saludables. En el grupo AUVIRT5, las plantas más sembradas por alumno fueron tomate saladet, cilantro y cebollín, con una participación de 2 alumnos. Por otro lado, especies como chile amashito, chile serrano, pimienta morrón, lechuga, zanahoria, rábanos, frijol, albahaca, melón, calabaza y perejil, por lo menos un alumno decidió incluirlas en su huerto. Este grupo mostró una

diversidad en las especies cultivadas, abarcando tanto hortalizas de hoja como raíces y hierbas aromáticas, favoreciendo un huerto equilibrado y diverso.

Por su parte, el grupo AUVIRT6 destacó por plantar en mayor cantidad cilantro con una frecuencia en las plantaciones de 3 alumnos del grupo, seguido por cebollín, espinacas, chile habanero y chile amashito con 2 alumnos del grupo por cada especie mencionada. Además, cultivaron una variedad similar de especies, incluyendo chile serrano, tomate bolo, tomate saladet, orégano, lechuga, calabaza, chile güero, perejil y girasol. Este grupo evidenció una preferencia hacia plantas de rápido crecimiento y alto valor nutricional, buscando optimizar la producción y el aprovechamiento del espacio, (figura 8).

En general, ambos grupos coincidieron en cultivar especies clave para la alimentación diaria, como tomates, lechugas, chiles y hierbas aromáticas, demostrando la relevancia de estas plantas para la soberanía alimentaria. La diversidad de especies plantadas indica una comprensión integral de la agroecología y la importancia de mantener la biodiversidad en los huertos de traspatio. Estos resultados demuestran la participación y el compromiso de las y los estudiantes con la iniciativa, así como la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente, vinculando teoría y práctica para contribuir al bienestar social a través de la producción local de alimentos.

Figura 8. *Nivel de participación de los alumnos en el proyecto.*



Nota: Los gráficos muestran el resultado en cuanto a la participación de los alumnos por cultivo, grupo y número de participantes (manera individual). Elaboración propia.

Los alumnos se mostraron muy entusiasmados con la realización del proyecto, los padres de familias colaboraron con ellos, y al finalizar el curso, la cosecha de los cultivos de corto tiempo fueron los que se consumieron en el hogar como por ejemplo el cilantro, el chile amashito, el chile habanero y tomates.

CONCLUSIONES

El proyecto “El huerto de traspatio: una experiencia universitaria para el bienestar social y soberanía alimentaria” reafirmó que la integración de prácticas agroecológicas dentro del ámbito universitario constituye una estrategia formativa efectiva para promover el bienestar social, la sustentabilidad y la conciencia ambiental. A través de esta experiencia, las y los estudiantes lograron comprender que el derecho a un medio ambiente sano y el acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos forman parte fundamental de los derechos humanos y de la dignidad de las personas.

El huerto demostró ser un espacio pedagógico vivo, donde se unieron conocimientos teóricos de la asignatura Derechos Humanos, Sociedad y Medio Ambiente con actividades prácticas que fortalecieron la responsabilidad, la reflexión crítica y el compromiso con el entorno. La participación directa en la siembra, el cuidado y la observación del crecimiento de los cultivos permitió que los estudiantes interiorizaran conceptos clave de sostenibilidad, manejo de recursos, biodiversidad y soberanía alimentaria, entendida esta como la capacidad de las comunidades para decidir y gestionar sus propios sistemas de producción y consumo de alimentos.

Asimismo, el proyecto fomentó el desarrollo de habilidades esenciales como el trabajo colaborativo, la resolución de problemas y la toma de decisiones conscientes, mientras que en el ámbito emocional fortaleció el sentido de comunidad, el bienestar personal y la conexión con la naturaleza. El huerto se consolidó como un espacio de convivencia activa y aprendizaje significativo, capaz de generar cambios positivos tanto en la perspectiva ambiental como en la práctica cotidiana de quienes participaron.

En conjunto, este proyecto no solo cumplió con los objetivos educativos planteados, sino que también evidenció el potencial de los huertos de traspatio como herramientas

transformadoras para construir sociedades más sostenibles, solidarias y autónomas. La experiencia subraya la importancia de seguir impulsando iniciativas que integren la formación académica con acciones de soberanía alimentaria, dado que estas contribuyen directamente al fortalecimiento del bienestar social y a la creación de entornos más justos, resilientes y conscientes.

PROPUESTAS

- *Ampliar la participación de estudiantes y docentes de diversas disciplinas.* Fomentar la colaboración interdisciplinaria para enriquecer el proyecto con perspectivas desde la biología, nutrición, psicología, ingeniería, agronomía y ciencias sociales. Esto permitiría desarrollar actividades más completas y con mayor impacto comunitario.
- *Crear talleres y jornadas comunitarias de capacitación.* Ofrecer talleres abiertos a la comunidad universitaria y al público externo sobre agroecología, compostaje, reciclaje, manejo eficiente del agua y soberanía alimentaria, con la finalidad de difundir conocimientos prácticos y promover hábitos sostenibles.
- *Diseñar materiales educativos y recursos digitales.* Elaborar manuales, infografías, videos y guías prácticas basadas en la experiencia del huerto, para facilitar la réplica del proyecto en casas, escuelas, colonias y comunidades rurales.
- *Establecer vínculos con organizaciones locales y autoridades comunitarias.* Crear alianzas con instituciones públicas, asociaciones civiles y colectivos ambientales para fortalecer redes de apoyo, acceder a recursos y llevar el aprendizaje a otros entornos donde se necesite promover la soberanía alimentaria.
- *Medir el impacto social, ambiental y formativo del proyecto.* Desarrollar un sistema de evaluación continua que permita analizar el crecimiento del huerto, la participación estudiantil, los beneficios sociales y la calidad del aprendizaje, con el propósito de mejorar la planeación y demostrar los resultados del proyecto.
- *Integrar el huerto en actividades de bienestar emocional.* Aprovechar el espacio como un recurso para sesiones de manejo de estrés, actividades recreativas, terapias grupales y programas de salud mental, dado que el contacto con la naturaleza tiene efectos positivos en el bienestar psicológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan.
- Caporal, F. R., y Costabeber, J. A. (2002). *Agroecología y desarrollo rural sostenible*. Universidad Federal de Río Grande del Sur.
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI.
- Husserl, E. (1936). *La crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental*.
- Kemmis, S., y McTaggart, R. (1988). *The Action Research Planner*. Deakin University Press.
- Modelo Educativo (2005). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. https://archivos.ujat.mx/abogado_gral/legislacion_univ2012/MODELO%20EDUCATIVO.pdf
- Leal, M., y Silva, J. (2017). Educación ambiental en la universidad: experiencias para la sostenibilidad. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73(2), 89–104.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2018). *Derechos humanos y medio ambiente: informe anual*. Alto Comisionado de las Naciones Unidas.
- Pretty, J. (2004). How nature contributes to mental and physical health. *Ecological Economics*, 49(3), 273–291.
- Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- UNESCO. (2015). *Education 2030: Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4*. UNESCO.
- Van Manen, M. (1990). *Researching Lived Experience: Human Science for an Action Sensitive Pedagogy*. SUNY Press.

Capítulo II

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y PROPIEDAD FITOQUÍMICA DE LA HARINA DE ZAPOTE DE AGUA (PACHIRA AQUATICA), CON FINES DE USO EN LA PANIFICACIÓN

Yeinmi Karelly Ávalos Díaz
Viridiana Olvera Hernández
Jorge Luis Blé Castillo
Josafat Alberto Hernández Becerra

RESUMEN

Se han reportado estudios que el Zapote de agua presenta propiedades que permiten su uso en diversos productos como confitería, panadería y aceites. Sin embargo, no hay antecedentes que marquen análisis realizados en la harina procedente de *P. acuática*. El objetivo del presente trabajo consistió en elaborar harina a base del fruto Zapote de Agua, analizando las características físicoquímicas y propiedades fitoquímicas con fines de uso en la panificación. Se realizó el análisis a las harinas de pulpa y harina de semilla del fruto, el análisis de las características físicoquímicas consistió en determinar el contenido de humedad establecido por la NOM-116-SSA1-1994, proteína por la NMX-F-608-NORMEX-2011, grasa por la AOAC 996.06 (2002), fibra la NOM-086-SSA1-1994, ceniza por la NMX-F-607-NORMEX-2013, azúcares reductores directos y totales, sodio y potasio por la NOM-086-SSA1-1994. Para el análisis de las propiedades fitoquímicas se determinó el contenido de fenoles solubles totales y flavonoides totales por el método de Moo-Huchin et al. (2015). Teniendo como resultado, en la harina de semilla en características físicoquímicas: 8.75% de humedad, 6.34% de proteínas, 37.51% de grasa, 36.01% de fibra, 3.99% de ceniza, 1.97% de azúcares directos, 2.46% de azúcares totales, 165.39% de sodio y 135.01% de potasio; en características fitoquímicas: 2,499.29 mgEQ de fenoles y 342.19 mgEQ. de flavonoides. En la pulpa, en características físicoquímicas: 8.29% de humedad, 6.29% de proteína, 11.29% de grasa, 72.01 de fibra, 9.25% de ceniza, 16.40% de azucares directos, 13.43% de azucares totales, 91.57% de sodio y 187.43% de potasio; en características fitoquímicas: 3,953.58

mgEQ de fenoles y 354.91mgEQ de flavonoides. La harina es adecuada para uso-consumo, la prueba es la elaboración de una galleta.

Palabras clave: Pachira aquatica, características fisicoquímicas y propiedades fitoquímicas.

Introducción

La harina es el producto obtenido de la molienda del grano de cereal que conserva la cáscara y sus otros constituyentes en una proporción relativa similar a la del grano intacto original, lográndose esto ya sea de manera natural o por medios tecnológicos (SSA, 2008).

La harina es un producto antiguo cuyos orígenes se remontan en la Prehistoria cuando se comienzan a moler semillas entre dos piedras. Posteriormente en el 60 a.C., fueron los romanos quienes perfeccionaron esta técnica mediante el uso de molinos hidráulicos. En la actualidad, la harina se produce en fábricas que cuentan con una variedad de máquinas que facilitan su elaboración (Carrero y Rodríguez, 2020).

Existen diferentes tipos de harinas a base de diferentes cereales, legumbres, semillas, tubérculos y cualquier otro alimento que sea o no rico en almidón; como trigo, cebada, arroz, maíz, centeno, avena, almendra, garbanzos y yuca. Todos con características y propiedades diferente (Medina, 2022).

Las harinas alternativas son provenientes de fuente distintas a los cereales tradicionales, como el trigo. Pueden derivarse de vegetales, tubérculos, semillas o frutas, tienen potenciales beneficios nutricionales y funcionales, como la presencia de antioxidantes, fibra y proteínas. Por ejemplo: la harina de pulpa y semilla de Zapote de agua.

Pachira aquatica es un árbol originario de México, que se encuentra principalmente en la región amazónica, cerca de arroyos y ríos, lo que dio lugar a su nombre científico. (Costa et al., 2023).

El informe de clasificación sobre P. aquatica se recuperó de la Base de Datos de Plantas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of agriculture [NRCS-USDA], s.f.)

- Reino: Plantae.
- Subreino: Tracheobionta.
- Superdivisión: Spermatophyta.
- División: Magnoliophyta.
- Clase: Magnoliopsida.
- Subclase: Dilleniidae.
- Orden: Malvales.
- Familia: Bombacaceae.
- Género: *Pachira* Aubl.
- Especie: *Pachira aquatica* Aubl.

Es originaria de las regiones tropicales de América y se distribuye desde el sur de México (golfo de México), Belice y Guatemala hasta Panamá y Sudamérica (Guyana y Brasil).

En el 2021 se realizó un estudio con el objetivo de analizar la composición nutricional y las aplicaciones actuales de la planta *Pachira aquatica* Aubl. De esta se hizo análisis en la semilla, teniendo resultados en los análisis proximal y propiedades fisicoquímicas lo siguiente: humedad 3.47 – 5.55 %, lípidos 38.39 – 53.90 %, proteínas 11.47 – 16.90 %, carbohidratos 25.83 – 41.60 %, ceniza 3.7 – 7.49 %, fibra cruda total 12.38 – 17.75 %, almidón 9.7 %, pH 5.66 – 6.69 %, °Brix 21.33 – 24 %. Vitaminas (mg/100g); ácido ascórbico 5.20 – 25.4 mg, vitamina A (UI) 1300 mg, niacina 4.02 mg. Minerales (mg/100g); calcio 55.89 – 158.38 mg, hierro 0.44 – 4.0 mg, fósforo 302.3 mg, potasio 700 – 1461.84 mg, sodio 1.14 – 76.1 mg, magnesio 87.53 – 303.99 mg, manganeso 0.20 – 1.01 mg, zinc 0.99 – 2.58 mg, cobre 0.75 – 2.26 mg. Compuestos fenólicos (µg/g); galocatequina 1.08 µg, quercetina 0.34 µg, ácido protocatecuico 4.17 µg, ácido 4-hidroxibenzoico 118.88 µg, ácido gentísico 1.05 µg, ácido clorogénico 58.82 µg, ácido cafeico 445.54 µg y ácido p-cumárico 26.33 µg (Pereira-Rodrigues y Pastore, 2021).

Según el estudio realizado sus propiedades funcionales permiten su uso en diversos productos como confitería, panadería, aceites y biocombustibles. Además, las hojas y flores se pueden utilizar y consumir de la misma forma que otras verduras, y las hojas, ramas y raíces se

pueden utilizar en el tratamiento de la urticaria, la diabetes y otros fines terapéuticos (Costa et al., 2023).

Sin embargo, no hay antecedentes que marquen estudios realizados sobre el análisis de la harina procedente de *P. aquatica*, de manera que el presente protocolo de investigación tiene la finalidad de evaluar y analizar la harina procedente del fruto para emplearlo en la panificación. Elaborar harina de la pulpa y semilla por separado del fruto Zapote de Agua. Analizar las características físicoquímicas y propiedades fitoquímicas en cada harina. Determinar si la harina es apta para panificación.

Teniendo resultados favorables del presente trabajo de investigación se estaría aprovechando el cultivo tradicional del fruto que hay en nuestra región, volviéndolo una planta alimenticia convencional sirviendo como alternativa para la producción agrícola del país y/o estado, y por último sustituir otros tipos de harina por harina de Zapote de agua para beneficio de la población.

DESARROLLO

Materia prima. Se utilizará Zapote de agua que será proporcionado por los campesinos del Poblado Libertad, municipio de Cunduacán Tabasco. Los análisis de este trabajo de investigación se realizarán en el laboratorio de Análisis Especiales de la Universidad Tecnológica de Tabasco y en el laboratorio de Bromatología de la División Académica de Ciencias de la Salud perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Obtención de la harina. El Zapote de agua se lavará con agua para quitar la suciedad, posteriormente se retiró la cascara y se separó la pulpa de la semilla. Se cortará la pulpa en corte bastón de aproximadamente 20 mm de grosor y la semilla en corte Sifflets de aproximadamente 30 mm de grosor. Seguidamente se dejará remojando en una solución de $C_6H_8O_6$ durante 10 min, posteriormente se colocarán en las parillas cubiertas de papel aluminio de la estufa dejando deshidratar por 24 h a 70 °C. La pulpa y la semilla deshidratada se pulverizarán (High-speed Multi-function Comminutor, FAYLISVOW– 800A) por separado. Para obtener el tamaño de partícula adecuado, la harina se pasará a través de un Tamiz No. 80.

Características fisicoquímicas. Análisis proximal:

Humedad: Se determinará de acuerdo con el método analítico descrito en la NOM-116-SSA1-1994, 2 g de muestra serán colocadas en una capsula de porcelana con arena previamente tarada, posteriormente se colocará dentro de una estufa (Horno de Resistencia Eléctrica, HUMBOLDT - 20GC) por 4 horas a 100°C. El contenido de humedad se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad en \%} = \left(\frac{M2-M3}{M2-M1} \right) \times 100 \text{ Donde:}$$

M1= Peso de la capsula de porcelana con arena previamente tarado (g)

M2= Peso de la capsula de porcelana con arena y muestra húmeda (g)

M3= Peso de la capsula de porcelana con arena y muestra seca (g)

Proteína: Será realizado por el método de Kjendahl-Gunnig-Arnold (Macro) descrito en la NMX-F-608-NORMEX-2002 (NORMEX, 2002), se hará un blanco en forma paralela con las muestras; se pesará 1 g de muestra sobre un papel filtro, posteriormente se colocará el papel filtro con la muestra dentro de un matraz de Kjeldahl, donde se añadirá 8.5 g de mezcla digestora, 25 ml de H₂SO₄ y perlas de ebullición. Se colocará el matraz con la mezcla sobre las parrillas de calentamiento del aparato (Aparato para Destilación, SCORPION SCIENTIFIC - 50300), después que el líquido se transparente se dejará 30 minutos más. Pasado el tiempo se vertirá 300 ml de agua destilada al matraz, 2 granallas de zinc y 90 ml de NaOH al 50% lentamente de manera que se formará dos estratos. Se conectará el matraz a la trampa del aparato y se agitará. Se destilará aproximadamente 250 ml en un matraz que contenía 50 ml de H₃BO₃ al 2% con 5 gotas de rojo metilo. Para la titulación del líquido destilado se utilizará HCl al 0.10 N. El porcentaje de normalidad de la solución de HCL y el contenido de proteína se calculará con las siguientes fórmulas:

$$\%N = \frac{(ml \text{ muestra} - ml \text{ blanco})(meq N)(Normalidad \text{ del HCL})}{Peso \text{ real de la muestra}} \times 100$$

Donde:

ml muestra= ml de HCL gastado en la muestra

ml blanco= ml de HCL gastado en el blanco

meq N= 0.014

Normalidad del HCL= 0.1010

$$\text{Proteína en \%} = (\%N)(F)$$

Donde:

F= Factor de conversión de nitrógeno a proteína: 6.25 para la mayoría de los alimentos

Grasa o extracto etéreo: Para este análisis se realizará con el método de Soxhlet establecido por la AOAC 996.06 (2002), a 2 g de muestra dentro de un cartucho de extracción se le añadirá 2 g de Na₂SO₄ y 2 g de arena de mar homogenizándolo bien y tapándolo con algodón. Después se colocará en un vaso de precipitado e introducirá a la estufa (Horno de Resistencia Eléctrica, HUMBOLDT - 20GC) durante 6 h a 100 °C. Posteriormente se colocará el cartucho en el extractor (Extractor Soxhlet, SCORPION SCIENTIFIC – 50270), en un matraz de Soxhlet previamente tarado se verterá éter de petróleo y se colocará en el equipo. La extracción se realizará durante 4 horas. Terminado la extracción se colocará el matraz dentro de la estufa durante 12 horas a 100°C. El contenido de grasa se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Grasa en \%} = \left(\frac{PG - PB}{PM} \right) (100)$$

Donde:

PG= Peso del matraz con grasa seca en g

PB= Peso del matraz tarado en g

PM= Peso de la muestra en g

Fibra: Se determinará de acuerdo con el método descrito por la NOM-086-SSA1-1994 (SSA, 1994), se realizará un blanco en forma paralela con las muestras para medir cualquier

contribución desde el reactivo al residuo. 1 g de muestra previamente deshidratada, se colocará dentro del vaso de extracción para fibra, se añadirá 50 ml de buffer de PO_4^{3-} a pH 6, para la gelatinización del almidón se adicionará 0.1 ml de α -amilasa, se cubrirá el vaso con una hoja delgada de aluminio y se colocará en baño de ebullición por 30 minutos de 95 – 100 °C. Para la hidrólisis de las proteínas se dejará enfriar a temperatura ambiente los vasos con la muestra, se adicionó 10 ml de solución NaOH a 0.275 N, se agregará 100 μL de solución de proteasa y se incubará (Fibertec, FOSS – 10223) a 60°C por 30 min con agitación continua. Para precipitar la fibra se retirará los vasos del baño, se le añadirá 280 ml de $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ al 95 % v/v y se dejará formar el precipitado a temperatura ambiente durante 1 h. Se pesará 0.5 g de celite en un crisol de filtrado previamente tarado, para la filtración se situará el crisol con celite en el equipo digestor (Fibertec, FOSS – 1023) donde se humedecerá con $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, posteriormente se colocará los frascos con muestra para filtrar, se encenderá la bomba para iniciar la filtración. Se lavará el bote junto con la tapa para no perder muestra con 2 porciones de 10 ml de $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Terminada la filtración, se llevará el crisol con residuo a la estufa a 107 °C por 12 h y se pesará. Posteriormente se colocará en la mufla (Mufla, THERMOLYNE – F30420C) por 5 h a 525 °C y se pesará (Balanza Analítica 0-6 g, SARTORIUS – TE-64). El contenido de fibra se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Fibra en \%} = \left(\frac{(\text{PFyCyPPS} - \text{PFyC}) - (\text{PFyCyCz} - \text{PFyC})}{\text{PM}} \right) (100)$$

Donde:

PFyCyPPS= Peso del filtro con celita y precipitado seco

PFyC= Peso del filtro con celita a peso constante

PFyCyCz= Peso del filtro con celita y ceniza

PM= Peso de la muestra

Ceniza: Se empleará la metodología establecida por la NMX-F-607-NORMEX-2002 (NORMEX, 2002), se pesará 2 g de muestra en un crisol previamente tarado, posteriormente el crisol con muestra se quemará utilizando un mechero (Mechero Busen, LUZEREN - 97-5301) y finalmente se colocará dentro de la mufla (Mufla, THERMOLYNE – F30420C) a 550 °C durante 6 h. El contenido de ceniza se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Ceniza en \%} = (C - A) \times 100 / B$$

Donde:

A= Peso del crisol vacío en g

B= Peso de la muestra en g

C= Peso del crisol con ceniza en g

Azúcares totales

Azúcares reductores directos; determinación que se realizará por el método de la NOM-086-SSA1-1994 (SSA, 1994), se pesará 10 g de muestra en un vaso de precipitado, homogenizando con 100 ml de agua destilada y 5 ml de solución saturada de plomo al 45% p/v en un matraz volumétrico de 250 ml, después de 5 minutos de reposo se añadirá 5 ml de $K_2C_2O_4 \cdot 4H_2O$ al 22% p/p y se aforará con agua destilada. Seguidamente se filtrará, colocando el filtrado en un matraz. Para la titulación se añadirá 5 ml de solución Fehling A, 5 ml de solución Fehling B y 50 ml de agua destilada en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, después se colocará en una parrilla de calentamiento (Parrilla de Calentamiento, FELISA – FE-311). La solución de sacarosa filtrada se verterá en una bureta, después de ebulir la solución del matraz se añadirá la solución de sacarosa con 3 gotas de azul metilo, se mantuvo hirviendo y colocando la solución de sacarosa hasta obtener el cambio de coloración.

Azúcares reductores totales: Determinación que se realizará por el método de la NOM-086-SSA1-1994 (SSA, 1994), se pesarán 10 g de muestra en un vaso de precipitado, homogenizando con 100 ml de agua destilada 5 ml de solución saturada de plomo al 45% p/v en un matraz volumétrico de 250 ml, después de 5 minutos de reposo se añadirá 5 ml de $K_2C_2O_4 \cdot 4H_2O$ al 22% p/p. Seguidamente se filtrará, colocando el filtrado en un matraz volumétrico de 250 ml, se enjuagó el matraz Erlenmeyer y el filtro con 20 ml de agua destilada que fue vertido en el matraz volumétrico. Se colocará 10 ml de HCL concentrado y se llevará a baño (Baño María CTLDO P/Microp, COLE PARMER – 12501-10) por 15 min a 65°C. Posteriormente se colocará 5 gotas de Fenolftaleína al 1% p/v y se neutralizará con NaOH al 20% p/v hasta que la solución cambiara a color rosa y se aforó. Para la titulación se añadirá 5 ml de solución Fehling A, 5 ml de solución Fehling B y 50 ml de agua destilada en

un matraz Erlenmeyer de 250 ml, que después será colocado en una parrilla de calentamiento (Parrilla de Calentamiento, FELISA – FE-311). La solución de sacarosa filtrada se verterá en una bureta, después de ebulir la solución del matraz se añadirá la solución de sacarosa con 3 gotas de azul metilo, se mantendrá hirviendo y colocando la solución de sacarosa hasta obtener el cambio de coloración.

El porcentaje de azúcares reductores directos y totales se realizará mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Azúcares reductores en \%} = \frac{(250)(F)}{(V)(PM)} \times 100$$

Donde:

F= Factor Fehling 0.059125

V= Volumen de la solución proveniente de la muestra gastada en la titulación (ml)

PM= Peso de la muestra (g)

Micronutrientes

Sodio (Na): Se determinará en base a la metodología reportada por la NOM-086-SSA1-1994 (SSA, 1994), se colocará 2 g de muestra en un matraz de fondo plano con boca esmerilada, se añadirá 10 ml de HNO₃ concentrado grado suprapuro y se digiere por calentamiento en un sistema de reflujo durante 2 h. Al término del tiempo se dejará enfriar la muestra, se filtrará a través de papel filtro No.1 y se colocará el filtrado en un matraz aforado de 100 ml. Se lavará tres veces el matraz de la digestión con tres porciones de 10 ml de agua desionizada misma que será vertido al matraz aforado, seguidamente se aforó con agua desionizada. Se ajustará el fotómetro (Flame Photometer CORNING – 410) como lo indica el manual del equipo, se realizará curvas de patrón de la solución estándar en concentraciones de 0, 5, 10, 20, 30, 40 y 50 0, 20, 30, 40, 60, 80 y 100 µg/ml. Seguidamente se realizará la lectura de la solución concentrada, si la lectura resulta elevada se realizará una dilución donde se tomará 2 ml de la solución concentrada y se aforará en un matraz de 10 ml. A partir de las lecturas que se obtendrán y la concentración de la solución estándar, se realizará una regresión lineal

con la finalidad de conocer el punto de intersección y la pendiente de la recta. El contenido de sodio se calculará con la siguiente fórmula.

Si la lectura obtenida en la solución concentrada se encuentra entre 5 y 50 se usa la siguiente.

$$Na \text{ (mg/100g muestra)} = \left(\frac{(Ld - b)(10)}{(a)(PM)} \right)$$

Donde:

Ld= Lectura de solución diluida

b= Punto de intersección de la recta con el eje Y

a= Pendiente de la recta

PM= Peso de la muestra (g)

Si la lectura obtenida en la solución diluida se encuentra entre 5 y 50 se usa la siguiente.

$$Na \text{ (mg/100g muestra)} = \left(\frac{(Ld - b) \left(\frac{10}{2} \right)}{(a)(PM)} \right)$$

Potasio (K): Se determinará en base a la metodología reportada por la NOM-086-SSA1-1994, se colocará 2 g de muestra en un matraz de fondo plano con boca esmerilada, se añadirá 10 ml de HNO₃ concentrado grado suprapuro y se digiere por calentamiento en un sistema de reflujo durante 2 h. Al término del tiempo se dejará enfriar la muestra, se filtrará a través de papel filtro No.1 y se colocará el filtrado en un matraz aforado de 100 ml. Se lavará tres veces el matraz de la digestión con tres porciones de 10 ml de agua desionizada misma que será vertido al matraz aforado, seguidamente se aforó con agua desionizada. Se ajustará el fotómetro (Flame Photometer CORNING – 410) como lo indica el manual del equipo, se realizará curvas de patrón de la solución estándar en concentraciones de 0, 20, 30, 40, 60, 80 y 100 µg/ml. Seguidamente se realizará la lectura de la solución concentrada, si la lectura resulta elevada se realizará una dilución donde se tomará 2 ml de la solución concentrada y se aforará en un matraz de 10 ml. A partir de las lecturas que se obtendrán y la concentración

de la solución estándar, se realizará una regresión lineal con la finalidad de conocer el punto de intersección y la pendiente de la recta. El contenido de sodio se calculará con la siguiente fórmula:

$$K \text{ (mg/100g muestra)} = \left(\frac{(Ld - b) \left(\frac{10}{ml} \right)}{(a)(PM)} \right)$$

Donde:

Ld= Lectura de solución diluida

b= Punto de intersección de la recta con el eje Y

10= volumen del aforo de la solución

ml= 2 o 3 de la solución concentrada a aforar

a= Pendiente de la recta

PM= Peso de la muestra (g)

Propiedades fitoquímicas

Fenoles solubles totales: La extracción de la muestra y la determinación de los fenoles totales (FST) será realizado de acuerdo con lo reportado por Moo-Huchin et al. (2015). 0.01 g de muestra será homogenizada en 5 ml de CH₃OH al 80% v/v empleado un homogeneizador (Vortex Maxi Mix I, THERMO SCIENTIFIC – M16715). La mezcla homogenizada será sometida a sonicación (Limpiador Ultrasónico, COLE-PARMER – 08895-39) por 30 minutos a 40 °C y posteriormente se centrifugará (Centrifuga Universal, SOLBAT – J-40) a 4500 rpm por 10 min a temperatura ambiente. El sobrenadante resultante será recolectado. Se tomarán 250 µL de extracto (sobrenadante) que fueron mezclado con 2.8 ml de agua desionizada y 250 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (1N). Después de 8 min de reposo se adicionarán 750 µL de solución de Na₂CO₃ al 20 % p/v y 950 µL de agua desionizada, la mezcla se mantendrá nuevamente en reposo por 30 min. Al término del tiempo se medirá la absorbancia de la mezcla a 765 nm empleando un espectrofotómetro UV/Vis (Espectrofotómetro, ORBECO HELIGE – RS232). El análisis se hará por triplicado y un blanco en forma paralela con las muestras.

$$Feno\ total\ mgAG/100g = \left(\frac{Abs - 0.0123}{0.0247} \right) \left(\frac{5000\mu L}{250\mu L} \right) \left(\frac{1}{g\ muestra} \right) \left(\frac{1}{1000\mu g} \right) (100)$$

Flavonoides totales: Será estimado considerando lo reportado por Moo-Huchin et al. (2015). 1 ml del extracto obtenido del análisis de FST será mezclado con 4 ml de agua y 300 μ L de $NaNO_2$ al 5% p/v. Después de 5 minutos de reposo, 300 μ L de solución metanólica de $AlCl_3$ al 10% p/v se añadirá y se mantendrá en reposo por 1 min. Posteriormente, 2 ml de NaOH (1M) serán adicionados y el volumen completado a 10 ml con agua desionizada. La mezcla obtenida se agitará y se medirá su absorbancia a 415 nm empleando un espectrofotómetro UV/Vis (Espectrofotómetro, ORBECO HELIGE – RS232). Los análisis se realizarán por triplicado y un blanco en forma paralela con las muestras.

$$Flavo\ total\ mgEQ/100g = \left(\frac{Abs - 0.0025}{0.0236} \right) \left(\frac{5000\mu L}{1000\mu L} \right) \left(\frac{1mg}{1000\mu g} \right) \left(\frac{1}{g\ muestra} \right) (100)$$

RESULTADOS

Los datos obtenidos de los análisis por separado de ambas harinas quedaron como se muestra en la tabla 1 y 2.

En características fisicoquímicas en específico humedad y proteína en ambas harinas (de semilla y pulpa) no se observaron diferencias significativas tienen contenidos en g/100g B.H muy similares, a comparación de otros análisis donde grasa en la harina de semilla (37.5108 g/100g B.H.) es más alto que en la harina de pulpa (11.2993 g/100g B.H), dejado por debajo a la harina de avena (7.50 g/100g B.H) y harina de trigo integral (2.93 g/100g B.H) (Coral y Gallegos, 2015).

Tabla 1. Resultados de los análisis en la harina de semilla de zapote de agua.

Características Fisicoquímicas	
Humedad	8.7574 ± 0.4785 g/100g B.H
Proteína	6.3455 ± 0.0001 g/100g B.H
Grasa	37.5108 ± 0.5601 g/100g B.H
Fibra	36.0126 ± 0.7236 g/100g B.H
Ceniza	3.9995 ± 0.2244 g/100g B.H
Azúcares reductores directos	1.9703 ± 0.0000 g/100g B.H
Azúcares reductores totales	2.4629 ± 0.0000 g/100g B.H
Sodio	165.3926 ± 0.2817 mg/100g B.H
Potasio	135.0101 ± 4.2721 mg/100g B.H
Propiedades fitoquímicas	
Fenoles	2499.2997 ± 13.7603 mgEq AG /100g B.H
Flavonoides	342.1950 ± 12.4211 mgEq Quercetina / 100g B.H

Tabla 2. Resultados de los análisis en la harina de la pulpa de zapote de agua.

Características Fisicoquímicas	
Humedad	8.2995 ± 0.3888 g/100g B.H
Proteína	6.2965 ± 0.1668 g/100g B.H
Grasa	11.2993 ± 0.4517 g/100g B.H
Fibra	72.0152 ± 1.4431 g/100g B.H
Ceniza	9.2526 ± 0.0333 g/100g B.H
Azúcares reductores directos	16.4081 ± 0.0000 g/100g B.H
Azúcares reductores totales	13.4309 ± 0.0000 g/100g B.H
Sodio	91.5763 ± 0.7262 mg/100g B.H
Potasio	187.4373 ± 0.9843 mg/100g B.H
Propiedades fitoquímicas	
Fenoles	3953.5823 ± 85.3167 mgEq AG /100g B.H
Flavonoides	354.9153 ± 21.0870 mgEq Quercetina / 100g B.H

En fibra la harina de semilla tiene 36.0126 ± 0.7236 quedando por debajo el contenido que tiene la pulpa con 72.0152 ± 1.4431 . La fibra es un componente esencial en la industria de alimentos, debido a los beneficios brindados a la salud por su composición química la cual permite a las industrias de alimentos poder ser utilizada como un ingrediente que permita mejorar las características texturales, sensoriales, además de actuar como agente de carga en diversas aplicaciones que van desde sustitutos o reducción de azúcar.

El valor correspondiente al contenido de ceniza se presenta en mayor cantidad en la harina de semilla con 36.0126 mg/100g B.H a comparación del cacahuete (2.15 mg/100g B.H) y el maíz (2.07 mg/100g B.H) (Palacios-Pérez y Luna-Suarez, 2023).

La determinación del contenido de cenizas en los alimentos es un indicador del contenido total de minerales y materia inorgánica, microelementos que cumplen funciones metabólicas importantes en el organismo.

En la determinación de azúcares reductores directos y totales hay mayor contenido en la harina de pulpa con 16.4081 g/100g B.H directos y 13.4309 en totales g/100g B.H a comparación de la harina de semilla.

En las propiedades fitoquímicas la harina de semilla presenta un contenido de fenoles con 2499.2997 mgEq AG /100g B.H y flavonoides con 342.1950 mgEq Quercetina / 100g B.H, en cuanto a la harina de pulpa el contenido es mayor de fenoles con 3953.5823 mgEq AG /100g B.H y en flavonoides con 354.9153 mgEq Quercetina / 100g B.H. Las propiedades fitoquímicas con potencial antioxidante tienen la capacidad de reducir las consecuencias del estrés oxidativo en el desarrollo de enfermedades y en el proceso de envejecimiento.

CONCLUSIÓN

La harina que más destacó en propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas es la harina de pulpa, a pesar de ser harinas provenientes del mismo fruto, cada una cuenta con concentraciones diferentes en sus propiedades, sin embargo, ambas harinas presentan contenidos nutrimentales de gran valor a comparación de otras harinas, haciéndolo apto para poder darle uso más avanzado y significativo como uso en la panificación.

PROPUESTA

Elaborar galletas a base de las harinas y evaluar la aceptación del producto a través de una escala hedónica de 9 puntos.

REFERENCIAS

- Carrero, P y Rodríguez, E. (2020). *Panadería y Pastelería Salada*. (1ªed). Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA.
- Coral, V y Gallegos, R. (2015). *Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de harina de maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho*. Ecuador.
- Costa, et al. (2023). *Pachira aquatica (Malvaceae): An unconventional food plant with food, technological, and nutritional potential to be explored*. (Vol. 164). Brazil: ELSEVIER.
- Medina, R. (2022). *Productos de obrador*. (1ªed). Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA.
- Moo-Huchin, V. M., Moo-Huchin, M. I., Estrada-León, R. J., Cuevas-Glory, L., Estrada-Mota, I. A., Ortiz-Vázquez, E., Betnacur-Ancona, D., and Sauri-Duch, E. (2015). *Antioxidant compounds, antioxidant activity and phenolic content in peel from three tropical fruits from Yucatan, Mexico*. *Food Chemistry*, 166:17–22.
- Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of agriculture. (s.f.). *Pachira aquatica* Aubl. Guiana-chestnut. <https://plants.usda.gov/plant-profile/PAAQ2>
- Palacios-Pérez, F. and Luna-Suarez, S. (2023). *Estudio de la composición química de semillas de Apote negro*. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8:708–713.
- Pereira-Rodrigues, A. and Pastore, G. (2021). *A review of the nutritional composition and current applications of monguba (Pachira aquatica Aubl.) plant*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99:103878.
- Secretaría de Salud (SSA). (1994). *NOM-086-SSA1-1994: Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales*. Ciudad de México: SSA.
- Secretaría de Salud (SSA). (2008). *NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba*. Ciudad de México: SSA.
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C. (NORMEX). (2002). *NMX-F-607-NORMEX-2002: Alimentos – determinación de cenizas en alimentos- método de prueba*. Ciudad de México: NORMEX
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C. (NORMEX). (2002). *NMX-F-608-NORMEX-2002: Alimentos-determinación de proteínas en alimentos. - método de prueba*. Ciudad de México: NORMEX

Capítulo III

EVALUACIÓN SENSORIAL DE UNA CARNE PARA HAMBURGUESA UTILIZANDO CARNE DE BÚFALO (*Bubalus bubalis*)

Franco Lucio Ruíz Santiago
Josafat Alberto Hernández Becerra
Rafael García Jiménez

RESUMEN

La hamburguesa es una torta que contiene una pieza molida o picada, cocida de origen animal o vegetal redonda con o sin otros ingredientes que mejoran sus características organolépticas. Se prepara con carne de ternera, cerdo o soya para los que no incluyen la carne en su alimentación. Por su composición química, características nutricionales y de beneficios que aporta a la salud. Para este trabajo se planteó utilizar carne de búfalo para desarrollar una formulación de una carne para hamburguesa fuera de lo tradicional utilizando, empleando ingredientes que mejoren sus características sensoriales. Se diseñaron cinco prototipos, los cuales fueron evaluados sensorialmente por jueces no entrenados. Se observaron diferencias significativas entre los prototipos desarrollados, destacando el prototipo HB 03 como el de mejores atributos y mayor nivel de aceptación por lo que su consumo puede constituir una alternativa para mejorar el nivel nutricional de la población.

Palabras clave:

Evaluación sensorial, búfalo de agua, hamburguesa

Introducción

El búfalo de agua es un rumiante domestico originario de Asia y que se ha adaptado sin complicaciones al medio ambiente de la República Mexicana especialmente los estados del sureste como Veracruz, Tabasco, Chiapas y Campeche, aunque su crianza y producción a

gran escala inició apenas hace 30 años, en la actualidad existen ya alrededor de 200 000 cabezas de ganado en todo el país (SAGARPA, 2018; SENASICA, 2022). Los productores de búfalo aprovechan no solo la leche sino también la carne con la cual se elaboran diversos productos como quesos, yogur, jamón, salami, salchichas, filetes, hamburguesas y algunos más que los consumidores han aceptado ampliamente (Fundora et al., 2013; Tamburrano y et al., 2019).

La calidad de la carne de esta especie depende de muchos factores como la raza, tipo, alimentación, edad y condiciones ambientales, puede considerarse de gran interés ya que posee características físicas, químicas, sensoriales y nutricionales que en la actualidad lo han hecho objeto de diversas investigaciones (Borghese, 2005; Fundora et al., 2016). La carne de búfalo puede considerarse magra ya que solo contiene alrededor del 2% de grasa, es bajo en colesterol y aporta menos calorías que otros genotipos vacunos, el consumo de esta carne está asociada varios efectos beneficiosos a que reduce el riesgo cardiovascular y la susceptibilidad al estrés oxidativo (López et al., 2005; Naveena y Kiran, 2014). Esta carne contiene mayor contenido de proteínas que la carne de otras especies y mayor contenido de los aminoácidos isoleucina, lisina, fenilalanina, tirosina, leucina, treonina, valina e histidina, aunque menos cistina, triptófano y metionina que la carne de res (Khedkar, 2003; Rebak et al., 2021). La carne de búfalo es más oscura por una mayor pigmentación y menor contenido de grasa intramuscular, tiene propiedades emulsionantes y aglutinantes necesarios para la fabricación de embutidos y otros productos cárnicos como la carne para preparar hamburguesas (Naveena y Kiran, 2014).

La carne para hamburguesa es una mezcla redonda que puede estar hecha de distintos tipos de carne, de res, cerdo, pollo, búfalo o soya o una combinación de ellos, con la adición de ingredientes que le proporcionan los atributos sensoriales a dicho alimento (Gómez-Muriel et al., 2021; Peña et al. 2019).

Para este proyecto se diseñó y se evaluó sensorialmente una carne para hamburguesa utilizando como materia prima carne de búfalo, con la finalidad de presentar un producto de alto valor nutricional y presentar a los consumidores un producto alimenticio de consumo común, pero elaborado con una materia prima diferente.

MÉTODO

Población de estudio

Para el estudio se utilizaron muestras de lomo de carne de búfalo obtenidas en el rancho “La Candelaria” empresa bufalera Lendechy, ubicado en Ranchería Otra Banda 2ª Sección, Huimanguillo, Tabasco, México. Se utilizaron muestras de carne que cumplieron con los criterios de frescura establecidos por la NOM-213-SSA1-2018 (DOF, 2019) para su uso en alimentos. Las muestras fueron obtenidas a 4°C y molidas utilizando un molino de carne marca Torrey FG-12-SS con cedazo de 3/8”. La carne fue almacenada a -18°C hasta su procesamiento en un tiempo no mayor a 24 horas.

Desarrollo de prototipos

Se desarrollaron cinco prototipos de carne para hamburguesa partiendo de una formulación casera desarrollada por el M. en C. Roberto Rocher Córdova, profesor de la asignatura de Tecnología de Alimentos III en la Universidad Tecnológica de Tabasco. Los prototipos desarrollados y el proceso de elaboración se muestran en la tabla 1 y figura 1.

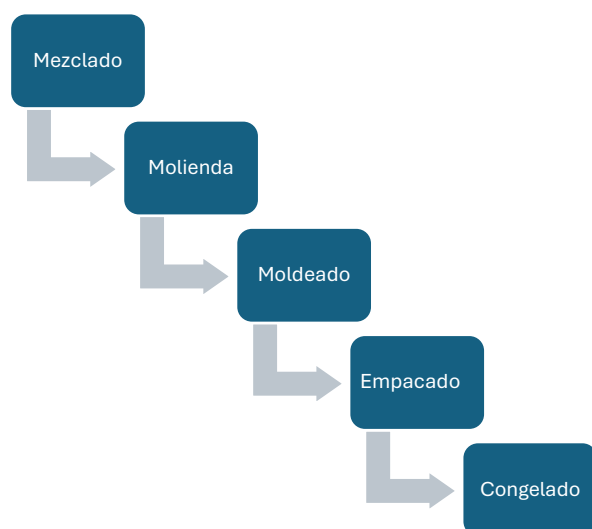
Tabla 1. *Prototipos diseñados de carne para hamburguesa*

Ingredientes	HB 01*	HB 02	HB 03	HB 04	HB 05
	%				
Carne de búfalo	60.0%	70.6%	73.0%	76.7%	81.3%
Sal Yodatada	1.8%	2.1%	1.0%	0.5%	0.2%
Azúcar	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%	1.1%
Fécula de maíz	2.4%	2.8%	0.7%	0.5%	0.3%
Lardo de Cerdo	9.0%	10.6%	10.9%	9.2%	6.5%
Pan molido	21.0%	10.6%	10.9%	10.0%	8.9%
Cebolla(molida)	2.4%	0.7%	0.7%	0.8%	0.5%
Pimienta(molida)	0.5%	0.3%	0.1%	0.2%	0.2%
Glutamato mono sódico	0.5%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%

Orégano(molido)	0.6%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%
Chile piquín	0.5%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%
Chile mulato	0.4%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%
Ajo(molido)	0.2%	0.1%	0.3%	0.5%	0.3%

Nota: Formulación casera inicial

Figura 1. *Proceso de elaboración de la carne para hamburguesa de búfalo.*



Nota: Elaboración propia.

Evaluación Sensorial

Los prototipos fueron evaluados sensorialmente a través de una prueba de aceptación, para seleccionar tres de las formulaciones más agradables a los jueces. Las formulaciones seleccionadas en esta primera evaluación fueron sometidas a una segunda prueba, donde se utilizó una escala hedónica de cinco puntos que va desde me gusta mucho (5 puntos), me gusta (4 puntos), ni me gusta ni me disgusta (3 puntos), me disgusta (2 puntos) y me disgusta mucho (1 punto) de acuerdo con la metodología recomendada por Pedrero y Pangborn, (1989). Además, se solicitó a cada juez su preferencia hacia una formulación en específico y los mejores atributos de la formulación seleccionada. Se utilizaron para ello 50 jueces no entrenados en la Universidad Tecnológica de Tabasco con una edad entre 18 y 60 años, todos consumidores frecuentes de este tipo de productos, la prueba se realizó en el laboratorio de análisis sensorial de dicha universidad.

Para la evaluación sensorial las muestras fueron cocinadas en aceite vegetal a 175°C por 5 minutos, fueron presentadas a los consumidores en platos desechables codificados con números aleatorios de cuatro dígitos, se distribuyeron de manera azarosa para disminuir el error sistemático y otros tipos de errores que pudieran influir en la respuesta del consumidor. Entre las muestras cada juez debía tomar agua que sirvió como borrador.

Análisis estadístico

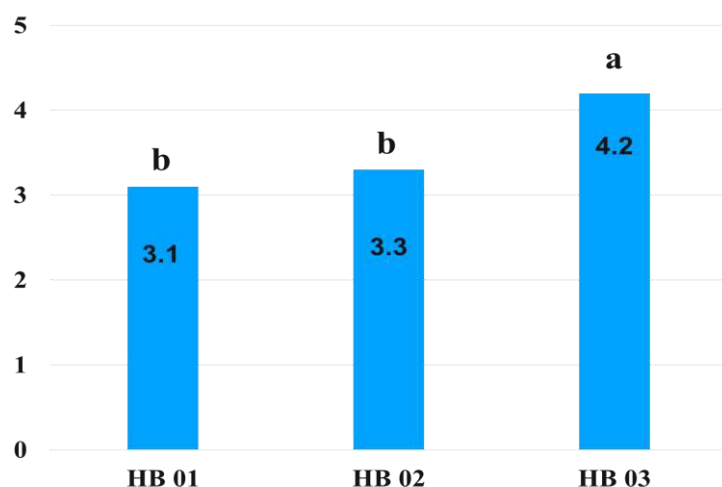
Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante el modelo de comparación de medias en el programa MINTAB 17 y aplicando una prueba de Tukey con 5% de nivel de significancia para la separación de medias.

RESULTADOS

Como resultado de la primera evaluación sensorial, los prototipos de carne para hamburguesa de búfalo, que presentaron mayor nivel de aceptación fueron el HB01, HB02 y HB03.

Como se muestra en la figura 2, después de la segunda evaluación sensorial, los resultados muestran que el nivel de agrado de acuerdo con la escala hedónica fue que la HB03 presentó una calificación de 4.2 que en la escala hedónica corresponde a “me gusta a me gusta mucho”, mientras que las formulaciones HB01 y HB02 presentaron 3.1 y 3.3 respectivamente que en la escala hedónica corresponde a “ni me gusta ni me disgusta a me gusta”. El análisis de varianza mostro diferencias significativas en un nivel de 5% entre los prototipos HB03 con respecto al HB01 y HB02.

Figura 2. Nivel de agrado de cada muestra carne para hamburguesa de búfalo.

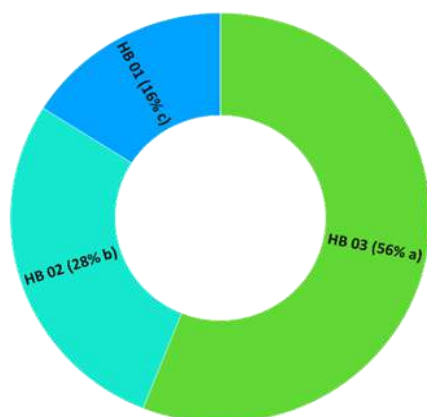


Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes por ANOVA con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para cada muestra.

Al cuestionar a los jueces cuál de las formulaciones le parecía mejor, se observa en la figura 3 que la formulación HB03, presentó el mayor porcentaje de aceptación con el 56%, estadísticamente las diferencias fueron significativas entre los tres prototipos evaluados, por ello se seleccionó fórmula HB03 como la definitiva, formulación que contiene 73% de carne de búfalo, 11% de lardo de cerdo y 1% de sal común.

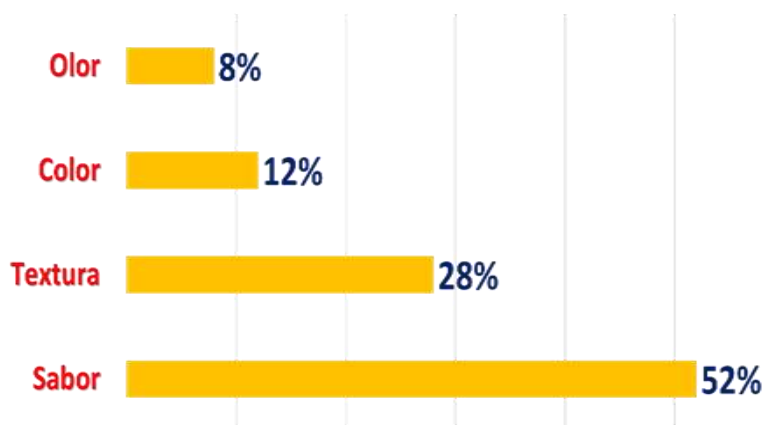
En la figura 4, se muestra que los atributos más agradables de dicha formulación fueron su sabor (52% de menciones) caracterizado por su nivel de picor, bajo contenido de sal y la presencia de sabores de las especias que contiene. Aunque la evaluación sensorial mostró que la textura, sabor y color son áreas donde se debe mejorar la formulación, llamó mucho la atención de que la jugosidad, parámetro requerido para ese tipo de productos de acuerdo con Peña et al., (2019); Bautista y Franco-Crespo (2020); Matulis et al., (1995) fue aceptable de acuerdo con señalado por los jueces.

Figura 3. Calificación global de las muestras de carne para hamburguesa.



Nota: Medias con diferente letra son significativamente diferentes por ANOVA con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para cada prototipo.

Figura 4. Evaluación por atributo de la formulación seleccionada.



Nota: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

Después de realizar el proyecto, fue posible desarrollar una fórmula de una carne para hamburguesa de búfalo con características sensoriales aceptables cuyo consumo puede ser una alternativa para mejorar el nivel nutricional de la población e incentivar la producción y crianza de este rumiante tanto en el estado de Tabasco como a nivel nacional, ofreciendo un producto diferente a lo tradicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bautista, N., y Franco-Crespo, C. (2020). *Evaluación de una Mezcla Empanizadora, con Inclusión de Almidón Modificado, para su Aplicación en Carnes*. *Revista Politécnica*, 46(2), 63-70.
- Borghese, A. (2005) *Buffalo meat and meat industry*. *FAO Regional Office for Europe. Buffalo production and research*. 201-217. *Instituto Sperimentale per la Zootecnia*. <https://www.fao.org/3/ah847e/ah847e00.htm>
- DOF (30 de enero de 2019). *NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSAI-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. URL: *NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSAI-2018, Productos y servicios*.
- Fundora, O., Fernández, D. y Sánchez, Lyhen y González, María. (2016) *Meat yield of grazing river buffalos (Bubalus bubalis)*. URL: *Meat yield of grazing river buffalos (Bubalus bubalis)*.
- Fundora, O., Torres, V., Medina, J., Sarduy, L., y González, M. E. (2013). *Efecto de la castración en el rendimiento y composición de la canal de búfalos de río (Buffalypso) mestizos en la etapa de crecimiento*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(4), 355-358. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193029815005>.
- Gómez-Muriel, L. A., Benítez-Sepúlveda, E., Velásquez-Henao, A., y Jaramillo-Yepes, F. (2021). *Desarrollo de una carne de hamburguesa de pechuga de pollo con adición de fibra y reducción de grasa*. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 23(1), 15–26. <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v23n1a02>
- Khedkar, G. (2003). *BUFFALO | Meat*. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00133-4>
- López, J.R., Fundora, O. y Elias, A., (2005) *¿Por qué el búfalo de agua presenta mayor eficiencia productiva que los vacunos?* *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. VI, núm. 11, noviembre, 2005, 1-6 *Veterinaria Organización Málaga, España*. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111105.html>
- Matulis, R. J., McKeith, F. K., Sutherland, J. W., & Brewer, M. S. (1995). *Sensory characteristics of frankfurters as affected by salt, fat, soy protein, and carrageenan*. *Journal of Food Science*, 60(1), 48-54. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05604.x>
- Naveena, B.M., Kiran, M. (2014) *Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security*, *Animal Frontiers, Volume 4, Issue 4*, 18–24. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0029>

- Pedrero, D., Pangborn, R.M. (1989) *Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos*. Editorial Alhambra Mexicana. 105-106. ISBNN: 9684440936, 9789684440937.
- Peña, M.A, Peña, S., y Aloida Guerra, M. (2019). *Inulina: una alternativa para el desarrollo de productos cárnicos funcionales*. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(3), 102-121.
- Rébak, G. I., Obregón, G. R. E., Obregón, J. B., Gómez, D. M., y Pino, M. S. (2021). *Características químicas de la carne de búfalos en un sistema de alimentación de autoconsumo*. URL: 1669-6840-revet-32-01-54.pdf
- SAGARPA (29 de junio de 2018) *Búfalo, alternativa de producción en Tabasco*. <https://www.gob.mx/agricultura/tabasco/articulos/bufalo-alternativa-de-produccion-en-tabasco?idiom=es#:~:text=C%C3%A1rdenas%20y%20Huimanguillo%20son%20hasta,de%20ganado%20de%20este%20tipo>.
- SENASICA (24 de junio de 2022) *Crianza de búfalo, alternativa viable para atender la demanda de carne y leche en México*. <https://www.gob.mx/senasica/prensa/crianza-de-bufalo-alternativa-viable-para-atender-la-demanda-de-carne-y-leche-en-mexico-306139?idiom=es>
- Tamburrano, A., Tavazzi, B., Cinzia, A., M., Amorini, A., Lazzarino, G., Vincenti, S., Tiziana, Z., Campagna, M.C., Moscato, U. y Laurentil, P. (2019) *Biochemical and nutritional characteristics of buffalo meat and potential implications on human health for personalized nutrition*. *Italian Journal of Food Safety*. Volume 8:8317, 174-179. doi: 10.4081/ijfs.2019.8317

Capítulo IV

GALLETAS ELABORADAS CON HARINA DE LENTEJA (*LENS CULINARIS*) Y HARINA DE GARBANZO (*CICER ARIETINUM*)

Juan Carlos Aguilar Arpaiz
Jesús David Aguilar Estrada
Ninfa María Herrera Sánchez

RESUMEN

Las harinas de las leguminosas se han utilizados para elaborar pasteles, panqué y panes. Otra forma de consumirla es a través de las galletas no tradicionales que se elaboran con harina de trigo preferidas por personas de diferentes edades. El objetivo es elaborar galletas a partir de las harinas obtenida de lenteja (*Lens culinaris*) y de garbanzo (*Cicer aritinum*). Se obtuvo la harina de lenteja y garbanzo que se hicieron pasar tres veces por el molino de piedra, una vez más por el molino de corte marca Scorpion y se tamizó en la malla número 60. Se realizaron las galletas considerando 100 g de la harina de lenteja o garbanzo, 50 a 70 g de mantequilla o margarina, 30 g de azúcar, 1 huevo, 2 g de polvo para hornear y 4 ml de vainilla, se horneó a 180 °C por 15 minutos, a 150 °C por 20 minutos y a 165 °C por 15 minutos y se determinó los análisis físicoquímicos de humedad, proteínas, grasa y ceniza de acuerdo con la norma NOM-247-SSA1-2008 de cereales y sus productos y la norma NMX-F-006-1983 para galletas. Se obtuvo una humedad de 10.36 % de harina de lentejas, 9.41 % de harina de garbanzo, 9.72 % de galletas de lenteja y 11.10 % de galletas de garbanzo. Las galletas de lenteja y garbanzo presentaron un color café y un bien horneado a 165 °C por 15 minutos, con 14.4 % y 15.3 % de proteínas, 35.5 % y 34.8 % de extracto etéreo, 1.9 % y 2.1 % de cenizas. Se consiguió galletas con un sabor agradable y consistencia.

Palabras clave: Formulación, horneado, mantequilla

Introducción

Hay países como Ecuador, que es rico en leguminosas, pero no elaboran harina a partir de granos de lenteja (*Lens Culinaris*), es por ellos que Echeverría et al., (2023) realizó un trabajo de investigación al utilizar la harina de lentejas como sustituto parcial o total de la harina de trigo en masas de pastelería. También, este autor publicó que “la lenteja tiene una alta concentración de nutrientes, e hidratos de carbonos y están formados primordialmente por almidón”. Según la NOM-247-SSA1-2008 de cereales y sus productos, establece que las harinas de las leguminosas se han utilizados para elaborar pasteles, panqué y panes (Secretaría de Salud, 2008).

Las galletas no tradicionales son aquellas que se elaboran con harina diferentes al trigo como pueden ser a través de harina de lenteja al 100 % o 70 %. Por su parte, Venegas, (2016) escribió que la harina de lenteja “presenta una coloración marrón clara, su textura es en polvo, con olor y sabor característicos” (p. 4) y la harina de garbanzo “es un polvo fino de color blanco amarillento obtenido de la molienda del grano entero y limpio” (p.5).

Otro país, que también han realizado investigaciones en la elaboración de galletas es Perú, donde Silva, (2021) realizó formulaciones empleando al 100 % de harina de haba, garbanzo, arveja, kiwicha, quinua, lenteja, maíz y frijol, encontrando en sus resultados que la galleta de lenteja presentó la mayor cantidad de proteína y fibra y la galleta de garbanzo puntuaciones de aceptabilidad más altas.

De igual modo, Gómez et al., (2016) elaboró galletas con harina de avena, harina de trigo integral, harina de trigo refinada y harina de leguminosas nativa a las que consideró a las obtenidas de frijol, garbanzo, lentejas y haba porque buscó “contribuir a la disminución de la desnutrición en México con galletas sustituidas parcialmente con harina de leguminosas nativas y modificadas”.

También, Alegria y Gaviria, (2022) realizaron un estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de galletas a base de harina de lenteja (*Lens culinaris*) como complemento nutricional, donde se concluyó que la planta estaría localizada en el distrito de Ate, departamento

de Lima. Con esta investigación, se ha observado que las galletas de este tipo se han buscado para:

“encontrar una mezcla perfecta entre una menestra saludable y uno de los snacks más consumidos a nivel nacional, para así ofrecer un producto sano, con un buen sabor, ya que será endulzado con chancaca, y por su alta presencia de hierro, podrá ayudar a las personas a combatir una de las mayores enfermedades del país: la anemia”.

DESARROLLO

El objetivo de este trabajo de investigación es elaborar galletas a partir de las harinas obtenida de lenteja (*Lens culinaris*) y de garbanzo (*Cicer aritinum*) sin usar la harina de trigo.

De lo anterior, se busca elaborar galletas libres de gluten, considerando las harinas de leguminosas a través de procesos de molienda, tamizado, horneado y la determinación de propiedades fisicoquímicas de acuerdo con las normas, el uso de equipos y la aplicación de los procesos de operaciones unitarias en los laboratorios de la División de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra [ITSS] de Teapa, Tabasco. Con estas galletas se ayudará a personas que presentan enfermedades celíacas, personas con sensibilidad al gluten no celíaca y alergia al trigo, siendo asociadas con la salud, la calidad y la seguridad alimentaria (Silva, 2021; Cutullé et al., 2012). También, esta idea surge por la necesidad de presentar una nueva opción de aprovechar las leguminosas en un producto que se consume por personas de diferentes edades, además de aportar nutrientes para realizar sus funciones diarias.

MÉTODO

En este trabajo de investigación, se obtuvieron la harina de lenteja y garbanzo con equipos de los laboratorios y talleres del ITSS para elaborar las galletas con la metodología de Echeverría et al. (2023) con modificaciones, donde se aplicó la harina de lenteja (*Lens culinaris*) como sustituto de la harina de trigo en masas de pastelería. Con la misma formulación, se utilizó la harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) para la elaboración de las galletas de garbanzo.

Elaboración de la harina. Para la elaboración de la harina de lenteja y la harina de garbanzo, las semillas se hicieron pasar tres veces por el molino de piedra para reducir el tamaño de partículas y una vez más por el molino de corte marca Scorpion hasta obtener un tamaño de partícula de número 60, malla que está adaptada al equipo que se encuentra en el Taller de Cereales y se pesó la harina en la báscula marca Rhino (Figura 1).

Figura 1. Molino de corte y harina de lenteja.



Nota. Fotos propias (2025).

Formulación. Para la elaboración de las galletas con el 100 % de la harina lenteja y la harina de garbanzo se realizaron las formulaciones considerando como variantes la cantidad de mantequilla (Tabla 1).

Tabla 1. *Formulación de las galletas.*

Ingredientes	Formulación 1	Formulación 2
Harina de lenteja o garbanzo (g)	100	100
Mantequilla (g)	70	50
Azúcar (g)	30	30
Huevos (pieza)	1	1
Polvo de hornear (g)	2	2
Esencia de vainilla (ml)	4	4

Nota. Elaboración propia (2025).

Elaboración de las galletas. Se pesaron los ingredientes por separados. Se cremó la mantequilla con el azúcar en la batidora a una velocidad baja, hasta adquirir un color blanquecino, este proceso se realizó con el fin de dar volumen a la masa (la primera prueba) y como fue poco los integrantes no se obtuvo una mezcla homogénea y una parte que quedo pegado en la batidora, por lo que se consideró realizar las siguientes mezclas de manera manual con la cuchara, obteniéndose así una mejor mezcla. Se batió el huevo hasta tener una mezcla homogénea con ayuda de una cuchara.

Se filtró la harina de lenteja y la harina de garbanzo por separados, pero se juntó con el polvo para hornear en el recipiente y se mezcló con los demás ingredientes adicionado la esencia de vainilla hasta obtener una masa homogénea, la cual se dejó reposar aproximadamente 10 minutos y se aplastó sobre el papel encerado (con el fin de que la masa no se pegue) dando forma circular a las galletas con un grosor de 5 mm y se horneó con 3 diferentes grados de temperaturas y tiempos: a 180 °C por 15 minutos, a 150 °C por 20 minutos y a 165 °C por 15 minutos en el horno de mesa eléctrico marca Sangkee de 25 L de acero inoxidable. Una vez lista las galletas se enfriaron a temperatura ambiente (Figura 2) y se almacenaron en bolsa de cierre fácil. También, se hornearon las galletas, pero en capacillos y en moldes de cup cake, revisando cada 5 minutos en el horno el color característico de las galletas, cuidado de que no se quemen a como menciona la NMX-F-006-1983. Se aplicó una encuesta abierta de los docentes y alumnos, para las formulaciones 1 y 2, quedando en agrado la formulación 1, de esta se determinó los análisis fisicoquímicos.

Figura 2. *Elaboración de galletas.*



Nota. Fotos propias (2025).

Análisis fisicoquímicos. En la determinación de los análisis fisicoquímicos de las galletas de lenteja y las galletas de garbanzo se utilizaron las que se prepararon con 70 gramos de mantequilla con las normas oficiales mexicanas y la norma de referencias con los equipos de la termobalanza, la mufla, el aparato de Kjeldahl y el aparato de Soxhlet, en el Laboratorio de Química General y el Laboratorio de Fisicoquímica del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra con dirección km 4.5 carretera Teapa-Tacotalpa, del municipio de Teapa, Tabasco:

- La determinación de la humedad se realizó por el método rápido de la termobalanza de acuerdo con la norma NMX-F-428-1982. Con este método se utilizó 5 y 10 gramos de la muestra de harina por triplicado y del residuos o merma que no tiene un tamaño de partícula de número 60 se determinó una vez. También, se realizó para la galleta por duplicado.
- La determinación de cenizas se realizó de acuerdo con la norma PROY-NMX-F-607-NORMEX-2012. Se utilizó 5 gramos de la muestra de galletas y se determinó por triplicado.
- La determinación de proteína se realizó con el método Kjeldahl, de acuerdo con la norma NOM-F-68-S-1980. Aquí se utilizó 2 gramos de galletas para obtener el nitrógeno total y se multiplicó con el factor de 6.25.

- La determinación de la grasa se realizó mediante el método Soxhlet de acuerdo con lo descrito por la norma NMX-F-615-NORMEX-2004. Se utilizó 2 gramos de la muestra de galletas y se determinó por triplicado.

RESULTADOS

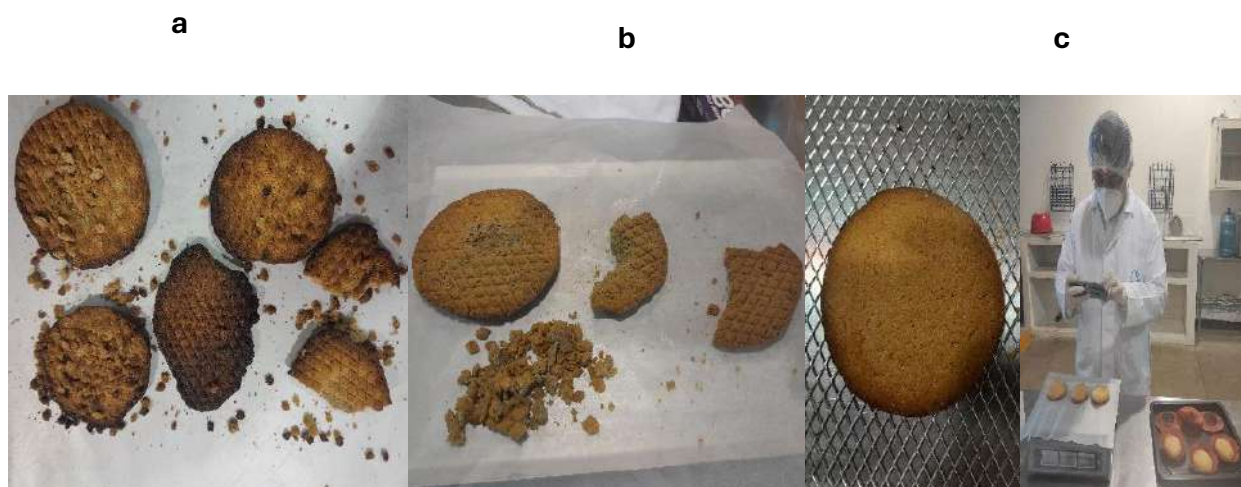
De 500 g de semillas de garbanzo a través de molino de corte se obtuvo la harina de garbanzo con tamaño de partícula de malla 60 la cantidad de 308 gramos y 192 gramos que no paso la malla 60, en cambio en la harina de lentejas con una malla 60 fue de 352 gramos y 146 gramos que no paso la malla 60. De esto se pudo observó que se obtiene un 12.5 % más de harina de lenteja que de harina de garbanzo en la molienda.

En los valores de humedad se determinó que la harina de lentejas de tamaño de partícula de malla 60 fue de 10.36 % y en la harina de garbanzo fue 9.41 % quedando dentro del valor de referencia de límite máximo de 15 % de humedad para harina de cereales, sémolas o semolinas de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-247-SSA1-2008 de cereales y sus productos, pero Machuca y Meyhuay (2017) en la harina de lenteja reportó 13.26 %, y en cambio Gómez et al. (2016) reportó un valor de 9.5 ± 0.1 % similar al encontrado. Las harinas que no fueron de un tamaño de partícula de malla 60, para el caso de la harina de lentejas la humedad fue de 9.56 % y de la harina de garbanzo fue de 9.07 %.

Hay que recordar que estas harinas son obtenidas de leguminosas y por lo tanto se consideró esta humedad para el almacenamiento y posterior uso en la elaboración de galletas, clasificado como productos de panificación en el apartado 5.2.4 (Secretaría de Salud, 2008).

Se hornearon de 4 a 5 galletas de aproximadamente 30 a 50 gramos a 180 °C por 15 minutos aquí las galletas se quemaron (a), a 150 °C por 20 minutos las galletas en el interior le faltó más cocción por lo que estaban en parte cruda (b) y a 165 °C por 15 minutos las galletas obtuvieron la apariencia café (a), con textura y sabor agradable (Figura 3). La norma de referencia NMX-F-006-1983 de galletas, menciona que el color no debe “presentar áreas negras por quemaduras” y el sabor debe ser “característico del producto, sin sabores extraños” (Norma Mexicana, 1983).

Figura 3. Horneado de las galletas.



Nota. Fotos propias (2025).

Los valores de los análisis fisicoquímicos de las galletas elaboradas al 100 % con harina de lenteja y garbanzo (Tabla 2). Presentaron un sabor agradable la galleta de garbanzo por la adicción de vainillas y mantequillas, en cambio en las galletas de lentejas se mantuvo un sabor ligeramente amargo, porque Echeverría et al., (2023) en las galletas obtuvo un sabor muy fuerte y una textura dura.

Tabla 2. Valores fisicoquímicos de las galletas de lenteja y garbanzo.

Harina	Humedad (%)	Proteínas (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)
Galleta de lenteja	9.72	14.4	35.5	1.9
Galleta de garbanzo	11.10	15.3	34.8	2.1

Nota. Elaboración propia (2025).

En la cantidad de grasas, Silva, (2021) reportó en las galletas de lenteja 13.5 ± 0.05 % y en las galletas de garbanzo 9.19 ± 0.09 %, siendo estos valores la mitad de lo que se encontró para las galletas de 35.5 y 34.8 %, esto debido a que se utilizó 70 gramos de mantequilla, en lugar de 8.5 gramos, pero Jiménez, (2017) reportó en grasas 30.5 ± 0.07 % en el tratamiento

2, que ocupó un 20 % de harina de lenteja, combinado con 50 % de harina de trigo y 30 % de harina de arroz, siendo valores cercanos a lo que se encontró en grasas en estas galletas.

De igual manera, Silva, (2021) reportó 13.8 ± 0.11 % de proteínas de galletas de lenteja valor muy cercano al encontrado de 14.4 %, y Machuca y Meyhuay, (2017) en proteína reportó 11.30 % para galletas dulce con la sustitución parcial de 25 % de harina de arroz y 25 % de harina de lenteja, por su parte Venegas, (2016) reportó 6.65 ± 1.20 % de proteínas en la galletas con una combinación de 40 % de harina de garbanzo y 10 % de harina de lentejas (p. 32), valores a la mitad encontrado en las galletas elaboradas, pero Gomez et al., (2016) informó valores de 12.2 ± 2.5 % de proteínas en galletas de garbanzo y 15.2 ± 0.7 % en galletas de lentejas donde combino con harinas de avena y de trigo, aumentado a 10 ml el saborizante de vainilla, y utilizando la misma cantidad de mantequilla, y en el analisis sensorial la galleta de garbanzo obtuvo una mayor aceptación.

Machuca y Meyhuay, (2017) en cenizas encontró 1.041 %, valor a mitad de lo reportado para galletas de lentejas que fue de 1.9 %, sin embargo, en la NMX-F-006-1983 para galletas comerciales reporta como máximo 2.0 quedando casi en ese límite la galleta de lentejas, pero pasándose 0.1 % en las galletas de garbanzo, a su vez, Gomez et al., (2016) reportó 3 % de cenizas para ambas galletas.

Además, Machuca y Meyhuay, (2017) en humedad encontró 3.405 %, hay que recordar que ellos utilizaron 50 % de harina de trigo, con 25 % de harina de arroz y 25 % de harina de lenteja, pero Gomez et al., (2016) encontró 8.7 ± 0.2 % en la galleta de lenteja, menos de 1 % de lo que se reportó en este producto que se consideró el 100 % de harina de lenteja. Por cierto, Silva, (2021) en ambas galletas encontró un % de humedad muy cercano de 5.20 ± 0.08 para las galletas de garbanzo y 5.54 ± 0.16 para la galleta de lenteja, siendo valores a la mitad de lo que se encontró en este trabajo y, asimismo, Vanegas, (2016) informó % de humedad de 6.89 ± 0.07 en la galleta que combinó 40 % de harina de garbanzo y 10 % de harina. Por otro lado, utilizó harina de garbanzo en proporciones de 20, 40 y 60 % y encontró valores de 2 % en humedad para las tres galletas.

CONCLUSIÓN

Las galletas de garbanzo presentaron un color café, con un buen horneado, un sabor agradable y consistencia esperada con la formulación 1 y las galletas de lentejas presentaron un sabor característico y una consistencia de acuerdo con el tipo de galletas de lentejas un poco fuerte.

De acuerdo con los resultados de los análisis fisicoquímicos realizado de humedad, proteínas, grasas se encontraron valores superiores a la norma para galletas comerciales y cenizas si dentro el valor establecido.

PROPUESTAS

- Realizar los análisis microbiológicos de las galletas para determinar la cantidad de mesofílicas aerobias, hongos y coliformes para estar dentro de las especificaciones correspondientes de la norma NMX-F-006-1983 de “Alimentos – Galletas”.
- Elaborar las galletas con combinaciones de harina de lenteja y garbanzo, para aprovechar la propiedad emulsificante del garbanzo y el alto contenido proteico presente en la lenteja.
- Continuar con el análisis sensorial de las galletas para saber el grado de aceptación de los consumidores no entrenados y determinar la vida de anaquel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegria Honorio, D. A., y Gaviria Echaiz, H. (2022). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de galletas a base de harina de lenteja (*Lens culinaris*) como complemento nutricional. https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/17433/T018_70827155_T.pdf?sequence=1
- Cutullé, B., Berruti, V., Campagna, F., Colombaroni, M. B., Robidarte, M. S., Wiedemann, A., y Vázquez, M. (2012). Desarrollo y evaluación sensorial de galletitas de jengibre con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arroz y lenteja (Gallentinas). *Diaeta*, 30(138), 25-31. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-73372012000100004&script=sci_arttext&tlng=en
- Echeverría, P. C., Bosada, Y. Y. P., y Bravo, M. A. Z. (2023). Aplicación de la harina de lenteja (*Lens culinaris*) como sustituto de la harina de trigo en masas de pastelería. *Ingeniería Química y Desarrollo*, 5(01), 01-10. <https://doi.org/10.53591/iqd.v5i01.1085>
- Gómez, G., Ramos, O., Gómez, S., y Chávez, C. (2016). Estudio proximal y sensorial de galletas sustituidas parcialmente con harina de leguminosas nativas y modificadas. *Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos*, 1, 95-101. <https://studylib.es/doc/6995479/g%C3%B3mez-flores--g.-a.--ramos-herrera--o.-j.--g%C3%B3mez>
- Jiménez Ramos, F. S. (2017). Evaluación de la calidad de galletas enriquecidas con harina de arroz y lentejas elaboradas en la panadería municipal Distrito de Miraflores, Lima, 2014. https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12990/7897/Evaluaci%C3%B3n_Calidad%20de%20galletas%20enriquecidas_Harina%20de%20arroz%20y%20lentejas.pdf?sequence=1
- Machuca Flores, M. L., y Meyhuay Soto, F. J. (2017). Evaluación nutricional de galletas dulces con sustitución parcial por harina de arroz (*Oryza sativa*) y harina de lenteja (*Lens culinaris*). <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4775/Machuca%20Flores%20-%20Meyhuay%20Soto.pdf?sequence=1>
- Norma Mexicana. (1983). NMX-F-006-1983: Alimentos – Galletas. https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/NMX-F-006-1983_GALLETAS.pdf
- Secretaría de Salud. (2008). NOM-247-SSA1-2008: Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. <https://www.normasoficiales.mx/nom/como-citar-norma-oficial-mexicana-formato-apa>

Silva Lizárraga, R. R. (2021). Desarrollo de galletas libres de gluten evaluando sus parámetros fisicoquímicos y sensoriales. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/291672e7-18f0-45c3-b528-f786f46ea263/content>

Venegas Guijarro, N. C. (2016). Desarrollo de una galleta libre de compuestos alérgenos a base de granos y cereales no tradicionales ecuatorianos (Bachelor's thesis). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/36841/1/D-CD88473.pdf>

Capítulo V

MODELACIÓN DE LAS CINÉTICAS DE LIBERACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE HOJAS DE PIMENTA DIOICA (L.) DURANTE EL PROCESO DE HIDRODESTILACIÓN

Josafat Alberto Hernández Becerra
Angélica Alejandra Ochoa Flores
Mireya Martínez Rodríguez
Luisa Fernanda Jiménez Castellanos
Juan Carlos Aguilar Arpaiz

RESUMEN

El aceite esencial de frutos y hojas del árbol de *Pimenta dioica* (L.) es muy apreciado en mercado internacional por sus aplicaciones en la industria de los alimentos, perfumería y cosmética. Éstos son obtenidos mediante hidrodestilación de hojas o frutos. En este proceso el rendimiento cambia en función del tiempo, por lo que para optimizar el proceso es necesario contar con modelos cinéticos que lo describan y estimen parámetros tales como la constante de cambio (k) o la tasa de liberación inicial (V_0). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el modelo matemático de Monod estimando los principales parámetros cinéticos involucrados. Hojas de *Pimenta dioica* frescas (recortes de 1 cm^2 u homogenizadas en licuadora), así como deshidratadas (recortes de 1 cm^2 o en polvo) fueron sometidos a hidrodestilación bajo una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una relación Agua/sólidos de 5. Muestras del condensado fueron recolectadas y sometidas a extracciones líquido-líquido con éter de petróleo, evaporándolo el solvente y estimando gravimétricamente el aceite extraído. El rendimiento acumulado observado fue ajustado mediante regresión no lineal a una ecuación de tipo Monod, estimando el rendimiento máximo (R_{max}), la constante cinética (K) y V_0 . Los resultados indicaron un adecuado ajuste al modelo, no encontrando evidencia significativa de falta de ajuste ($p > 0.05$). Los rendimientos acumulados obtenidos para los recortes de hojas frescas y hojas frescas

sometidas a homogenización fueron de 984.09 ± 149.3 mg/100 g BS y 926.34 ± 95.1 mg/100 g BS respectivamente. En recortes de hojas deshidratadas y polvo de éstas, los rendimientos fueron de 2014.63 ± 64.85 mg/100 g BS y 1853.35 ± 77.91 mg/100 g BS respectivamente.

Palabras clave: Pimenta dioica (L.), Aceite esencial, Hidrodestilación, Modelación

Introducción

En el estado de Tabasco se cultiva un árbol cuyo fruto seco es reconocido como una especia ampliamente valorada en el comercio internacional. Ésta especia se le conoce comúnmente como pimienta gorda, pimienta de Jamaica, pimienta guayabita, pimienta dulce, pimienta inglesa, malagueta y pimienta Tabasco, entre otros nombres. El nombre científico de este árbol es *Pimenta dioica* (L) Merril, siendo originario de las regiones tropicales de México y Centroamérica (Martínez-Pérez et al., 2013). México es el segundo productor a nivel mundial de esta especia, alcanzando en el año 2022 una producción de 10,265.34 toneladas, siendo los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco los principales productores (SIAP, 2022).

En la cocina internacional, los frutos secos del árbol de *Pimenta dioica*, generalmente son empleados como condimento en diversos platillos, formando parte importante en el marinado de carnes y pescados, así como dando sabor a salsas y ensaladas. Uno de sus atractivos sensoriales más relevante consiste en que su olor y sabor se perciben como una combinación de clavo, canela, pimienta negra y nuez moscada, razón por la cual en el mercado internacional se le conoce como “Allspice” (Andrade-Avila et al., 2022).

Uno de los productos alto valor agregado que puede obtenerse a partir de diferentes especias son los aceites esenciales. En este contexto es de resaltar que en el año 2022 este sector de mercado representó un valor estimado de 8.8 billones de dólares, esperando que siga creciendo significativamente en los años por venir (Market and Market, 2023).

En este sentido, es de resaltar que es posible obtener aceite esencial de diferentes partes del árbol de *Pimenta dioica*, siendo las hojas y los frutos su principal fuente. Los rendimientos de aceite esencial reportados para hojas secas son de 0.5 a 3 % y de 0.3 a 1.25 % para hojas frescas. En el caso de los frutos los rendimientos varían de 3.3-4.5% (Douglas et al., 2005). Debido a sus características sensoriales y otras propiedades funcionales, el aceite esencial de

Pimenta dioica es empleado en la industria alimentaria, especialmente en la cárnica y de encurtidos, seguida por la de perfumería y cosmética (Rema y Krishnamoorthy, 2012).

DESARROLLO

La obtención de aceites esenciales a partir de diferentes plantas y frutos puede llevarse a cabo por diferentes métodos. De todos ellos, la hidrodestilación es de los más económicos y empleados, ya que involucra un bajo costo de inversión debido al empleo de equipos relativamente simples, los cuales pueden ser instalados cerca del lugar donde se encuentran la producción agrícola (Douglas et al., 2005). Si bien, la hidrodestilación es uno de los métodos de extracción de aceites esenciales más simples y baratos, la calidad del producto extraído, así como la eficiencia en la extracción, pueden verse grandemente comprometidas debido al largo periodo de tiempo y a las altas temperaturas a las que es sometido el material vegetal durante el proceso. Lo anterior se debe a que los compuestos que conforman los aceites esenciales pueden experimentar cambios químicos como hidrólisis, isomerización u oxidación, lo que hace mucho más difícil su extracción y separación, afectando directamente la calidad y el rendimiento alcanzado. (Richa et al., 2020).

Además de los largos periodos de tiempo y las altas temperaturas, otros factores podrían estar también influyendo en la manera en la que los diferentes compuestos de los aceites esenciales son liberados durante el proceso de hidrodestilación. En este sentido, el seguimiento y modelación de las cinéticas de liberación de estos aceites esenciales bajo diferentes condiciones de estudio resultan relevantes ya que permiten describir el comportamiento de liberación, estimando parámetros cinéticos como la velocidad inicial de liberación. De esta forma es posible analizar objetivamente el efecto de los diferentes factores estudiados sobre la calidad y rendimiento del aceite obtenido.

Entre los modelos cinéticos que describen la liberación de aceites esenciales durante la hidrodestilación destacan los modelos de primer orden, segundo orden y el modelo de Monod. El modelo cinético de Monod (Ec 1 y 2) fue inicialmente propuesto para describir procesos de cinética enzimática estimando parámetros que explican la relación enzima-sustrato, así como el comportamiento de la reacción enzimática. No obstante, este modelo ha sido también planteado para investigar la cinética de producción de aceites esenciales de

diferentes productos vegetales, encontrando buen ajuste de resultados experimentales con el modelo (Romero-Pineda, 2022; Palacios-Ambrosio y Castillo-Martínez, 2015). Considerando, lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el modelo matemático de Monod estimando los principales parámetros cinéticos involucrados en la liberación de aceite esencial de hojas de Pimenta dioica (L.) durante el proceso de hidrodestilación.

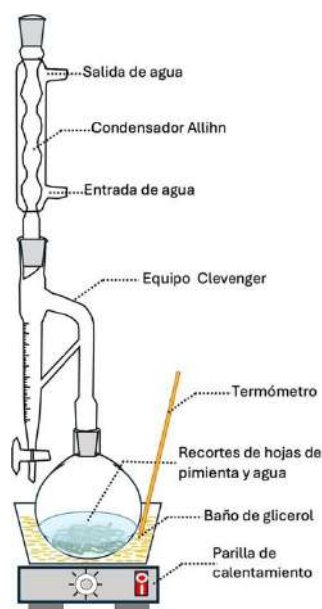
MÉTODO

Hojas de Pimenta dioica (L) fueron recolectadas de árboles ubicados en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Tabasco (17°53'1.9" N, 92°55'32.2"W) y trasladadas al laboratorio de Análisis Especiales para su acondicionamiento, preparación y análisis. En el laboratorio, las hojas fueron analizadas en su contenido de humedad según lo establecido en el método 939.06 del AOAC (AOAC, 2000). Por otro lado, las hojas fueron divididas en cuatro lotes los cuales fueron acondicionados y sometidos a un proceso de hidrodestilación con el fin de estudiar las cinéticas de liberación de su aceite esencial.

La forma en la que los cuatro lotes fueron acondicionados determinó los tratamientos a evaluar en el presente estudio. El primer tratamiento (HF R) consistió en realizar recortes de aproximadamente 1 cm², estos recortes de hojas fueron mezclados y posteriormente sometidos a proceso de hidrodestilación. El segundo tratamiento (HF RyM) consistió en realizar recortes de 1 cm², pesarlos y posteriormente homogenizarlos empleando una licuadora doméstica. El homogenizado obtenido fue posteriormente sometido al proceso de hidrodestilación. El tercer tratamiento (HS R) consistió en deshidratar las hojas bajo sombra en condiciones de humedad y temperatura ambiental. Las hojas deshidratadas fueron empeladas para obtener recortes de 1 cm² y posteriormente sometidas al proceso de hidrodestilación. El cuarto tratamiento (HS P) consistió en deshidratar las hojas de manera similar al lote anterior y posteriormente transformándolas en polvo fino, empleando una licuadora doméstica. El polvo obtenido fue posteriormente sometido a proceso de hidrodestilación.

En el caso de los recortes de hojas frescas (Tratamiento HF R), los recortes de hojas secas (Tratamiento HS R) y el polvo de hojas secas (Tratamiento HS P), éstos fueron trasvasados a matraces de fondo redondo de 2000 mL adicionándole 500 mL de agua destilada y ensamblándolos a un equipo Clevenger y éste a su vez a un condensador Allihn (Figura 1). En el caso del homogenizado de hojas frescas (Tratamiento HF RyM), éste fue preparado empleando recortes de hojas frescas moliéndolas con 500 mL de agua destilada, el homogenizado fue transferido cuantitativamente en un matraz de fondo redondo de 2000 mL y ensamblándolo al equipo Clevenger como en los otros tratamientos. La relación Agua/Sólidos (mL/g) considerada en los cuatro tratamientos fue de 5. Para asegurar un adecuado control de la intensidad del calentamiento aplicado al sistema durante la hidrodestilación, parte del matraz de fondo redondo fue inmerso en un baño de glicerol el que a su vez fue calentado empleando una placa de calentamiento eléctrica (Figura 1). La temperatura del baño de glicerol se mantuvo en $110 \pm 1^\circ\text{C}$. Cada tratamiento fue realizado por triplicado.

Figura 1. Esquema del sistema de hidrodestilación empleado durante el desarrollo del estudio.



La hidrodestilación de los tratamientos considerados en el estudio se llevó a cabo por un periodo de 6 horas, considerando como el inicio del proceso el momento en el cual se genera la primera gota de condensado la cual cae y se recolecta dentro del equipo Clevenger.

Muestras conformadas por el condensado acumulado en el equipo Clevenger fueron recolectadas a los 10, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 240, 300 y 360 min. Cada muestra fue sometida a tres extracciones líquido-líquido empleando 3 mL de éter de petróleo en cada extracción, colectando las fases etéreas, eliminado el agua en ellas mediante la adición de sulfato de sodio anhidro, separándolas y evaporando el solvente mediante corriente de aire a temperatura ambiente. El aceite esencial obtenido en cada muestra fue estimado gravimétricamente después de la evaporación del solvente.

RESULTADOS

Los valores de rendimiento acumulado, calculados para cada una de las réplicas de los tratamientos a lo largo del proceso de hidrodestilación, fueron ajustados a la ecuación de Monod (Ec. 1 y 2) (Palacios-Ambrosio y Castillo-Martínez, 2015).

$$R(t) = R_{max} \cdot \frac{t}{K+t} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\frac{1}{R(t)} = \frac{K}{R_{max}} \cdot \frac{1}{t} + \frac{1}{R_{max}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: $R(t)$ representa el rendimiento de aceite esencial al tiempo t , R_{max} corresponde al rendimiento máximo obtenible, K la constante cinética de velocidad de extracción y t el tiempo.

Mediante regresión no lineal, empleando el software KaleidaGraph Ver 5.0.3 (Synergy Software, 2022), se estimaron los parámetros cinéticos de R_{max} y K para cada tratamiento. A partir de los valores estimados de R_{max} y K , la velocidad o tasa de liberación inicial del aceite esencial (V_0) fue calculado considerando que ésta corresponde al valor de la pendiente de la recta tangente a la curva descrita por el modelo de Monod cuando $t=0$. Por otro lado, el rendimiento acumulado observado al cabo de las 6 horas de hidrodestilación, así como los parámetros cinéticos previamente estimados fueron considerados dentro de un Análisis de varianza (ANOVA) con posterior comparación de medias (Tukey, $p < 0.05$). Para ello se empleó el software Minitab (©2022 Minitab, LLC. All Rights Reserved).

Los resultados indicaron un contenido de humedad en las hojas frescas de Pimiento dioica de 37.05 ± 3.18 . Por otro lado, después del proceso de deshidratación bajo condiciones de humedad y temperatura ambiental, las hojas alcanzaron un contenido de humedad del 7.46 ± 0.39 .

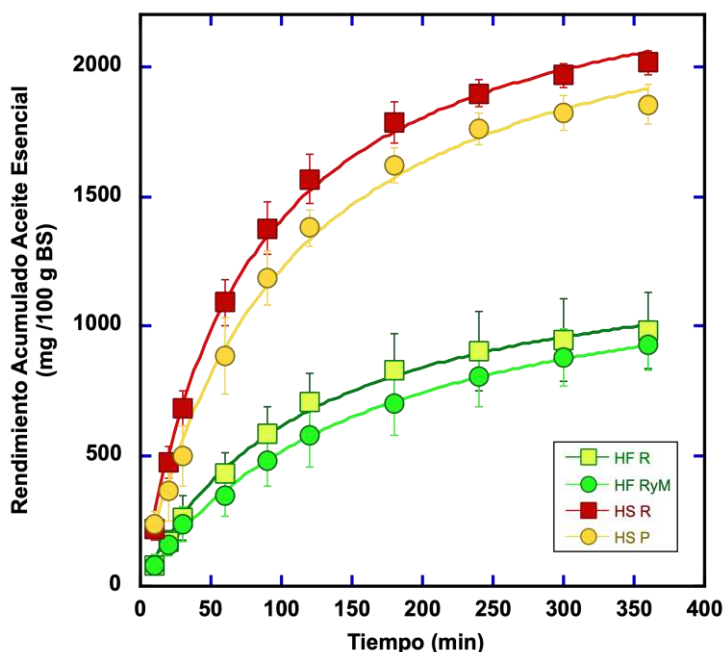
En relación con los resultados de rendimiento acumulado observados para cada uno de los tratamientos a lo largo de la hidrodestilación, el modelo de Monod demostró ser muy adecuado obteniendo valores de R^2 superiores a 0.099, no encontrando evidencia significativa de falta de ajuste al modelo ($p > 0.05$) (Tabla 1). En este mismo sentido, en la figura 2, se puede observar que los rendimientos acumulados observados en cada uno de los tratamientos experimentales considerados en este estudio (cuadros y círculos) se ubican de manera muy cercana a los valores predichos por el modelo (líneas continuas) confirmado el buen ajuste al modelo.

Tabla 1. *Parámetros cinéticos estimados a partir de las curvas de liberación de aceite esencial ajustadas al modelo de Monod para cada uno de los tratamientos sometidos a hidrodestilación.*

	Tratamientos			
	HF TR	HF R y M	HS R	HS P
Rmax (mg/100g)	1333.40 \pm 188.22	1356.47 \pm 18.57	2506.20 \pm 19.37	2460.47 \pm 106.13
K (min)	117.95 \pm 15.86	170.45 \pm 61.32	78.55 \pm 17.37	102.89 \pm 27.05
Vo (mg/min)	11.50 \pm 2.75	8.62 \pm 2.83	32.68 \pm 6.98	24.83 \pm 5.36
R^2	0.9970 \pm 0.0016	0.9980 \pm 0.0020	0.9982 \pm 0.0004	0.9960 \pm 0.0031
p falta de ajuste*	0.997	1.000	0.499	0.654

Nota: *Valor de probabilidad estimada a partir de prueba estadística de falta de ajuste al modelo.

Figura 2. *Rendimiento acumulado de aceite esencial liberado (mg/100 g BS) durante el proceso de hidrodestilación llevado a cabo a partir de: recortes de hojas frescas (HF R), homogenizado de hojas frescas (Tratamiento HF RyM), recortes de hojas secas (HS R) y hojas secas pulverizadas (HS P). Las líneas continuas corresponden al mejor ajuste de los datos al modelo de Monod (Ec. 1).*



Nota: Elaboración propia.

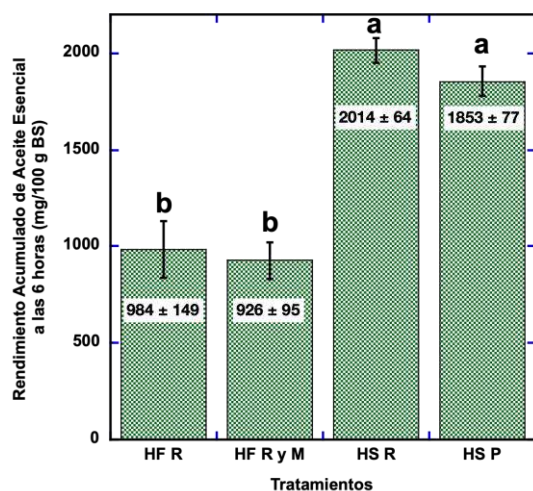
Al comparar el comportamiento cinético a lo largo de la hidrodestilación de cada uno de los tratamientos estudiados se observa un mayor rendimiento acumulado de aceite esencial en el caso de los tratamientos realizados con hojas secas recortadas (HS R) y en polvo (HS P) en contraste con los tratamientos llevados a cabo con hojas frescas (HF R, HF RyM). Lo anterior se aprecia desde los primeros 10 minutos de iniciado el proceso (Figura 2). La diferencia en el rendimiento observado entre las hojas frescas y las hojas secas puede deberse a la diferente relación Agua/Sólidos secos presentes en el medio. Aunque en los tratamientos realizados con hojas frescas la masa húmeda de éstas fue de 100 g, en realidad la proporción de masa seca fue de 62.95g (considerando un contenido de humedad en las hojas frescas de 37.05 %), en contraste, la masa de hojas secas fue de 100 g, que considerando su contenido de humedad (7.46%), su masa seca correspondería a 92.54 g.

El anterior planteamiento establece que en el caso de los tratamientos realizados con hojas frescas la proporción de agua en el medio fue mayor que en el caso de los tratamientos llevados a cabo con hojas secas. La relación Agua/Sólidos es un factor relevante dentro del proceso de hidrodestilación ya que el agua es el medio de convección a través del cual la energía calórica alcanza los tricomas glandulares que contienen el aceite esencial a liberar. Así, tratamientos en donde hay una mayor proporción de agua aunado a una alta intensidad

de calentamiento del sistema durante un tiempo prolongado puede ocasionar que compuestos sensibles presentes en el aceite esencial experimenten reacciones de degradación, tales como hidrólisis, isomerización u oxidación (Richa et al. 2020; Olascuaga-Castillo et al., 2024; Lainez-Ceron et al., 2021). Esto puede provocar que dichos componentes se solubilicen en el entorno acuoso y no puedan ser recuperados, en consecuencia, los rendimientos alcanzados pueden reducirse significativamente. En la figura 3 puede apreciarse esta diferencia significativa en los rendimientos acumulados obtenidos después de 360 min de hidrodestilación en los casos en donde se emplearon hojas secas en contraste con los tratamientos en donde se emplearon hojas frescas.

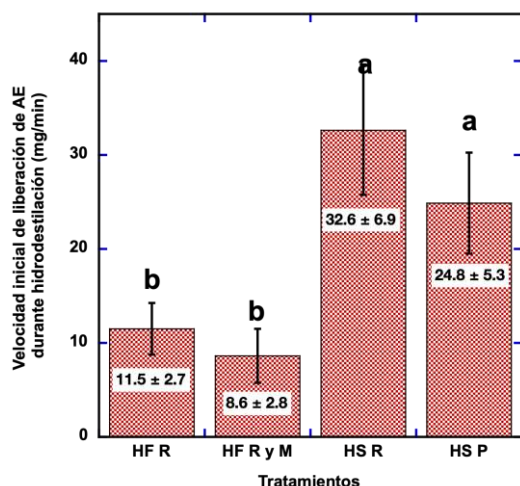
Las velocidades iniciales (V_0) estimadas para cada tratamiento también mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), dependiendo de las condiciones del tipo de hojas de *P. dioica* consideradas en los tratamientos (Figura 4). La razón de lo anterior puede coincidir con lo observado en el caso de los rendimientos acumulados, esto debido a la estrecha vinculación existente entre la velocidad inicial de liberación de los aceites y el rendimiento finalmente obtenido.

Figura 3. Rendimiento acumulado de aceite esencial (mg/100 g BS) obtenido después de 360 min de hidrodestilación llevado a cabo con: recortes de hojas frescas (HF R), homogenizado de hojas frescas (Tratamiento HF RyM), recortes de hojas secas (HS R) y hojas secas pulverizadas (HS P). Cada valor mostrado corresponde al valor medio \pm desviación estándar de tres replicas. Valores que no comparten letra entre los tratamientos son significativamente diferentes ($p < 0.05$).



Nota: Elaboración propia.

Figura 4. *Velocidad inicial de liberación de aceite esencial (mg/min) calculada a partir de las cinéticas de hidrodestilación de los tratamientos llevados a cabo con: recortes de hojas frescas (HF R), homogenizado de hojas frescas (Tratamiento HF RyM), recortes de hojas secas (HS R) y hojas secas pulverizadas (HS P). Cada valor mostrado corresponde al valor medio \pm desviación estándar de tres replicas. Valores que no comparten letra entre los tratamientos son significativamente diferentes ($p < 0.05$).*



Nota: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

El modelo de Monod evaluado en el presente estudio se ajustó adecuadamente a los resultados de rendimiento acumulado de aceite esencial de *P. dioica* (L.) obtenidos a lo largo del proceso de hidrodestilación, siendo posible estimar parámetros cinéticos relevantes para la descripción y análisis de los factores que influyen en el proceso.

PROPUESTAS

Continuar con el estudio de los diferentes factores que estarían influyendo en la cantidad y calidad del aceite esencial obtenido a partir de las hojas del árbol de *Pimenta dioica*. Estos estudios podrían incluir la modelación de las cinéticas de hidrodestilación, estimado los principales parámetros cinéticos y contrastándolos con el objetivo de identificar condiciones óptimas de procesamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Ávila, Y., Cruz-Olivares, J., y Pérez-Alonso, C. (2022). *Antioxidants effect and medicinal propoities of allspice essential oil*. In Santana-DeOliveira, M., DeAguilar-Andrade, E., and Blumenberg, M., editors, *Essential oils - Advances in extractions and biological applications*. Biochemistry. IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.103001.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International, Volume 2*. AOAC International, 17 edición.
- Douglas, M., Heyes, J., y Smallfield, B. (2005). *Herbs, spices and essential oils. post-harvest operatios in developing countries*. Technical report, Institute for Crop and Food Research Inc. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ad420e>
- Lainez-Ceron E, Jimenez-Munguia M y Lopez-Malo A (2021) *Effect of process variables on heating profiles and extraction mechanisms during hydrodistillation of Eucalyptus essential oil*. Heliyon 7: e08234.
- Markets y Markets. *Essential oils market analysis and report summary, 2023*. disponible en línea en: <https://www.marketsandmarkets.com/market-reports/essential-oil-market>.
- Martínez-Pérez, D., Hernández-García, M., y Martínez-González, E. (2013). *La pimienta gorda en México (Pimenta dioica L. Merril): Avances y retos en la gestión de la innovación*. Colección Trópico Húmedo. Universidad Autónoma de Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/284>
- Olascuaga-Castillo K, Castillo-Medina O, Villacorta-Zavaleta M, Diaz-Ortega J, Blanco-Olano C, Altamirano-Sarmiento D y Valdiviezo-Campos J (2024) *Extraction of essential oils by hydrodistillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition*. Scientia Agropecuaria 15(3):385–408.
- Palacios-Ambrocio AL y Castillo-Martínez WE (2015) *Modelamiento de extracción del aciete esencial de Aloysia citriodora y Schinus molle*. Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación 2(2):14–24. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/8418/1/FIQ-M-2022-0830.pdf](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/8418/1/FIQ-M-2022-0830.pdf)
- Rema J, y Krishnamoorthy B. *Allspice*. In: *Handbook of Herbs and Spices*. 2nd ed. Vol. 2. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing; 2012. pp. 166-192. DOI: 10.1533/9780857095688.166
- Richa, R., Kumar, R., Shukla, R., y Khan, K. (2020). *Ultrasound assisted essential oil extraction technology: New boon in food industry*. SKUAST Journal of Research, 22(2):78–85. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ad420e>

Romero-Pineda, A. (2022). Escalamiento del proceso de hidrodestilación para la obtención de aceite esencial de Tagetes lucida Cav. Master's thesis, Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Facultad de Ingeniería Química, Morelia, Michoacán.

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/8418/1/FIQ-M-2022-0830.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola. Cultivo Pimienta. Cíclicos-Perennes. Modalidad Riego +Temporal. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Capítulo VI

CONTENIDO DE METILXANTINAS DE NUEVOS CLONES Y VARIEDADES NATIVAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) DESPUÉS DE UN PROCESO DE FERMENTACION TRADICIONAL

Franco Lucio Ruíz Santiago
Facundo Joaquín Márquez Rocha
Pedro García Alamilla
Areli Carrera Lanestosa
Josafat Alberto Hernández Becerra

RESUMEN

El cacao (*Theobroma cacao* L.), es un alimento complejo con una rica composición química. Entre sus componentes principales están las grasas, carbohidratos, proteínas y minerales; se considera además un alimento nutritivo y beneficioso a la salud ya que contiene una variedad de compuestos bioactivos como flavonoides y metilxantinas. Las metilxantinas más importantes son la teobromina y cafeína, ambas tienen efectos estimulantes, mejoran el estado de ánimo, ayuda a la salud cardiovascular y tienen efectos antioxidantes. La fermentación del grano permite obtener sustancias precursoras de aroma a través de cambios en la composición de origen para producción de chocolates especiales. La fermentación puede afectar la cantidad de los alcaloides, lo que ayuda a mejorar reducir su amargor y mejorar su aroma. La relación teobromina y cafeína ubica a las variedades de cacao en forasteros, trinitarios y criollos. En la actualidad se han creado nuevos clones para mejorar la resistencia a plagas, productividad y calidad del grano. El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de estos alcaloides y la relación teobromina cafeína (T/C) antes y después de un proceso de fermentación tradicional para nuevos clones y variedades nativas. Se observaron reducciones significativas de estos alcaloides después de la fermentación, para teobromina fue entre 5 a 27% y para cafeína de 2 a 26%, en ambos casos la variedad nativa Guayaquil presentó la menor reducción y el criollo el que presentó mayor reducción. Las

relaciones T/C ubicaron a los nuevos clones y al guayaquil dentro del grupo de cacaos trinitarios.

Palabras clave: Teobromina, cafeína, relación T/C, fermentación tradicional

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una fruta de origen tropical cuyas semillas son utilizadas para elaborar el chocolate, el derivado más exquisito que se consume en todo el mundo debido a su fino sabor, aroma y propiedades nutricionales (Gibson y Newsham, 2018; Ozturk y Young, 2017). Con el objetivo de obtener mayores rendimientos, aumentar la resistencia a enfermedades y mejorar la calidad del grano, se han desarrollado diversos clones, los cuales requieren estudios particulares para definir criterios y características de como responden en campo (Horta-Téllez et al., 2019; Barrón et al., 2014).

El tratamiento poscosecha del cacao es necesario para su industrialización y el manejo de buenas prácticas de estas fases determina su calidad final (Aguilar, 2017). La fermentación, es la principal operación poscosecha puesto que permite la generación de precursores de aroma, sabor y color. Estos cambios producen un gran número de metabolitos destacando los alcoholes, esterres y ácidos que en etapas posteriores a la fermentación se reducen o aumentan (Vázquez-Ovando, et al., 2016).

El grano de cacao se distingue por presentar una composición química compleja, contiene agua, proteína, grasa, hidratos de carbono, polifenoles, alcaloides, taninos, compuestos aromáticos, vitaminas y minerales (Cuellar, et al., 2018).

Los alcaloides en el grano de cacao están asociados con el sabor amargo. Su concentración depende de la variedad genética y se modifica con el manejo postcosecha particularmente durante el fermentado, además del procesamiento. La teobromina (3,7-dihidro-3,7-dimetil-1H-purina-2,6-diona), el principal alcaloide que se encuentra en el fruto de cacao, sus semillas y cáscaras, pertenece a una clase de alcaloides conocidas como metilxantinas, las cuales se producen de forma natural hasta en 60 diferentes especies de plantas y también incluyen a la cafeína (1,3,7-trimetil- 1H-purina- 2,6(3H,7H)-diona 1,3,7-trimetilxantina), y teofilina (nombre del químico) (Vázquez-Ovando, et al., 2016; Dang y Nguyen, 2019). La

proporción o relación de teobromina y cafeína (T/C) en el grano de cacao sirve como referencia para distinguir la clasificación genética de una variedad de cacao y esta relación es menor en cacaos criollos, además que en algunos países productores, es un indicador de la calidad del grano (Davrieux, et al., 2005).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de la fermentación tradicional en el contenido de metilxantinas en cuatro clones de cacao y dos variedades nativas, así como su relación teobromina/cafeína.

MÉTODO

Se utilizaron para el estudio cuatro clones de cacao desarrollados por el INIFAP Campo Experimental Huimanguillo, Tabasco, denominados INIFAP 1(C1), INIFAP 4(C4), INIFAP 8 (C8) e INIFAP 9 (C9) y dos variedades nativas: Criollo (Cr) y Guayaquil (G). En el estudio se empleó micro-fermentación por inserción de lotes. El inicio de la fermentación se consideró el punto inicial (T0), el primer volteo a las 48 horas (T48), el segundo a las 96 horas (T96) y el último a las 120 horas (T120). Se muestreo al inicio y después de cada volteo.

Determinación de metilxantinas (Teobromina y cafeína)

Se utilizó la técnica descrita por (Peralta-Jiménez, y Cañizares-Macías, 2013) 0.25 g de cacao deshidratado y desgrasado se mezclaron con 25 mL de agua desionizada a 80°C, se realizó la extracción con sonda ultrasónica (BIOBASE UCD-250, China) a 240 W por 180 s, enseguida, se adicionaron 1.25 mL de reactivo Carrez 1, se dejó enfriar para después filtrar. Al filtrado se añadieron entre 1.25 a 2 g de NaHCO₃ (MEYER) para después filtrar por segunda vez. Se aforó el filtrado a 25 mL con agua destilada hervida, se tomaron 5 mL del filtrado y se ajustó a un pH entre 12.5 y 12.7 con un potenciómetro (Marca: HANNA Instruments, modelo: 211, USA). Se adicionaron 5 mL de cloroformo (J.T. BAKER) y se colocó en la sonda ultrasónica a 80°C, 160 W por 30 s para su extracción, posteriormente la mezcla se llevó a centrifugación por 10 minutos a 10,000 rpm (Marca: HERMLE, Modelo Z236K, Alemania). De las 2 fases obtenidas, se tomaron 80 µL de la fase acuosa y se aforaron a 2 mL, esto para la lectura de teobromina en el espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS 10S,

Thermo Fisher Scientific, China) a 272.7 nm. Para la lectura de cafeína se tomaron 200 μ L de la fase orgánica que se aforó a 2 mL con cloroformo y leída a 275.9 nm en espectrofotómetro. Para las determinaciones se realizaron curvas de soluciones estándares de teobromina (Sigma Aldrich) y cafeína (Sigma Aldrich) de 0-50 μ g. Las determinaciones se realizaron por triplicado a muestras al inicio (T0) y al final de la fermentación (T120).

Análisis estadístico

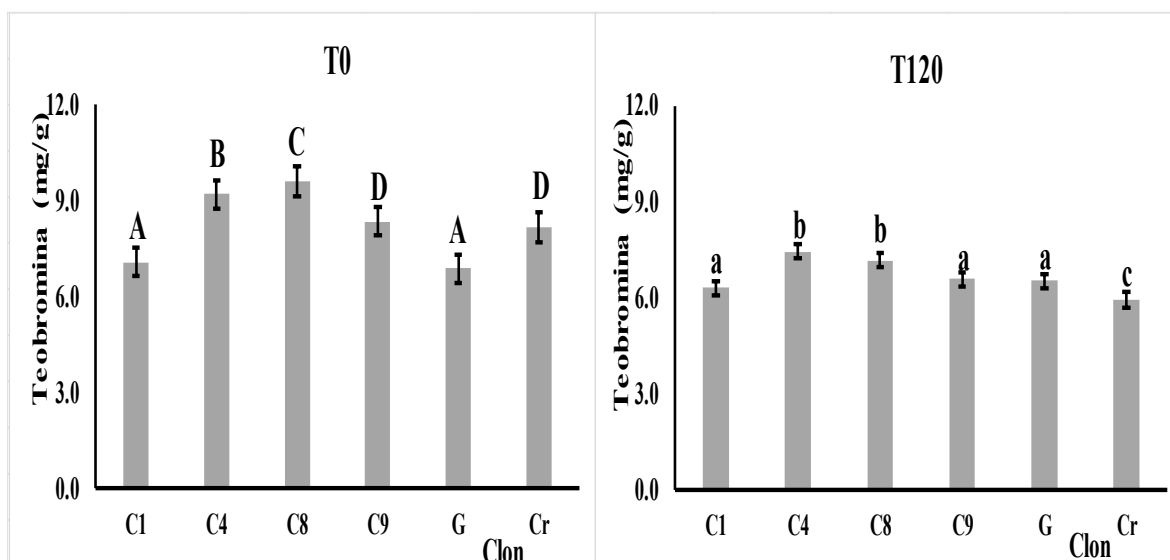
Los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se analizaron utilizando el modelo estadístico de comparación de medias en el programa MINTAB 17 (Minitab Statistical Software) y aplicando una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% para la separación de medias.

RESULTADOS

Contenido de Teobromina.

La cantidad de estos compuestos parece modificarse durante los procesos poscosecha, especialmente la fermentación. La teobromina en T0 varía de 7.6 a 10.6 mg/g, mientras que para T120 varió de 6.0 a 7.4 mg/g, esto significa que la cantidad de teobromina disminuyó significativamente en todas las muestras. En el tiempo 0 (T0) la cantidad de teobromina mostró diferencias significativas en todas las muestras, excepto en C9 y Cr, con un contenido de teobromina aproximado de 7.7 mg/g, el clon C8 mostró la mayor cantidad de teobromina que los demás (10.6 mg/g), como se observa en la Figura 1. El contenido de teobromina disminuyó en todas las muestras, siendo el menor contenido en Cr con 6 mg/g. El contenido de teobromina disminuyó ligeramente 5 % en la variedad G. El porcentaje de reducción de este alcaloide durante la fermentación coincide con lo reportado por Camino, et al. (2014) en el cual las pérdidas de teobromina durante el paso de fermentación fueron entre 20 a 25%. En este trabajo, el C8 perdió el 25% del contenido inicial de teobromina.

Figura 1. Contenido de teobromina antes y después de la fermentación de los clones y nativos

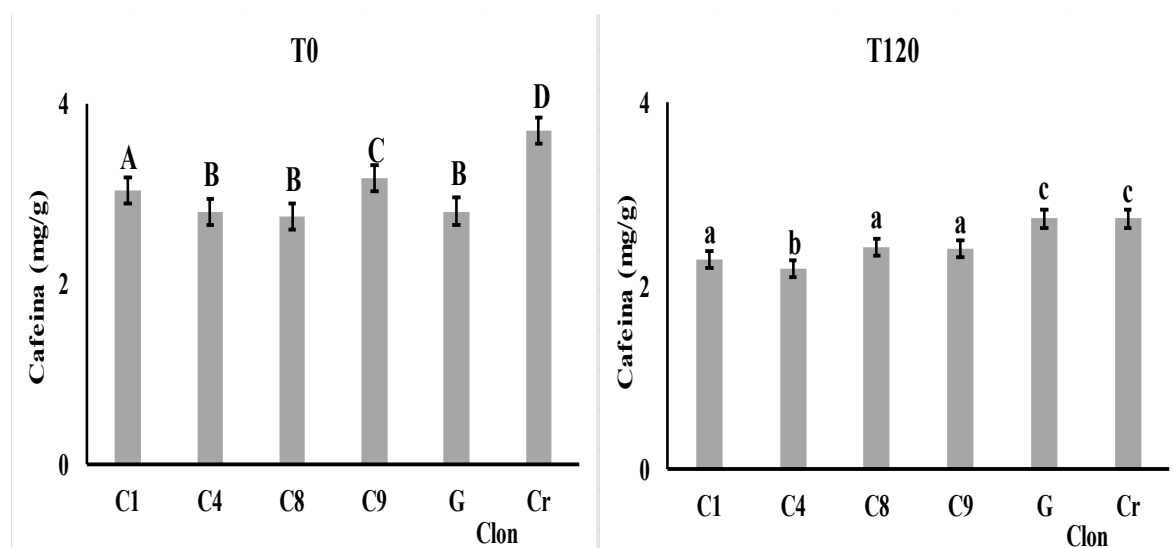


Nota: Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada tiempo.

Contenido de Cafeína.

Los valores de concentración de cafeína de todas las muestras en los tiempos T0 y T120 durante el proceso de fermentación se muestran en la Figura 2. El contenido de cafeína mostró valores en las muestras no fermentadas (T0) que variaron de 2.75 a 3.7 mg/g, destacando el valor de 3.7 mg/g presentado por la variedad Cr. Después de la fermentación (T120) a todas las muestras redujeron su concentración entre un 3 y un 26%. Siendo la muestra Cr la que disminuyó en mayor porcentaje (26%) y la G la de menor reducción (3%). En cuanto a los clones, C1 y C9 fueron los que presentaron mayor pérdida de este alcaloide, mientras que C8 presentó la menor reducción (12%). Este comportamiento coincide con el obtenido por Rojas-Rojas, et al. (2021) donde se alcanzaron hasta un 24% de pérdidas de este alcaloide luego de la fermentación.

Figura 2. Contenido de cafeína antes y después de la fermentación de los clones y nativos.



Nota: Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada tiempo.

Los contenidos iniciales de teobromina y cafeína de los clones de cacao y nativos varían de acuerdo con la variedad y condiciones agroclimáticas de acuerdo a lo mencionado por Kongor, et al. (2016) ; Vázquez-Ovando, et al., (2016). La reducción en el contenido de estos alcaloides después de la fermentación se debe principalmente a su difusión, así como a los exudados durante el proceso de fermentación Lima, et al., (2011), también influye en la reducción de estos alcaloides el tiempo de fermentación y época de cosecha como lo menciona y obtuvo Portillo, et al., (2014) La reducción de estos alcaloides después de la fermentación influye también en la reducción del amargor final de los derivados que se elaboran con dichos granos como lo mencionan Sánchez, (2015) ; Zapata, y Tamayo, (2013).

Relación teobromina/cafeína (T/C).

La relación T/C obtenidas en cada clon antes y después de la fermentación se muestra en la Tabla 1. No se observan diferencias estadísticamente significativas de esta relación antes y después de la fermentación. Antes de la fermentación la relación T/C los valores más altos fueron para el C8 con 3.5 y la menor fue el Cr con 2.1. Posterior a la fermentación se

observan reducciones no significativas en el C8 y G mientras que para el C1, C4 y C9 se presentaron aumentos no significativos; para el Cr, esta relación se mantuvo.

Tabla 1. *Relación Teobromina/Cafeína (T/C) de clones y variedades nativas antes y después de la fermentación tradicional*

Clon	Relación Teobromina/Cafeína (T/C)	
	T0	T120
C1	2.3a	2.8a
C4	3.2a	3.4a
C8	3.5a	3.0a
C9	2.6a	2.7a
G	2.5a	2.4a
Cr	2.1a	2.1a

Nota: Medias con la misma letra no son significativamente diferentes mediante ANOVA con prueba de Tukey ($p < 0.05$) para cada tiempo.

Los resultados concuerda con lo que establece Chevalley, (1991) como se citan en Camino, et al., (2014) donde señalan que esta relación varía entre una especie y otra, es una herramienta para poder diferenciar cacaos por su origen y puede ser un indicador de la calidad del cacao ya que a valores menores de 2, el grano presenta un sabor más fino y complejo. Davrieux, et al., (2005) mencionan que valores de 1 a 2 de T/C corresponden a cacao criollo, valores de T/C entre 2 y 4.5 corresponden a trinitarios y valores mayores a 5 son considerados Forasteros, por lo tanto, es posible señalar que los clones de cacao utilizados y la variedad nativa Guayaquil pueden considerarse como trinitarios, como resultado de la mezcla o hibridación de varios materiales genéticos. El valor obtenido de T/C para el criollo confirma que efectivamente es de esa variedad.

CONCLUSIONES

Las metilxantinas teobromina y cafeína de los clones nuevos de cacao y variedades nativas presentaron reducciones después del proceso de fermentación, esto debido principalmente a su difusión, así como a los exudados durante ese proceso. La reducción de estos alcaloides después de la fermentación influye también en la reducción del amargor final de los derivados que se elaboran con dichos granos. La relación T/C permitió distinguir el tipo de cacao utilizado donde se observó que los nuevos clones utilizados corresponden a cacaos trinitarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, H., (2017). *Actividades de poscosecha para lograr cacao de calidad* (p. 8). p. 8. Retrieved from http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/infocacao/InfoCacao_No14_Sept_2017.pdf
- Barrón, P., Azpeitia, A., López, P. y Mirafuentes-Hernández, F., (2014). Núm. 5 30 de junio-13 de agosto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 765–777. Retrieved from <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n5/v5n5a4.pdf>
- Camino, C., Espin, S., Samaniego, I., y Carpio, C., (2014). *Comparación de los niveles de grasa, alcaloides y polifenoles totales en almendras de cacao nacional fino de aroma de diferentes zonas del litoral ecuatoriano*. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 22, 34–40. Retrieved from <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3280/1/iniapscCD69.pdf>
- Cuellar, L. M., Espinosa, C. M. O., Sánchez, Y. K. A., Cruz, L. G., y Salazar, J. C. S., (2018). *Organoleptic quality assessment of Theobroma cacao L. in cocoa farms in northern Huila, Colombia*. *Acta Agronomica*, 67(1). <https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.66572>
- Dang, Y. K. T., y Nguyen, H. V. H., (2019). *Effects of Maturity at Harvest and Fermentation Conditions on Bioactive Compounds of Cocoa Beans*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(1), 54–60. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0700-3>
- Davrieux, F., Assemat, S., Sukha, D., Portillo, E., Boulanger, R., Bastianelli, D., y Cros E., (2005). *Genotype characterization of cocoa into genetic groups through caffeine and theobromine content predicted by near infra red spectroscopy*. *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 12th International Conference*, 382–386. Retrieved from https://agritrop.cirad.fr/530989/1/document_530989.pdf
- Gibson, M., y Newsham, P., (2018). *Chocolate/Cacao*. In *Food Science and the Culinary Arts* (pp. 341–352). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811816-0.00017-8>
- Horta-Téllez, H., Sandoval-Aldana, A., García-Muñoz, M., y Cerón-Salazar, I., (2019). *Evaluation of the fermentation process and final quality of five cacao clones from departament of Huila, Colombia*. *DYNA*, 86, 233–239.
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. V., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., y Dewettinck, K., (2016). *Factors influencing quality variation in cocoa (Theobroma cacao) bean flavour profile - A review*. *Food Research International*, Vol. 82, pp. 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, R. M. J., y Zwietering, M. H., (2011). *Theobroma cacao L., “The food of the gods”: Quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to the impact of fermentation*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 51, pp. 731–761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>

- Ozturk, G., y Young, G. M., (2017). *Food Evolution: The Impact of Society and Science on the Fermentation of Cocoa Beans. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 16, pp. 431–455. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12264>
- Peralta-Jiménez, L., y Cañizares-Macías, M. P., (2013). *Ultrasound-Assisted Method for Extraction of Theobromine and Caffeine from Cacao Seeds and Chocolate Products. Food and Bioprocess Technology*, Vol. 6, pp. 3522–3529. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1014-3>
- Portillo, E., Portillo, A., Grazziani, L., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., y Boulanger, R., (2014). *Efecto del tratamiento poscosecha sobre el contenido de teobromina y cafeína en cacao criollo (theobroma cacao L.)*. *Revista de La Facultad de Agronomía. Revista de La Facultad de Agronomía*, 31.
- Rojas-Rojas, K., Hernández-Aguirre, C., y Mencía-Guevara, A., (2021). *Transformaciones bioquímicas del cacao (Theobroma cacao L.) durante un proceso de fermentación controlada. Agronomía Costarricense*, pp. 53–65. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45694>
- Sánchez, J., (2015). *Extracción y cuantificación de teobromina existente en las semillas de cuatro variedades de cacao (theobroma cacao l) producidas en la provincia de el oro, 2014 (Universidad Técnica de Machala)*. Retrieved from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/4485/1/CD00736-2015-TRABAJO COMPLETO.pdf>
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., y Salvador-Figueroa, M., (2016). *Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 656(3), 239–254.
- Zapata, S., y Tamayo, A., (2013). *Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao Colombiano. Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 391–404.

Capítulo VII

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ENERGÉTICO DE SECADO SOLAR DE CACAO PARA LOS PRODUCTORES DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA DE TABASCO

Marbella Mendoza Sánchez
Erika Guadalupe May Guillermo
Aracely Celina Sánchez Albores

RESUMEN

El presente trabajo surge a partir de las necesidades de los productores de cacao del programa Sembrando Vida en Tabasco. Existen diversas problemáticas cuando se habla del secado mediante un sistema energético renovable. “El secado de cacao en la región de la Chontalpa, Tabasco, México realizado por los campesinos se realiza principalmente al aire libre en patio de cemento o bien, en secadores contruidos con madera. Con este tipo de secado puede haber contaminación con polvo, hongos y animales que afectan la inocuidad del grano seco (López y Chávez, 2018). El objetivo es analizar los beneficios de la implementación de un sistema energético de secado solar de cacao. El tiempo de secado de forma natural lleva de 6 a 7 días según la radiación solar (600 a 800 W/m²), temperatura, humedad relativa, etc. (Orna et al., 2018). La metodología es de análisis y diagnóstico que contribuye al seguimiento del secado de cacao mediante un sistema energético renovable y de manera sustentable cuyos beneficios son ayudar al productor del programa “Sembrando vida” a disminuir la exposición al sol y los riesgos a la salud, favorecer la inocuidad del grano de cacao, reducir el tiempo de secado, que representa un beneficio directo en el proceso. Propiciando la automatización, la transición energética y uso eficiente de la energía

Palabras clave: Sistema energético, secado, cacao

Introducción

El cacao es un producto que México y Mesoamérica han aportado al mundo. Su uso actual predomina en la cocina mexicana y en los productos derivados de esta semilla. Proviene del árbol del cacao, cuyo nombre científico es *Theobroma Cacao* L., que en griego significa alimento de los dioses (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADR]2021).

El estado de Tabasco, el cacao ocupa actualmente una superficie sembrada de 34,260.50 hectáreas, seguido de caña de azúcar, palma de aceite, coco, plátano y naranja. En cuanto al valor de la producción, el cacao ocupó el tercer lugar como generador de valor económico, detrás del plátano y la caña de azúcar en la región de la Chontalpa se cultiva el 90.81% de la superficie total de cacao en el estado de Tabasco, siendo el municipio de Comalcalco el principal productor en cuanto a superficie cultivada, y Cárdenas, el municipio con mayor rendimiento de cacao por hectárea.

En virtud de que esta semilla sea de alta producción en México específicamente en el estado de Tabasco y su auge económico a nivel regional y local, su obtención y procesamiento conllevan a la generación de altas ganancias económicas para los cacaoteros en el estado (Romero et al., 2016). El Programa Sembrando Vida tiene como objetivo, contribuir al bienestar de las personas sujetas de derecho que se encuentran en municipios con rezago social, mediante la producción de 2.5 hectáreas sembradas con sistemas agroforestales y/o milpa intercalada entre árboles frutales, a fin de cubrir sus necesidades alimenticias básicas.

Muchos productos agrícolas necesitan un secado posterior a la cosecha para su adecuada conservación hasta que llegan a los centros de consumo. Aun en el caso de los productos que se comercializan frescos. el secado ofrece una alternativa al agricultor. El secado al aire libre, en que los productos se exponen directamente al sol colocados en el suelo, es uno de los usos más antiguos de la energía solar y es aún uno de los procesos agrícolas más comunes en nuestro país y en muchos otros. El secado o deshidratación de alimentos se usa como técnicas

de preservación. Una de las maneras más simples para lograr el secado es exponer el material húmedo a una corriente de aire con determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad (Guillén, 2015).

Los sistemas energético-renovables se componen de una entrada, proceso y salida de energía. Tal es el caso del proceso del sistema energético de secado solar para cacao. Según Arnaud (2021) menciona que: “El principio de la técnica de secado solar consiste en captar la energía solar calentando el volumen de aire en colectores solares y conducir el aire caliente desde el colector a la cámara de secado. Scott (1993) citado por Posso (2003) señala que por un sistema energético (SE) se entiende la integración de un conjunto de componentes (o subsistemas) asociados con las diferentes etapas del proceso global de conversión de energía primaria a energía útil a ser usada en los diferentes sectores de la sociedad para la realización de sus actividades.

Objetivo

Analizar la implementación de un sistema energético de secado solar de cacao para los productores del programa Sembrando vida del estado de Tabasco.

Justificación

Con el estudio se obtienen los beneficios de la implementación de un sistema energético de secado de cacao, una tecnología renovable, automatizada y sustentable que sustituye el método tradicional de secado de cacao que usan los agricultores del programa Sembrando Vida, se disminuye los días de secado de cacao expuesto al aire libre y aumenta el ingreso para el agricultor a través del empleo de menos días de mano de obra. Además, ayuda a disminuir el impacto negativo al ambiente con el secador automatizado y renovable. Además, actualmente no hay implementación tecnológica y renovable de este tipo que se produzca en mayoría por lo tanto el objetivo de analizar la implementación resulta importante.

DESARROLLO

Producción de cacao en Tabasco

El cacao es uno de los productos más apreciados en el mercado internacional. Sus derivados tienen gran demanda y por lo tanto alto valor comercial además su industrialización representa una importante fuente de ingresos y empleos. México es el noveno productor de cacao en grano en el mundo. La producción nacional se genera principalmente en los estados de Tabasco, Chiapas, Guerrero y Oaxaca. El Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) del gobierno mexicano reporta que, en el período de 1998 a 2008 la producción promedio de Tabasco cubría el 70.1 % del total de la producción nacional. En 2010, como consecuencia de la epidemia de moniliasis, la producción nacional disminuyó. Se estima que la producción anual en México asciende a las 27 mil toneladas de producto con un valor mayor a los mil millones de pesos, sin embargo, Tabasco sigue siendo el productor mayoritario con un 60 % de la producción nacional (SIAP, 2014) citado por (García, 2017).

Sembrando vida

Sembrando Vida es un programa del Gobierno de México que busca contribuir al bienestar social de sembradoras y sembradores a través del impulso de la autosuficiencia alimentaria, con acciones que favorezcan la reconstrucción del tejido social y la recuperación del medio ambiente, a través de la implementación de parcelas con sistemas productivos agroforestales. El programa, busca atender dos problemáticas: la pobreza rural y la degradación ambiental. De esta manera, sus objetivos son rescatar al campo, reactivar la economía local y la regeneración del tejido social en las comunidades (Instituto Nacional de Economía y Cambio Climático [INECC], 2022).

Energía Solar

Salvo y Franco (2022) mencionan que, la energía solar aparece como una de las más prometedoras en cuanto a afrontar los retos del desarrollo sostenible. De acuerdo con el

Gobierno de México (2017) es la principal fuente de energía que alimenta todos los procesos de nuestro planeta, proviene de una secuencia de reacciones nucleares de fusión que ocurren en su interior, alcanzando al planeta en una hora y podría abastecer durante un año completo las necesidades energéticas a nivel mundial.

Sistema energético.

Posso (2003) define un sistema energético (SE) como la integración de un conjunto de componentes (o subsistemas) asociados con las diferentes etapas del proceso global de conversión de energía primaria a energía útil a ser usada en los diferentes sectores de la sociedad para la realización de sus actividades (Scott, 1993 citado por Posso 2023).

Radiación solar

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck, a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, pero no toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues la radiación ultravioleta de longitud de onda más corta es absorbida por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que cuantifica la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra en una superficie perpendicular, su unidad es el W/m² (vatio por metro cuadrado) (Chacón, 2008).

Secado de cacao

El primer método de secado desarrollado por el hombre consistió en la exposición directa del producto al sol. Esta técnica que todavía es utilizada hoy en día en el medio rural de los países en desarrollo presenta la desventaja de que se pierde una gran cantidad de producto ya que se contamina o deteriora por causa de las lluvias, el polvo, así como del ataque de insectos. (Rodríguez et al., 2017).

Sistema para el secado de cacao

Los sistemas que se van a considerar para realizar el proceso están basados en el calentamiento y ventilación:

- *Calentamiento.* Para realizar el proceso de calentamiento se consigue mediante el uso de combustibles, para ello es necesario entender la combustión.
- *Combustión.* Es un proceso de reacción química que consiste en oxidar un elemento, en la combustión intervienen tres factores importantes como es la energía de activación, combustible y comburente. Para su composición el comburente se utiliza el 21 % de Oxígeno y el 79 % de Nitrógeno, los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos según el uso adecuado para su proceso.
- *Ventilación.* Para la circulación de aire dentro de la cámara de secado se lo realiza de dos maneras ya sea por circulación natural o forzada.
- *Circulación natural.* Este tipo de circulación se da por la diferencia de temperaturas, se emplea en sistemas pequeños que no requieren de mucho aire para su proceso, el rango de la velocidad del aire varía entre 0,4 - 1 m/s.
- *Circulación forzada.* La circulación forzada se emplea para grandes capacidades de secado el cual es generado mediante un ventilador, además se puede manipular la velocidad en el proceso de secado, el rango a emplearse va de 0,5 - 1 m/s. (Orna et al., 2018).

Secadores Solares

Una de las principales ventajas de los secadores solares son las temperaturas más elevadas que estas presentan lo que nos da un secado más rápido y con consecuencia una humedad menor. Los secadores solares están formados básicamente por el colector solar y la cámara de secado, en el colector solar es donde el aire se calienta debido a la radiación solar y la cámara de secado es donde es puesto el producto a deshidratar, el aire que circula del colector solar a la cámara de secado se hace por circulación forzada y circulación natural. Dentro de los secadores solares se presentan dos tipos; los secadores solares directas y los secadores solares indirectos.

Secadores solares directos

Los secadores solares directos poseen la cámara de secado y el colector solar unidas haciendo que la cámara de secado también sea de colector solar recibiendo la radiación solar, en estos tipos de secadores la radiación solar es absorbida por el producto que se encuentra en la cámara de secado, este método aprovecha la energía del sol más eficientemente para secar la humedad existente en el producto. Estos modelos son más económicos debido a que combina la cámara de secado y el colector solar en una sola estructura, en lo que refiere al tipo de sistema de circulación de aire, por lo general es de circulación natural.

Las principales características de estos tipos de sistemas son los siguientes: El secado se realiza por la transferencia de calor entre los gases calientes generados por el colector solar y el producto húmedo, en donde los gases calientes extraen líquidos y separa el vapor en el producto. Es muy eficiente ya que consume más combustible por kg de agua evaporada, mientras más bajo sea el contenido de humedad en el sólido. Los gases o aires que pueden ser utilizados en la secadora directa como elemento secante puede ser aire calentado por vapor, gases de combustión, gas inerte calentado o vapor de agua sobrecalentado. La eficiencia mejora ya que incrementa la temperatura del ambiente logrando un secado más rápido.

Secadores solares indirectos

La principal característica de los secadores solares indirectos es que el colector y la cámara de secado forman dos unidades independientes entre sí, es decir la cámara de secado no recibe radiación y el colector solar es el encargado de producir el aire caliente, otra importante diferencia es la transferencia de calor y la separación del vapor, entre las principales características de estos secadores son: el calor generado se pasa al producto a través de una lámina de metal. Las temperaturas que se obtienen van desde 0 grados a 350 grados en secadoras que utilizan algún tipo de combustible. Para aumentar la eficiencia del traspaso de

calor se necesita un medio para agitar o remover el producto de la superficie metálica (García, 2017).

México tiene los elementos necesarios para el cultivo de cacao, pero en particular son tres estados los que encabezan la producción de esta semilla: Tabasco con 18 mil 858 t., Chiapas con 10 mil 282 t., y Guerrero con 289 t. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADR], 2021). El Programa sectorial desarrollo energético y energías renovables 2019-2024, tiene como misión establecer un cambio de paradigma dentro del sector energético a nivel estatal, por medio de una armonización entre las actividades de la industria energética y las comunidades donde se realizan, así como fomentar una transición energética enfocada al uso y aprovechamiento de energías renovables y la eficiencia energética; promoviendo el desarrollo de las empresas y el capital humano tabasqueño enfocado en la materia (Gobierno de Tabasco, 2025).

Transición energética.

Una transición energética es el cambio ordenado y programado de la generación de electricidad para migrar de fuentes convencionales hacia energías limpias con sustentabilidad. y se busca que este modelo sea ambientalmente más sustentable, con disminución en carbono y socialmente más incluyente. es decir, la transición es el impulso hacia nuevas fuentes de generación, donde se realizarán los procesos necesarios para incrementar el uso actual de energías limpias y renovables como insumo en los diferentes sectores productivos, sobre todo los relacionados con la generación eléctrica y el desarrollo socioeconómico del país que coadyuven a realizarla de manera eficaz, eficiente, justa, innovadora y sustentable (Secretaría de Energía [SE], s.f).

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés, 2017), la transición energética (TE) es el camino para descarbonizar el sistema energético mundial, transformándolo en uno de cero-carbono (Rivera., et al 2021).

MÉTODO

La metodología del presente estudio es documental a partir de una revisión de literatura realizada por medio de fuentes secundarias, empleando el método cualitativo, que de acuerdo con Hernández et al., (2014) se basa en la recolección de datos para entender y comprender el fenómeno a través del análisis de la información sobre la implementación de un sistema energético de secado solar de cacao para los productores del programa Sembrando vida de Tabasco, el cual consiste en identificar y comprender el desarrollo del secado de cacao, encontrar los beneficios para los productores del programa; así como, el fortalecimiento de la actividad económica de los productores con la finalidad de optimizar el secado de cacao mediante la automatización del proceso.

RESULTADOS

Se analizó que los productores del programa sembrando vida en Tabasco anualmente generan una producción en el estado que satisfacen las necesidades comerciales en el lugar. Y se identificó la necesidad de implementar un sistema energético renovable de secado de cacao encontrándose los siguientes resultados del análisis de la implementación de un sistema energético de secado solar renovable que favorezca el crecimiento tecnológico y desarrollo sustentable del sector.

1. Obtener un eficiente uso de la energía con el sistema automatizado apoyado de la ley de transición energética en Tabasco y los objetivos del desarrollo sostenible. Incrementar la aplicación de las energías renovables que den solución sostenible a actividades económicas en el estado.
2. Con el sistema energético se reduce el número de días de secado implementando secadores solares, que reducen la humedad del grano, aumento de la calidad, favoreciendo mejores beneficios como mejor sabor, olor en el producto seco.

3. Se aprovecha el recurso solar en Tabasco cuyas temperaturas oscilan entre 30 y 40 grados y más altas en el último año como en épocas de verano, que representa la materia prima renovable gratuita para implementar el sistema.
4. Se utiliza la producción de grano de cacao en Tabasco ya que se encuentra a nivel país como uno de los mayores productores de cacao y representa una ventaja competitiva de implementación de la tecnología renovable de secado.
5. Se beneficia la salud del productor disminuyendo los días que se expone al sol para secar el grano de cacao, se reducen los costos económicos con la tecnología y es más rápido el secado y menos uso de mano de obra.
6. Aprovechar los beneficios productivos y económicos para Tabasco que brinda el programa Sembrando Vida en el estado y que ha sido implementado por el gobierno federal.
7. Implementar un modelo de cuádruple hélice en el desarrollo tecnológico mediante el capital intelectual y educativo que existe en Tabasco, para hacer crecer el sector cacaotero e industrial.

CONCLUSIONES

Es necesario la implementación del sistema energético automatizado de secado que sustituya el método de secado, que controle la humedad y funcione a un nivel de temperatura idóneo que también disminuya los niveles de contaminantes y genere un buen olor, textura y en general las propiedades organolépticas del grano.

El sistema energético renovable tiene un input (entrada) que consiste en aprovechar la radiación solar en el estado, es una ventaja de recurso solar como materia prima gratuita para implementar en el sistema. El proceso consiste en transformar la materia prima que es la captación del recurso solar generando un control del sistema térmico renovable que propicia

temperatura controlada del secado del grano de cacao. El output (salida) que es el grano de cacao seco a través de un sistema energético renovable.

PROPUESTAS

Después del análisis realizado una de las propuestas esenciales es que se desarrolle tecnológicamente el sistema energético de secado solar de cacao que tanta falta hace los productores del programa sembrando vida de Tabasco y multiplicar sus resultados, sociales, económicos, renovables y ambientales. Automatizar el proceso de secado de cacao implementando energías renovables que de paso al logro de los objetivos de la transición energética en Tabasco y el desarrollo sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnaud, (05 de octubre de 2021). *Todo lo que se debe saber sobre los secadores solares*. <https://www.solarbrother.com/es/blog/todo-lo-que-debe-saber-sobre-los-secadores-solares/#:~:text=El%20principio%20de%20la%20t%C3%A9cnica,que%20se%20van%20a%20secar>.
- Chacón, C. A. Cely, Ó. E. Guerrero, F. (2008). *Diseño y construcción de un medidor de radiación solar, tecnura*, 12, (23), 13-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020605003>
- García, K. (2017). *Diseño de un secador de granos de cacao tipo invernadero con panel solar [Tesis de grado]*. Instituto Tecnológico de Villahermosa. https://villahermosa.tecnm.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio_de_tesis_2014-2020/Tesis%20Klaribel%20Garcia%20Perez.pdf
- Guillén O. (2015). *Energías Renovables. Una perspectiva ingenieril*. Trillas, Reimpreso. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Gobierno de México. (2017). *La Energía Solar - ¿Qué es la Energía Solar?* - <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/la-energia-solar-que-es-la-energia-solar?state=published>
- Gobierno de Tabasco (2025). *Programa sectorial de desarrollo energético y energías renovables de Tabasco*. <https://tabasco.gob.mx/programa-sectorial-desarrollo-energetico-y-energias-renovables-del-estado-de-tabasco-2019-2024>

- Hernández Sampieri, R, Fernández Collado, C, Baptista Lucio, María del Pilar (2014). *Metodología de la investigación* (6° ed.). México: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. . ISBN | DOI: 978-1-4562-2396-0.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. [INECC], (05 de julio de 2022) <https://www.gob.mx/inecc/articulos/programa-sembrando-vida-307254?idiom=es>
- López, I. y Chávez, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao L.*) en Tabasco, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen especial*, (21), 1-2. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1529>
- Orna, J., Chuquín N., Saquinga, L. y Cueva O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9, (2), 159-174, <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262061015/html/>
- Posso, F. (2003). *Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte tres: sistema energético basado en el hidrógeno. Geoenseñanza*, 8 (1), 49-66. <https://www.redalyc.org/pdf/360/36080105.pdf>
- Rivera, D., Díaz F. J. , y Carrillo G., (2021). Transición energética, innovación y usos directos de energía geotérmica en México: un análisis de modelado temático. *Problemas del desarrollo*, 52, (206), 115-141, <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.206.69713>
- Romero, E., Álvarez, J. y Ferrer, N. (2016). Evaluación del desempeño de un secador solar directo sobre semillas de cacao (*Theobroma cacao L.*). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20, (1), 23-28, <https://www.redalyc.org/journal/837/83747942003/html/>
- Salvo A. y Franco J. (2022) Actualización del estado de arte del secado solar de alimentos a partir de una revisión bibliográfica latinoamericana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23, (2), 101. <https://www.redalyc.org/journal/813/81373798003/html/>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADR] (02 de septiembre de 2021). Cacao, cultivo con historia tangible en nuestro presente. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cacao-cultivo-con-historia-tangible-en-nuestro-presente>
- Secretaría de energía (s.f). Transición energética. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610957/Cap3_-_Transicio_n_Energe_tica_WEB.pdf

Capítulo VIII

ANÁLISIS TERMODINÁMICO Y AMBIENTAL DE LA COMBUSTIÓN EN VEHÍCULOS DE GASOLINA ADAPTADOS A GAS NATURAL

Ignacio de Jesús Gómez Rosales
Imer López Grijalva
Luisa Fernanda May Álvarez
Dorieamy Esther Estrada Villegas

RESUMEN

La mayoría de los vehículos utilizan la gasolina como combustible para su funcionamiento, lo cual genera contaminación al ambiente y, a su vez, hace vulnerable a la economía nacional. Hoy en día, los automóviles están siendo adaptados para que funcionen con Gas Natural Vehicular (GNV) teniendo como propósito la disminución de la contaminación y el gasto financiero por el costo del combustible tradicional. En esta investigación se realizó el análisis teórico de la eficiencia de segunda ley obteniendo condiciones o valores de parámetros de funcionamiento donde existe la máxima eficiencia posible. Se aplicó los principios de balance de masa y energía para definir las componentes presentes en la reacción de combustión y sus exergías específicas involucradas en la entrada y la salida del motor, respectivamente. Con ello, se observó el efecto que tiene en la eficiencia exergética la variación de la temperatura, presión y flujo másico del aire, combustible y salida en el motor, así como del exceso de aire suministrado. Cabe resalta que se examinó que el uso del GNV disminuye la generación del CO_2 y mantiene relativamente su eficiencia conforme incrementa el exceso de aire comparado con la gasolina. Así pues, fue posible determinar que este nuevo sistema de adaptación en vehículos de combustión tradicional a Gas Natural Vehicular es viable debido a su factibilidad energética, ambiental, económica y, en su defecto, social.

Palabras clave: Gas natural, Exergía, Automóviles

Introducción

Se ha demostrado que combatir el cambio climático requiere una conversión fundamental en los patrones de producción y consumo de energía que no entre en conflicto con el progreso humano y el desarrollo económico. El acceso a una energía asequible, confiable y sostenible también se ha incluido en la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Al mismo instante, el suministro de energía procedente de la fuente tradicional de combustibles fósiles ha aumentado enormemente el nivel de carbono en la atmósfera. Por lo tanto, en los ODS también se enfatiza que el acceso a la energía debe proporcionarse de manera económicamente viable y ambientalmente sostenible mediante el uso de fuentes de energía emergentes tanto convencionales como no convencionales (Sepúlveda et al., 2019).

A través del tiempo se han propuesto estrategias de consumo y producción de gases para el abastecimiento del transporte, industrias, etc. Sin embargo, la existencia de mayor demanda tiene como consecuencia el requerimiento de mayores cantidades de combustibles, esto a su vez trajo consigo la venta ilegal de combustibles que generan daños tanto al ambiente como accidentes automovilísticos. Por lo que la búsqueda del uso del Gas Natural Vehicular (GNV) tiene como propósito desarrollar una alternativa más eficiente a la que se maneja actualmente, tal es el caso de las investigaciones desarrolladas por Linares y Guzmán (2018), y Mantilla et al. (2015).

En México circulan más de 45 millones de vehículos automotores, cifra que incluye automóviles, camiones, camionetas para pasajeros, camiones para carga y motocicletas, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El GNV presenta ventajas como la reducción del CO: 95%, CO₂: 20%, Hidrocarburos: 90%, siendo menos contaminante que los combustibles fósiles convencionales (GNVTEC, s.f.). Por tal motivo, se han diseñado normas para la regulación y uso de GNV como es la PROY-NOM-234-SCFI-2019 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2020), la cual indica los requisitos mínimos de seguridad para el GNV en las instalaciones vehiculares y la NOM-010-ASEA-2016 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2017) con

especificaciones de los requisitos mínimos de seguridad para terminales en almacenamiento y estaciones de suministro de GNC.

Las comparaciones realizadas entre la gasolina magna y el GNV muestran que se tiene un 56% de ahorro económico para el usuario, por lo que económicamente el GNV es más rentable; de igual manera, éste presenta un sistema de control de cargas, ya que su prioridad es garantizar la seguridad de todos los vehículos que operan con GNV (AMGNV, 2021; GNVTEC, s.f.; Johnson, 2021). Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) y Wood Mackenzie, se prevé que la demanda de gas natural (GN) aumentará en un 50% en 2035; por lo tanto, el GN superará al carbón en la futura combinación energética mundial (Martínez, 2019; Safari, 2019).

Por otro lado, el análisis energético en la cámara de combustión del metano ha sido estudiado ampliamente desde los libros de termodinámica (Çengel y Boles, 2011, p. 772), hasta los más especializados. En ellos, se describen las bases teóricas de la reacción de la combustión mediante un análisis estequiométrico, tomando como ejemplo el gas CH_4 . Un análisis similar se expresa en el artículo de Som y Datta (2008), con la diferencia de considerar las expresiones de exergías para determinar la eficiencia exergética, destrucción de exergía y generación de entropía. Actualmente, no se ha realizado el análisis de segunda ley en la cámara de combustión considerando las componentes del gas natural en vehículos GNC.

Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo determinar las condiciones de máxima eficiencia en la cámara de combustión de vehículos a gasolina cuando se encuentra en funcionamiento con gas natural, teniendo como objetivos específicos:

- Definir la reacción química de la combustión del gas utilizado en los vehículos adaptados a gas natural.
- Determinar las fracciones molares de los reactivos y productos de la reacción química.
- Encontrar la expresión que determine las exergías específicas involucradas en el proceso de combustión.
- Determinar las exergías de entrada y salida con base en las proporciones de cada componente de la reacción química.

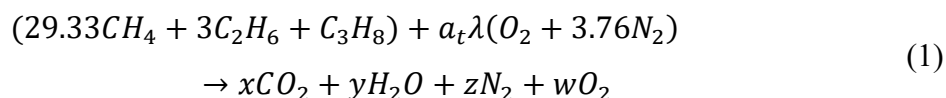
- Realizar gráficas de la eficiencia exergética y emisiones de CO₂ para la obtención de valores donde se observe el mejor aprovechamiento de la energía y menor contaminación, respectivamente.

Así pues, en esta investigación se busca encontrar la mejor eficiencia en tanto a la combinación GNV-combustible, para conocer su mayor aprovechamiento y contribuir a la mejora del uso de los combustibles tanto tradicionales como el GNV, tomando en cuenta la búsqueda de protección al medio ambiente y al ser humano.

DESARROLLO

Los automóviles que son modificados a gas natural operan con dos tipos de combustibles, una con gasolina y otra con gas natural, realizándose una reacción de combustión liberando la energía necesaria para mover los vehículos. Las componentes y proporciones del gas natural que es usado en México son 88% Metano (CH₄), 9% Etano (C₂H₆) y 3% Propano (C₃H₈). “Los combustibles hidrocarburos líquidos son mezclas de muchos hidrocarburos diferentes, por conveniencia suele considerarse como uno sólo, por ejemplo, la gasolina se trata como octano C₈H₁₈” (Çengel y Boles, 2011, p. 772).

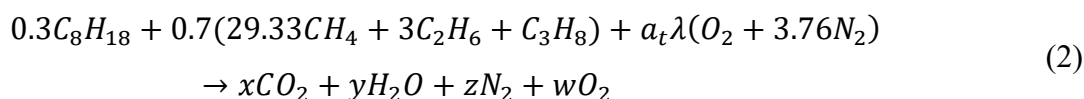
Los principios básicos de combustión, balance de masa y energía son considerados en la reacción química para determinar la ecuación estequiométrica correspondiente, considerando 1 kmol de combustible, quedando de la siguiente manera:



Los primeros tres términos dentro del primer paréntesis corresponden al gas natural utilizado en los vehículos. El segundo grupo de compuestos es el aire que entra al motor para que suceda la reacción de combustión. Las fracciones molares de los productos de ecuación química queda expresado en función de λ , el cual representa la cantidad de aire en exceso que entra a la cámara

de combustión; un valor de 1 indica 100% de aire necesario para que la combustión sea completa, y un valor de 1.6, existe un exceso de 60% de aire. Por último, en el lado derecho de la ecuación se encuentran los productos de acuerdo con las bases teórica de la combustión y la conservación de la masa.

En esta investigación, se realiza una comparación del GNV con la gasolina, entonces a la Ec. (1), se debe agregar la formula química que relaciona a este combustible (C_8H_{18}). Es importante considerar al combustible, en este caso de estudio, como la mezcla de GNV y gasolina, por lo que debe tomarse en cuenta la proporciones de ambos, por ejemplo, cuando el combustible que entra es 30% gasolina y 70% GNV es expresa como:



Son cuatro casos que se consideran para este proyecto, el primero es cuando opera con 100% gasolina, el segundo con 75% gasolina y 25% GNV, el tercero con 25% gasolina y 75% GNV, y por último cuando es 100% GNV; con ello es posibles calcular el aire teórico (a_t).

El aire teórico (a_t) se calcula de acuerdo con los porcentajes mencionados anteriormente y la conservación de la masa; los valores determinados se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Valores de aire teórico de la investigación*

Caso de estudio	Aire teórico (a_t)
I. 100% Gasolina	12.5
II. 75% gasolina, 25% GNV	27.915
III. 25% gasolina, 75% GNV	58.745
IV. 100% GNV	74.16

Nota. Valores del aire teórico para cada caso de estudio considerado en la investigación (Elaboración propia).

La determinación de las cantidades de los productos (x, y, z, w) se realiza mediante el balanceo estequiométrico para cada uno de los casos.

Tabla 2. Valores molares de cada producto de la reacción de combustión.

Caso de estudio	x	y	z	w
I. 100% Gasolina	8	9	47λ	$12.5 (\lambda - 1)$
II. 75% gasolina, 25% GNV	15.58	24.67	104.96λ	$27.92 (\lambda - 1)$
III. 25% gasolina, 75% GNV	30.75	56	220.88λ	$58.75 (\lambda - 1)$
IV. 100% GNV	38.33	71.66	278.84λ	$74.16 (\lambda - 1)$

Nota. Valores de las fracciones molares de cada producto de la reacción de combustión (Elaboración propia).

La eficiencia exergética (η_{II}) de la combustión para cada uno de los casos mencionados se puede determinar mediante la Ec. (3) (Som y Datta, 2008, p. 355).

$$\eta_{II} = \frac{\dot{X}_{ex}}{\dot{X}_{in}} \quad (3)$$

Donde \dot{X}_{in} y \dot{X}_{ex} son las exergías de entrada y de salida, respectivamente. Para los datos del punto de entrada se toman en cuenta las exergías específicas de los reactivos, los cuales corresponde al combustible y el aire.

$$\dot{X}_{in} = \dot{m}_a x_a + \dot{m}_f x_f \quad (4)$$

Las expresiones \dot{m}_a y \dot{m}_f son la tasa de flujo de masa del aire y combustible, respectivamente, dentro del combustor; mientras que x_a y x_f son las exergías específicas del aire y combustible.

La exergía específica de cada componente de la reacción de combustión se determina de acuerdo con la Ec. (5) (Som y Datta, 2008, p. 357).

$$x_k = (h_k - h_r) - T_r(s_k - s_r) \quad (5)$$

Donde h y s se refiere a la entalpía y entropía específicas, respectivamente, con el subíndice k refiriendo al compuesto y r refiriendo a la exergía referente al ambiente.

Los términos del lado derecho pueden ser evaluados mediante las Ec. (6) y (7).

$$(h_k - h_r) = \int_{T_r}^{T_k} c_{p_k}(T) dT \quad (6)$$

$$(s_k - s_r) = \int_{T_r}^{T_k} \frac{c_{p_k}(T)}{T} dT - \frac{R}{M_k} \int_{p_r}^{p_k} \frac{dp}{p} \quad (7)$$

En donde $c_{p_k}(T)$ es el calor específico de cada componente de la reacción en función de la temperatura, R , M_k , T y p son la constante universal del gas, el peso molecular de cada molécula, la temperatura y presión, respectivamente. Además,

$$c_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (8)$$

Donde los valores de A, B, C, D y E de cada sustancia presentes en la reacción de combustión descrita anteriormente, se ve reflejada en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de A, B, C, D y E para determinar c_p de cada sustancia.

Formula	Sustancia (k)	A	B	C	D	E	Rango (K)
H ₂ O	Agua (g)	33.933	-8.4186E-03	2.9906E-05	-1.7825E-08	3.6934E-12	100-1500
---	Aire (g)*	28.11	0.1967E-02	0.4802E-05	-1.966E-09	-----	273-1500
CO ₂	Dióxido de carbono (g)	27.437	4.2315E-02	-1.9555E-05	3.9968E-09	-2.9872E-13	50-1500
C ₂ H ₆	Etano (g)	28.146	4.3447E-02	1.8946E-04	-1.9082E-07	5.3349E-11	100-1500
CH ₄	Metano (g)	34.942	-3.9957E-02	1.9184E-04	-1.5303E-07	3.9321E-11	50-1500
N ₂	Nitrógeno (g)	29.342	-3.5395E-03	1.0076E-05	-4.3116E-09	2.5935E-13	50-1500
C ₈ H ₁₈	Octano (l)	82.736	1.3043E+00	-3.8254E-03	4.6459E-06	-----	217-512
O ₂	Oxígeno (g)	29.526	-8.8999E-03	3.8083E-05	-3.2629E-08	8.8607E-12	50-1500
C ₃ H ₈	Propano (g)*	-4.04	30.48E-02	-15.72E-05	31.74E-09	-----	273-1500

Nota. Valores para poder determinar la capacidad calorífica a presión constante en función de la temperatura (Coker, 2010; Çengel y Boles, 2011).

Por otro lado, para el caso del flujo de salida se hace valer la ley de conservación de la masa, entonces

$$\dot{m}_{out} = \dot{m}_a + \dot{m}_f \quad (9)$$

La exergía de salida que se contempla en esta investigación es

$$\dot{X}_{out} = \dot{m}_{out} (y_{CO_2} \cdot x_{CO_2} + y_{H_2O} \cdot x_{H_2O} + y_{N_2} \cdot x_{N_2} + y_{O_2} \cdot x_{O_2}) \quad (10)$$

Donde x y y representan la exergía específica y fracciones molares de los gases producto, respectivamente. Como bien se sabe la fracción molar de cada compuesto k es igual al número molar del compuesto en específico entre el número molar del producto de la reacción.

$$y_k = \frac{N_k}{N_{prod}} \quad (11)$$

Una vez definidas todas las ecuaciones y variables involucradas que permiten caracterizar el sistema, se introducen en un programa que permita graficar, para posteriormente estudiar cada una, interpretar los resultados y observar las situaciones cuando se logra aprovechar la mayor cantidad de energía posible dentro del motor y la menor cantidad de emisión de CO_2 .

MÉTODO

En general, se puede determinar las condiciones de máxima eficiencia exergética y menor emisiones de CO_2 en una cámara de combustión de vehículos a gasolina cuando se encuentra en funcionamiento con gas natural considerando el siguiente procedimiento (Bejan, 2006; Som y Datta, 2008):

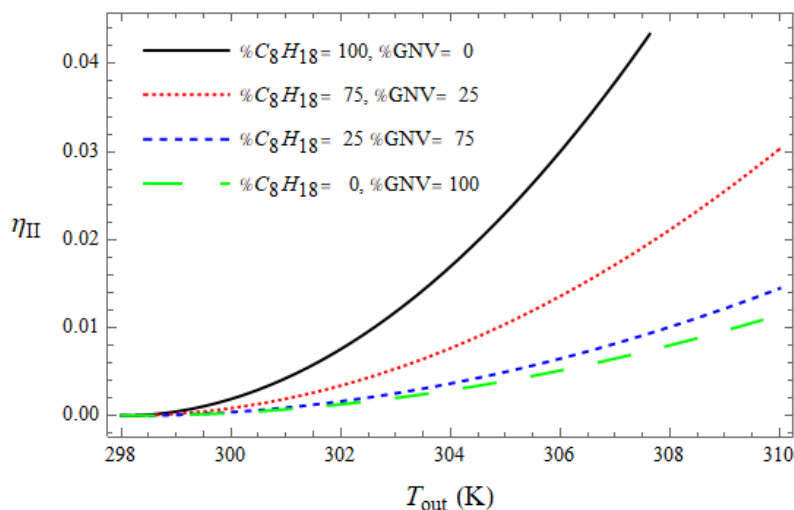
- Definición de la reacción química de combustión tomando en cuenta el combustible utilizado en los vehículos adaptados con gas natural
- Determinación de fracciones molares de los reactivos y productos involucrados en la reacción química
- Descripción matemática de las exergías específicas, de entrada y de salida en el proceso de combustión

- Generación de gráficas de eficiencia exergética y emisión de dióxido de carbono con respecto a parámetros que caracterizan la cámara de combustión
- Análisis de las condiciones de operación donde se logra el mayor aprovechamiento de energía y menor producción de dióxido de carbono

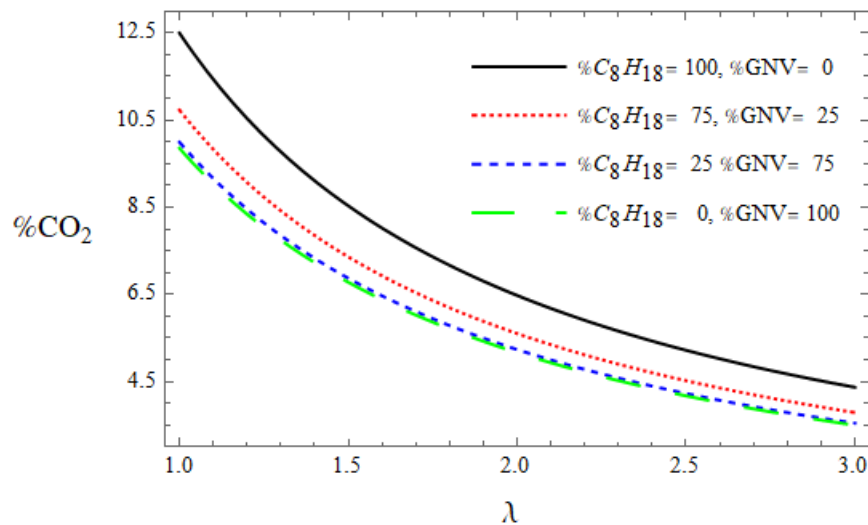
RESULTADOS

En la Figura 1 se aprecia la eficiencia exergética del combustible dentro de la cámara de combustión a medida que pasa de 100% de gasolina a 100% de gas natural. Como es evidente, la gasolina proporciona mayor eficiencia debido a su mayor capacidad calorífica en comparación con el GNV. También se puede observar que cuando se incrementa la temperatura de salida aumenta la η_{II} . Estos datos ponen en ventaja al combustible tradicional pero su uso permite mas generación de CO_2 si se compara con el GNV, tal como se muestra en la Figura 2, esto se debe al alto contenido de carbono del octano presente en la gasolina. Otro dato importante obtenido de la Figura 2 es que el incremento del exceso de aire favorece la disminución del dióxido de carbono en gran medida pasando aproximadamente de un 10% de CO_2 emitidos por el GNV a un 3.5%, dato que debe considerarse para disminuir uno de los gases de efecto invernadero.

Figura 1. Eficiencia exergética en función de la temperatura de salida para diferentes proporciones entre Gasolina y GNV



Nota. Los valores de los parámetros considerados como constantes son $T_a = T_f = 290\text{K}$, $P_a = P_f = P_{out} = 1\text{atm}$, $\dot{m}_a = \dot{m}_f = 1\text{kg/min}$ y $\lambda = 1$ (Elaboración propia).

Figura 2. Generación de CO_2 en función del exceso de aire para diferentes proporciones entre Gasolina y GNV

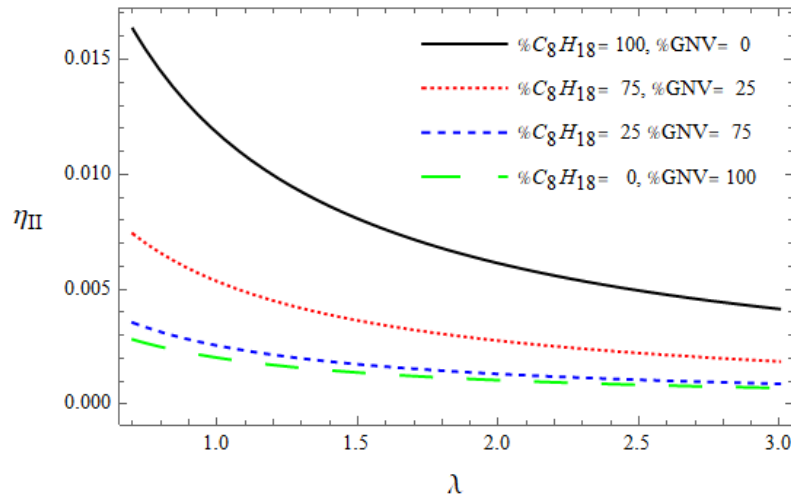
Nota. La variación del exceso de aire va de 0% ($\lambda = 1$) a 200% ($\lambda = 3$) (Elaboración propia)

El efecto del exceso de aire en la eficiencia exergética para los distintos casos de estudios descritos en la sección anterior se observa en la Figura 3. Aquí podemos afirmar el mismo comportamiento hecho de la Figura 1, de donde se observa que es más eficiente operar un motor con 100% de gasolina que con 100% de GNV en un mayor grado de contaminación.

En esta gráfica se aprecia que existe una disminución de la eficiencia a medida que se incrementa el exceso de aire, teniendo un efecto más pronunciado en el caso I comparado con el caso IV. También se puede analizar que cuando el motor funciona con 100% de GNV la η_{II} disminuye en un menor grado, por lo que, aunado con el análisis hecho en párrafo anterior, es conveniente incrementar el exceso de aire para disminuir las emisiones de CO_2 sin alterar mucho la eficiencia exergética.

Figura 3

Eficiencia exergética en función del exceso de aire para diferentes proporciones entre Gasolina y GNV

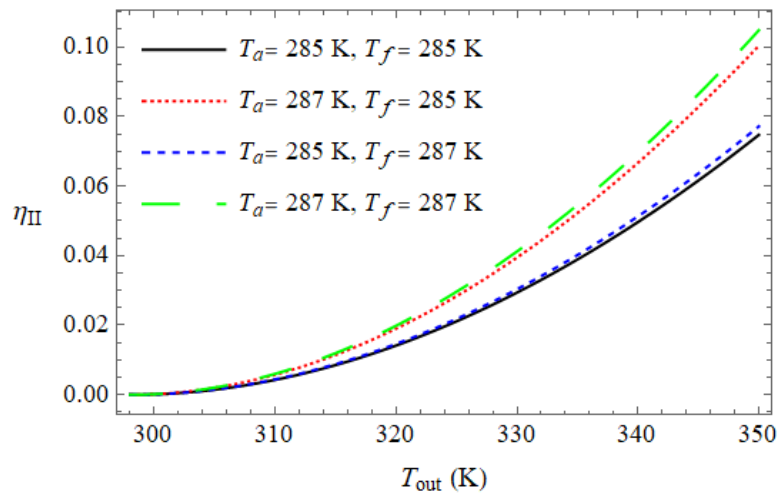


Nota. Los valores de los parámetros considerados como constantes son $T_a = T_f = 280K$, $T_{out} = 330K$, $P_a = P_f = P_{out} = 1atm$ y $\dot{m}_a = \dot{m}_f = 1kg/min$ (Elaboración propia).

En la Figura 4 se observa el efecto que tiene la variación de las temperaturas de entrada del aire y combustible sobre la eficiencia exergética. El incrementar únicamente la temperatura del aire permite un aumento del 34.29% en la η_{II} , considerando que la temperatura de salida es de 52°C. Mismo efecto sucede cuando se incrementa la temperatura del combustible, pero únicamente es de un 3.28%, lo cual es insignificante comparado con la del aire. Por lo tanto, es recomendable inyectar el aire a una temperatura mayor que la del combustible.

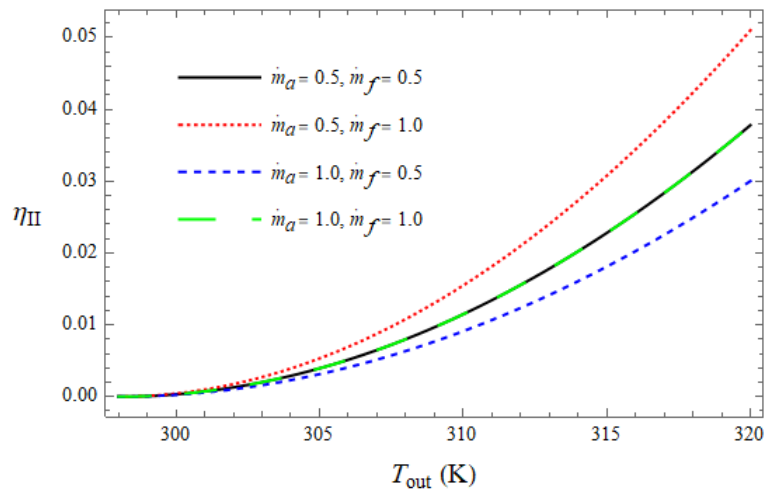
El aumento del flujo de entrada del combustible hace que la eficiencia incremente significativamente; en cambio, cuando se incrementa la del aire sucede un efecto contrario (Figura 5). Entonces, es conveniente introducir a los motores mayor cantidad de flujo de combustible que la del aire para que la eficiencia sea mejor.

Figura 4. Eficiencia exergética del GNV en la cámara de combustión en función de la temperatura de salida para diferentes valores de temperatura de entrada



Nota. Los valores de los parámetros considerados como constantes son $P_a = P_f = P_{out} = 1 \text{ atm}$, $\dot{m}_a = \dot{m}_f = 1 \text{ kg/min}$ y $\lambda = 1$ (Elaboración propia).

Figura 5. Eficiencia exergética del GNV en la cámara de combustión en función de la temperatura de salida para diferentes valores de flujo másico de entrada



Nota. Los valores de los parámetros considerados como constantes son $T_a = T_f = 290 \text{ K}$, $P_a = P_f = P_{out} = 1 \text{ atm}$ y $\lambda = 1$ (Elaboración propia).

CONCLUSIONES

Los vehículos que trabajan con combustibles tradicionales y que son adaptados para Gas Natural son considerados híbridos ya que utilizan ambos y se van intercambiando de manera gradual a medida que el usuario requiera usar cualquiera de las dos sustancias.

La eficiencia exergética depende de las exergías de entrada y salida, que a su vez corresponden a la contribución de las exergías específicas de cada compuesto presentes en la combustión. Además, esta eficiencia está en función de parámetros que caracterizan al sistema de estudio, tales como temperatura, presión, flujo de masa y exceso de aire.

La gasolina es más eficiente que el GNV, pero el primero genera más emisiones de CO₂ que contaminan al ambiente. De acuerdo con el análisis realizado, para que se reduzca este tipo de gas es necesario aumentar el exceso de aire en cualquier proporción de los combustibles, por ejemplo, se reduce la generación de dióxido de carbono de 10.5% a 3.5% para el caso de utilizar totalmente gas natural. La desventaja de esta operación es que de igual manera disminuye la eficiencia exergética, pero es mucho menor que usar cien por ciento de GNV.

Otras maneras de poder incrementar la eficiencia de segunda ley es que, en la entrada del motor, el aire se introduzca a una temperatura mayor al del combustible o incrementar ambos al mismo valor; estas dos situaciones permiten un aumento de la eficiencia relativamente igual. Además, es importante considerar la velocidad que entra el aire y el combustible debido a que afecta su eficiencia, en otras palabras, cuando aumenta el flujo de masa del combustible es más eficiente y cuando se hace lo mismo para el aire sucede un efecto contrario.

Así pues, en esta investigación se concluye que es viable el uso del gas natural vehicular en motores de gasolina ya que contribuye a la disminución del impacto ambiental sin afectar significativamente su eficiencia desde el punto de vista termodinámico y que, además, resulta ser más económico utilizar GNV que combustibles fósiles debido a su precio en el mercado y su volatilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMGNV. (2021). *¿Por qué convertir los vehículos a GNV? Obtenido de AMGNV:* <https://amgnv.org/por-que-gnv/>
- Bejan, A. (2006). *Advanced Engineering Thermodynamics (3a. ed.)* New Jersey: Jonh Wiley & Sons.
- Çengel, Y. A. y Boles, M. A. (2011) *Termodinámica (7a. ed.)* México: McGraw-Hill Interamericana.
- Coker, A. Kayode (2010). *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants (4ta. Ed.)* Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-27075-9>
- Diario Oficial de la Federación [DOF], (23 de agosto de 2017). NORMA Oficial Mexicana NOM-010-ASEA-2016, Gas Natural Comprimido (GNC). Requisitos mínimos de seguridad para Terminales de Carga y Terminales de Descarga de Módulos de almacenamiento transportables y Estaciones de Suministro de vehículos automotores. Obtenido de DOF. Secretaría de Gobernación (SEGOB): https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/6731/semarnat11_C/semarnat11_C.html
- Diario Oficial de la Federación [DOF], (13 de octubre de 2020). PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-234-SCFI-2019, Gas natural vehicular. Requisitos mínimos de seguridad en instalaciones vehiculares (cancelará a la NOM-011-SECRE-2000). Obtenido de DOF. Secretaría de Gobernación (SEGOB): https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5602412&fecha=13/10/2020#gsc.tab=0
- GNVTEC. (s.f.). Gas Natural Vehicular "El combustible alternativo de hoy". Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287869/9_PRESENTACION_gnv_tec_compressed.pdf
- Johnson, S., J. (junio de 2021). *Análisis del impacto de emisiones y sustentabilidad por sustitución de combustible en el sector del transporte público. Obtenido de UNAM. Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y aplicadas:* <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1667/JOSJNR02T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Linares, y Guzmán. (septiembre de 2018). *Caracterización de motor de combustión interna en diferentes condiciones de velocidad mediante mezcla de hidrógeno, gasolina y gas natural vehicular. Obtenido de Universidad ECCI. Facultad de Ingeniería Mecánica:* <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/3199/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mantilla G., J., Roncancio G., J., y Galeano, U. (2015). *Desempeño y emisiones de un motor de combustión interna con combustible dual Diesel-Gas natural*. Obtenido de *Ingeniería Energética*, 36(1), 27-37: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000100004&lng=es&tlng=es
- Martínez, (2019). *Gas Natural Vehicular, una opción de combustible más económico y limpio*. Obtenido de *Petroquimex*: <https://petroquimex.com/PDF/EneFeb19/Gas-Natural-Vehicular.pdf>
- Safari, A., Das, N., Langhelle, O., Roy, J., y Assadi, M. (07 de junio de 2019). *Gas natural: ¿Un combustible de transición para la transformación del sistema energético sostenible?* Obtenido de *SCI. Ciencia e ingeniería energética*, Volumen 7, número 4pág. 1075-1094: <https://doi.org/10.1002/ese3.380>
- Som, S. K. y Datta, A. (2008). *Thermodynamic irreversibilities and exergy balance in combustion processes*. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 351–376. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.09.001>
- Supúlveda, J., Arenas, J., Vargas, A., Salinas, L., y Turmequé, A. (2019). *Influencia de los factores ambientales en la adquisición de gas natural vehicular*. Obtenido de *Universidad EAN. Programa de Inteligencia comercial y mercadeo*: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10090/TurmequeAndres2020.pdf?sequence=1>

Capítulo IX

ELIMINACIÓN DE BISFENOL A EN AGUA A TRAVÉS DE UNA NUEVA NANOPLATAFORMA DE BIOFOTOCATALIZADORES BASADA EN ENZIMAS LACASA Y NANOESTRUCTURAS DE TITANIA

Raúl García Morales
Andrés Zarate Romero
José Gilberto Torres Torres

RESUMEN

El Objetivo del Desarrollo Sostenible 6: Agua Limpia y Saneamiento sostiene que la importancia de garantizar el agua libre de impurezas y accesible para todos. Por ello el bisfenol A [BPA] es uno de los Contaminantes Emergentes [CE] más reconocidos que ha sido regulado por agencias de Norteamérica y Europa por su uso en la industria y su liberación en el medio ambiente. Este se ha detectado hasta 3142 $\mu\text{g/L}$ en diferentes sistemas acuáticos. Los tratamientos convencionales de aguas son eficaces para eliminar la materia orgánica, aun así, se liberan al medio ambiente CE residuales y sus subproductos. Por ello, han surgido tratamientos novedosos como: la biocatálisis usando enzimas lacasa (C.E. 1.10.3.3.2) que oxidan numerosos compuestos fenólicos, y por otro la fotocatálisis usando dióxido de titanio (TiO_2) son alternativas prometedoras para la eliminación de CEs. Del uso de estos tratamientos en combinación sólo existen unos pocos informes. En este trabajo se desarrolló un nuevo biofotocatalizador (lacasa inmovilizada sobre TiO_2), usando una novedosa síntesis de nanoplataforma de TiO_2 utilizando CTAB como precursor. Se logró la síntesis de material nanoestructurado de TiO_2 con una morfología cuasi-esférica de tamaño entre 100-650 nm. La Difracción de Rayos X [DRX] sugirieron una estructura cristalina en fase anatasa. Tras la modificación del TiO_2 , se obtuvo lacasa activa inmovilizada en su superficie, con una actividad específica de 0,65 U/mg y una recuperación de actividad del 95%. Los estudios de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier [FTIR] mostraron señales asociadas a los agentes de enlace (APTES y glutaraldehído) y a la enzima. Posteriores caracterizaciones enzimáticas y fisicoquímicas serán hechas para estudiar exhaustivamente el biofotocatalizador. No obstante,

estos resultados sugieren una alta posibilidad para eliminar contaminantes emergentes como el BPA.

Palabras clave: Contaminantes emergentes, lacasas, dióxido de titanio.

Introducción

La creciente demanda de agua en el mundo ha traído un amplio interés en tomar medidas para poder conservar este recurso renovable que está en peligro de ser totalmente deteriorado por las actividades humanas. Como ejemplo de esto, está el creciente consumo de productos químicos los cuales entran a los cuerpos de agua de manera directa o indirecta contaminando estos sistemas ambientales (Johnson et al., 2017). Por ello, la Organización de las Naciones Unidas [ONU] creó un plan a través de los Objetivos del Desarrollo Sostenible [ODS] los cuales se comenzaron a adoptar por los países de la ONU en el 2015, y en el cual uno de los pilares de este plan fue el ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento, que sostiene la importancia de garantizar el agua libre de impurezas y accesible para todos (Moran, 2025).

Sin embargo, a pesar de esta sugerencia actualmente en diversos cuerpos hídricos como aguas residuales, aguas superficiales, aguas subterráneas e incluso agua del grifo, se han detectado una amplia variedad de compuestos como los fármacos, disruptores endocrinos, sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas [PFAS, por sus siglas en inglés], entre otros, algunos ellos son bien conocidos por ser compuestos persistentes (Keen et al., 2014). Diversos autores sitúan a estos como contaminantes emergentes, los cuales a pesar de que se tienen pruebas de su presencia en el medio ambiente, no están incluidos en programas regulatorios, lo que los convierte en candidatos para una futura legislación debido a sus efectos adversos y/o persistencia (Khan et al., 2022).

Uno de estos contaminantes que ha tenido gran relevancia es el bisfenol A [BPA], el cual se ha conocido por su amplio uso en la industria de plásticos sobre todo para el área de envase de alimentos y bebidas, y además se han demostrado sus efectos estrogénicos que pueden incluso tener un riesgo carcinogénico en humanos (Cull y Winn, 2025). Por ello, el BPA ha sido de los primeros contaminantes emergentes en ser regulados por agencias de Norteamérica y Europa por su uso en la industria y su liberación en el medio ambiente (Moorchilot et al., 2025; Santos et al.,

2024). A pesar de estos avances en su regulación, este se ha detectado hasta 3142 $\mu\text{g/L}$ en diferentes sistemas acuáticos (Aus der Beek et al., 2016; Brack et al., 2012). Esto se debe principalmente a que los métodos de tratamientos convencionales utilizados actualmente tanto para el tratamiento de aguas residuales como para la potabilización de aguas no están diseñados para la eliminación de la mayoría de los CE. Por ello en las últimas décadas ha habido un creciente desarrollo de tratamientos enfocados precisamente en la eliminación de contaminantes en general a través de diversas estrategias que involucran procesos químicos, biológicos y tratamientos avanzados (Sousa et al., 2018).

DESARROLLO

El uso de tratamientos biológicos, como la biocatálisis a través de enzimas oxidorreductasas ha demostrado ser una forma eficaz y amigable con el ambiente. Concretamente las enzimas lacasas (E.C.1.10.3.2) que pertenecen a las oxidasas multicobre que catalizan preferentemente la oxidación de sustratos aromáticos de manera directa y de sustratos complejos de forma indirecta usando mediadores (Wang et al., 2024). Por otro lado, la fotocátalisis heterogénea [FH] es un proceso avanzado de oxidación [PAO], que se ha utilizado en los últimos años para la eliminación de CE como colorantes pesticidas y fármacos. Este proceso es definido como la aceleración de una reacción fotoquímica por la presencia de un semiconductor que se activa por la absorción de la radiación luminosa, específicamente el uso del dióxido de titanio (TiO_2) ha sido de los que se ha estudiado con mayor proporción y del cual se han logrado avances significativos en el tratamiento de contaminantes (Paumo et al., 2021). Sin embargo, el uso de estos tratamientos para la eliminación de CE se ha estudiado principalmente por separado, mientras que en combinación sólo existen unos pocos informes. Como ejemplo, se ha desarrollado una plataforma a base de una estructura hueca a base de óxido de silicio, titania y nanopartículas de oro con la presencia de una enzima hidrolasa que lograron degradar el 83% del p-nitrofenol (Zhang et al., 2023). También se reportó la inmovilización de la enzima lacasa sobre un soporte hueco inerte a base de TiO_2 preparado con sílice mesoporosa dendrítica como plantilla, este soporte le dio una mayor estabilidad térmica a pH y de irradiación con lo que fue posible la remoción de hasta un 95% en 12 h del 2,4-diclorofenol (2,4-DCP) bajo luz visible (Cao et al., 2022). Estos resultados sugieren que el uso de la combinación de ambas tecnologías será favorable para la eliminación del BPA,

por lo que en el presente trabajo se estudia la síntesis de TiO_2 usando Bromuro de Cetiltrimetilamonio [CTAB] como plantilla para mejorar la morfología y propiedades del semiconductor y posteriormente se inmovilizará las enzimas lacasas para sintetizar el biofotocatalizador y hacer los estudios biofotocatalíticos usando radiación solar.

MÉTODO.

Materiales. Las enzimas lacasas fueron obtenida de Sigma Aldrich. Estándares de alta pureza de bisfenol A [BPA]; 2,20 -azino-bis (3-etilbenztiazolina-6-sulfonato [ABTS]; fosfato sódico dibásico y ácido cítrico se obtuvieron de Sigma Aldrich, EE.UU. Etanol anhidro (grado HPLC) de Tedia. Finalmente, el 3-aminopropil trietoxisilano [APTES] de Sigma y el glutaraldehído [GLU] de Merck Millipore.

Síntesis de nanoplateforma de TiO_2 . Fue preparado por el método de sol gel usando como precursor butoxido de titanio disuelto en 1-butanol, se agregó a la síntesis el precursor CTAB en proporciones definidos, posteriormente se dejó envejecer durante 24 h. Se procedió a retirar el solvente, secado y finalmente calcinados a 500°C .

Inmovilización de enzimas lacasas. Los fotocatalizadores obtenidos previamente fueron dispersados mediante ultrasonificación para posteriormente proceder a su funcionalización con (3-Aminopropil) trietoxisilano [APTES] y glutaraldehído. Posteriormente las enzimas lacasas fueron inmovilizadas sobre los materiales funcionalizados dispersos en buffer pH 7, permitiendo reaccionar durante 24 h, en este proceso lo grupos amino funcionales de las enzimas se unirán covalentemente a los grupos funcionales del glutaraldehído en los fotocatalizadores. Se realizaron lavados por ciclos de centrifugación (García-Morales et al., 2018).

Caracterizaciones fisicoquímicas: la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) se realizó utilizando un equipo FT-IR modelo IR Affinity-1 (Fourier Transform Infrared Spectrophotoner, Shimadzu Co., Kyoto, Japón), 120 V~50/60 Hz 150 VA. Los espectros de DRX se obtuvieron a temperatura ambiente utilizando un difractómetro de polvo Bruker D8 Advance, con radiación $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 0,154 \text{ nm}$) y un haz secundario monocromático de grafito en un rango de 20 a 70 en la escala 2θ con un paso de $0,05^\circ$, con un tiempo de medida de 0,5 s por punto. Para

analizar la morfología se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB, JEOL, modelo JSM-6010LA, Tokio, Japón).

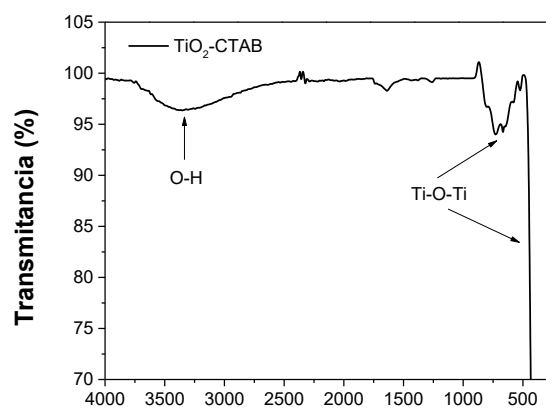
Caracterización biocatalítica. Se realizará mediante un ensayo colorimétrico de determinación de la actividad enzimática de las lacasa usando ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico [ABTS] como sustrato; con un espectrofotómetro UV-Vis (Agilent, Varian modelo Cary 300, VIC, Australia) en una longitud de onda de 420 nm.

RESULTADOS

La caracterización FTIR de la nanoplataforma obtenida después de calcinación a 500 °C, mostró las señales típicas asociadas a las vibraciones de los grupos funcionales de titanio, se observa una banda alrededor de 3430 cm^{-1} correspondiente a los grupos puente $(\text{Ti})_2\text{OH}$ y grupos OH unidos por hidrógeno superficiales libres del semiconductor, así como para el agua superficial adsorbida en su superficie que se confirma con la señal a 1600 cm^{-1} al grupo -OH. Por otro lado las bandas de baja frecuencia por debajo de 1000 cm^{-1} corresponden al estiramiento Ti-O-Ti de la red mineral de anatasa y rutilo tal como se reportó con anterioridad (Mohamed et al., 2007). Esto sugiere que el material obtenido cuenta con una estructura cristalina definida preferente hacia anatasa.

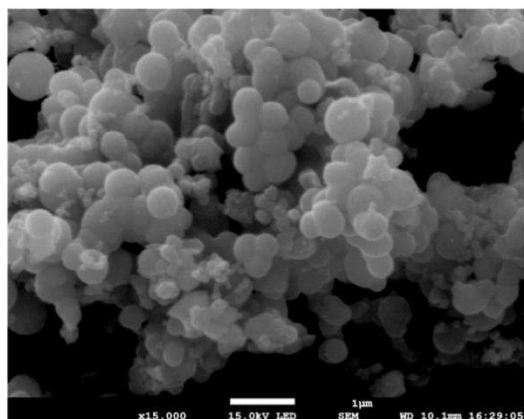
De acuerdo con los resultados de microscopia electrónica de barrido (Figura 2), la síntesis de TiO_2 usando como plantilla el Bromuro de Cetiltrimetilamonio [CTAB] dio lugar a un material aglomerado con tamaños de entre 1 a 5 μm , pero con partículas constituyentes de morfología cuasi esférica con tamaños de entre 100-650 nm. Esta caracterización confirma que el CTAB pudo confinar la estructura precursora del TiO_2 obtenida por el método sol gel hacia partículas esferoidales, sin embargo, con el tratamiento térmico de 500 °C la dispersión de estas partículas es perdida debido a los diferentes fenómenos de sinterizado causando los aglomerados observados. No obstante, este proceso es requerido para obtener la estructura cristalina funcional para el proceso de fotocatalisis.

Figura 1. Espectro FTIR de la nanoplateforma de TiO_2 sintetizada con CTAB.



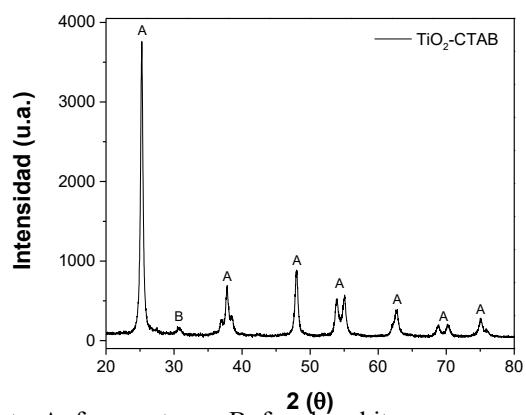
Nota: Gráfica **Número de onda (cm⁻¹)**

Figura 2. Micrografía de nanoplateforma de TiO_2 usando CTAB como plantilla de síntesis.



Nota: Imagen gráfica.

Figura 3. Patrón de difracción de rayos X para la nanoplateforma de TiO_2



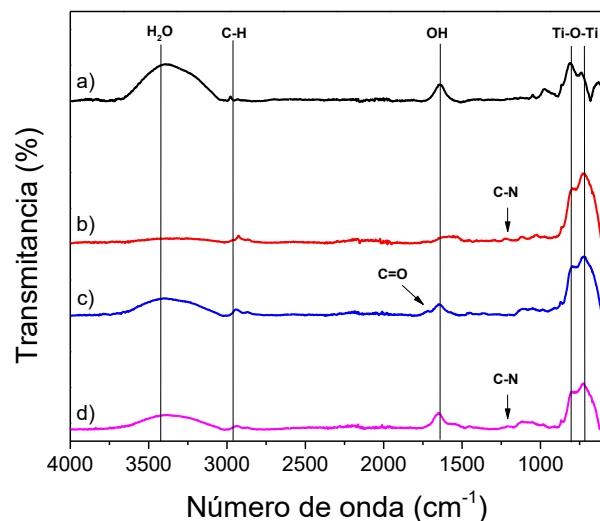
Nota: A: fase anatasa y B: fase brookita

Para confirmar la estructura cristalina de la nanoplateforma se realizó un análisis por difracción de rayos X. Tal como se observa en la Figura 3, el patrón de difracción de la titania ilustra varios picos a $2\theta = 25.3, 36.9, 37.7, 38.5, 48, 53.8, 55.1, 62.6, 68.7, \text{ y } 75^\circ$ revelando la existencia de una fase anatasa (tetragonal) predominante (JCPDS No. 71-1167), sin embargo, un pico a $2\theta = 31$, sugiere la presencia de una pequeña proporción de fase brookita (ortorrómbica) (JCPDS No. 29-1360) (Abdel-Messih et al., 2013). Esto confirma que el tratamiento térmico al que fue sometido el material pudo alcanzar la formación de la fase activa anatasa para fotocátalisis, y que la plantilla CTAB además actúa como un supresor de la formación de las otras fases de TiO_2 menos activas como brookita y rutilo (Mohamed et al., 2007).

Posteriormente, una vez obtenida la nanoplateforma y siendo caracterizada preliminarmente por FTIR, SEM y DRX, se procedió al acoplamiento con las enzimas lacasas para así poder obtener el biofotocatalizador a base de TiO_2 y de dichas enzimas. El proceso de las enzimas lacasas se basa en una primera funcionalización de APTES sobre la superficie del TiO_2 , este proceso deja expuestos grupos $-\text{NH}_2$ funcionales, los cuales posteriormente fueron acoplados con glutaraldehído (aldehído bifuncional, $-\text{C}=\text{OH}$) por una segunda funcionalización, la cual deja expuestos grupos $-\text{C}=\text{OH}$ reactivos. En un último paso, las enzimas lacasas son sometidas a reaccionar con la nanoplateforma funcionalizada a pH 7, el cual permite la reacción entre los grupos aldehídos del TiO_2 anteriormente funcionalizado y los grupos amino de las enzimas presentes en las enzimas, formando así un enlace covalente tipo imida, el cual da estabilidad y funcionalidad a este biocatalizador. Por ello, para probar el proceso de inmovilización se realizaron análisis de FTIR para cada etapa tal como se muestran en la Figura 4. Se pueden observar las señales típicas para las tensiones de los enlaces $\text{Ti}-\text{O}-\text{Ti}$ y de los grupos OH superficiales para el TiO_2 sin modificar (Figura 4a); tras la funcionalización con APTES, las bandas de tensión OH en torno a 3430 cm^{-1} disminuyeron, esto sugiere que el agente funcionalizante se enlazo a la superficie aprovechando los grupos funcionales OH libres. Además, la aparición de señales débiles características de grupos NH_2 en 1220 cm^{-1} debido a la tensión del enlace $\text{C}-\text{N}$ lo confirman (Figura 4b). Posteriormente, la funcionalización Glu, mostró una banda débil a 1735 cm^{-1} asociada a la tensión del enlace $\text{C}-\text{O}$ perteneciente a los grupos carbonilos del aldehído funcional (Figura 4c), esto sugiere la correcta funcionalización con glutaraldehído. Por último, para confirmar que las funcionalizaciones anteriores, la enzima inmovilizada en el último paso de la síntesis del biofotocatalizador mostró

una banda en torno a 1220 cm^{-1} asociada a los grupos NH_2 superficiales de la proteína (Figura 4d) (Yang et al., 2022).

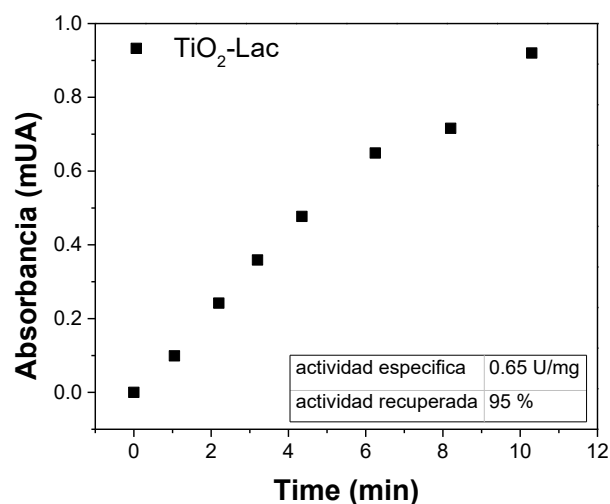
Figura 4. Espectros FTIR del seguimiento de la obtención del biofotocatalizador.



Nota: a) nanoplateforma a base de TiO_2 sin funcionalizar, b) funcionalizada con APTES, c) funcionalizada con APTES-Glu y d) funcionalizado con APTES-Glu-lacasas (biofotocatalizador TiO_2 -Lac).

El estudio de FTIR anterior sugirió en enlace entre la nanoplateforma de TiO_2 y las enzimas lacasas y por lo tanto obteniéndose el biofotocatalizador planteado en este trabajo. Sin embargo, para tener pruebas fehacientes de su reactividad se realizó un ensayo de actividad enzimática el cual demuestra la capacidad de las lacasas de realizar reacciones bioquímicas. Esto se realiza mediante un sustrato de prueba conocido y afín a la enzima, para determinar comúnmente a través de método fotométricos la velocidad de reacción. En nuestro caso, el aumento de absorbancia mostró que la oxidación de ABTS (molécula de prueba) se llevó a cabo para el biofotocatalizador, lo que significa que la enzima se inmovilizó con éxito. Los resultados preliminares de los cálculos de velocidad y actividad enzimática arrojaron una actividad específica de 0,65 U/mg y una recuperación de actividad del 95%. Aunque la cantidad de enzima inmovilizada es baja, se obtuvo una actividad de casi el 100% lo que sugiere tendrá buenos rendimientos en la remoción del BPA.

Figura 5. Ensayo de actividad enzimática del biofotocatalizador.



Nota: la actividad específica se define como la actividad enzimática obtenida a partir de la pendiente de la curva de reacción del ABTS por mg del TiO_2 utilizado. Una unidad de enzima (U) se define como la cantidad de enzima que cataliza la conversión de 1 micromol de sustrato por minuto. La actividad recuperada del 95% compara la actividad específica del biocatalizador inmovilizado con la de la enzima libre utilizada para su inmovilización.

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró la síntesis de un material nanoestructurado basado en titanía con morfología cuasi-esférica de tamaño entre 100-650 nm, además las caracterizaciones por FTIR y DRX demostraron que se obtuvo un material cristalino con fase principalmente anatasa, la cual es activa en procesos fotocatalíticos. Los estudios FTIR mostraron señales asociadas a los funcionalizantes APTES, Glu y a la enzima lacasa, sugiriendo la unión covalente y la formación del biofotocatalizador. Por su parte el estudio de actividad enzimática demostró la actividad específica de 0,65 U/mg y una recuperación de actividad del 95%.

PROPUESTAS

La perspectiva de este trabajo es realizar más caracterizaciones tanto enzimáticas y fisicoquímicas para estudiar exhaustivamente el biofotocatalizador. No obstante, estos resultados sugieren que la nueva nanoplataforma propuesta puede tener una amplia funcionalidad para eliminar contaminantes emergentes como el BPA mediante tratamientos enzimáticos y fotocatalíticos acoplados, experimentos que también se realizarán posteriormente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Messih, M. F., Ahmed, M. A., y El Sayed, A. S. (2013). Photocatalytic decolorization of Rhodamine B dye using novel mesoporous SnO₂-TiO₂ nano mixed oxides prepared by sol-gel method. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 260, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2013.03.011>
- Aus der Beek, T., Weber, F., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A., y Küster, A. (2016). Pharmaceuticals in the environment—Global occurrences and perspectives. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(4), 823–835. <https://doi.org/10.1002/etc.3339>
- Brack, W., Dulio, V., y Slobodnik, J. (2012). The NORMAN Network and its activities on emerging environmental substances with a focus on effect-directed analysis of complex environmental contamination. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 29. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-29>
- Cao, X., Gao, J., Yang, Y., Li, H., Zheng, X., Liu, G., y Jiang, Y. (2022). Synergistic degradation of chlorophenol pollutants by a photo-enzyme integrated catalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107909. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107909>
- Cull, M. E., y Winn, L. M. (2025). Bisphenol A and its potential mechanism of action for reproductive toxicity. *Toxicology*, 511, 154040. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.154040>
- García-Morales, R., García-García, A., Orona-Navar, C., Osma, J., Nigam, K., y Ornelas-Soto, N. (2018). Biotransformation of emerging pollutants in groundwater by laccase from *P. sanguineus* CS43 immobilized onto titania nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(1), 710–717. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.006>
- Johnson, A. C., Donnachie, R. L., Sumpter, J. P., Jürgens, M. D., Moeckel, C., y Pereira, M. G. (2017). An alternative approach to risk rank chemicals on the threat they pose to the aquatic environment. *Science of The Total Environment*, 599–600, 1372–1381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.039>
- Keen, O. S., Bell, K. Y., Cherchi, C., Finnegan, B. J., Mauter, M. S., Parker, A. M., Rosenblum, J. S., y Stretz, H. A. (2014). Emerging pollutants—Part II: Treatment. *Water Environment Research*, 86(10), 2036–2096. Scopus. <https://doi.org/10.1002/j.1554-7531.2014.tb00240.x>
- Khan, S., Naushad, M., Govarthan, M., Iqbal, J., y Alfadul, S. M. (2022). Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research. *Environmental Research*, 207. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112609>
- Mohamed, M. M., Bayoumy, W. A., Khairy, M., y Mousa, M. A. (2007). Synthesis of micro-mesoporous TiO₂ materials assembled via cationic surfactants: Morphology, thermal stability and surface acidity characteristics. *Microporous and Mesoporous Materials*, 103(1), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2007.01.052>

- Moorchilot, V. S., Louis, H., Haridas, A., Praveena, P., Arya, S. B., Nair, A. S., Aravind, U. K., y Aravindakumar, C. T. (2025). Bisphenols in indoor dust: A comprehensive review of global distribution, exposure risks, transformation, and biomonitoring. *Chemosphere*, 370, 143798. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143798>
- Morán, M. (2025, January 27). Agua y saneamiento. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Paumo, H. K., Dalhatou, S., Katata-Seru, L. M., Kamdem, B. P., Tijani, J. O., Vishwanathan, V., Kane, A., y Bahadur, I. (2021). TiO₂ assisted photocatalysts for degradation of emerging organic pollutants in water and wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 331, 115458. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115458>
- Santos, C. R. dos, Arcanjo, G. S., Araújo, A. A. D., Santos, L. V. de S., y Amaral, M. C. S. (2024). Occurrence, environmental risks, and removal of bisphenol A and its analogues by membrane bioreactors. *Chemical Engineering Journal*, 494, 153278. <https://doi.org/10.1016/j.ccej.2024.153278>
- Sousa, J. C. G., Ribeiro, A. R., Barbosa, M. O., Pereira, M. F. R., y Silva, A. M. T. (2018). A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 146–162. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.058>
- Wang, H., Tang, L.-X., Ye, Y.-F., Ma, J.-X., Li, X., Si, J., y Cui, B.-K. (2024). Laccase immobilization and its degradation of emerging pollutants: A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, 359, 120984. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120984>
- Yang, S., Zhang, Q., Yang, H., Shi, H., Dong, A., Wang, L., y Yu, S. (2022). Progress in infrared spectroscopy as an efficient tool for predicting protein secondary structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02>
- Zhang, Y., Cao, X., Yang, Y., Guan, S., Wang, X., Li, H., Zheng, X., Zhou, L., Jiang, Y., y Gao, J. (2023). Visible light assisted enzyme-photocatalytic cascade degradation of organophosphorus pesticides. *Green Chemical Engineering*, 4(1), 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.gce.2022.02.001>

Capítulo X

FOTOCATALIZADORES $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ DOPADOS CON Eu: EFECTO DE LA PROCEDENCIA DE LA LUZ EN LA CONVERSIÓN Y SELECTIVIDAD A CO_2 EN LA DEGRADACIÓN DEL DBSS

Sadie Naomi Blé Lezama
Juan Carlos Arévalo Pérez
José Gilberto Torres Torres

RESUMEN

La preservación ambiental y purificación del agua son los criterios más críticos para conservar los recursos hídricos naturales necesarios para la preservación de la vida. Los contaminantes y sus intermediarios pueden mineralizarse utilizando procesos de oxidación avanzada (Landge et al., 2022). Los semiconductores son materiales de elección para fotocatálisis (Boskabadi et al., 2022). En esta investigación, se propone emplear materiales de $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ dopados con Eu para incrementar la actividad fotocatalítica bajo irradiación solar y UV. El contaminante seleccionado a degradar es DBSS, un tensoactivo aniónico (Lintang et al., 2022).

Como resultado de dicha investigación se han sintetizado fotocatalizadores usando TiO_2/ZnO al 50% usando concentraciones de Eu 0.3, 0.5, 1, 3 y 5% en peso, por el método sol-gel. Se han caracterizado usando espectrofotometría UV-Vis y DRX, obteniéndose una brecha energética de entre 3 y 2.9 eV. Además, el tamaño de cristal obtenido fue entre 11.9 y 16 nm, con las fases zncita y anatasa, respectivamente. Los resultados preliminares mostraron un máximo de 48.2% de degradación y 60.0% de mineralización del DBSS usando TiO_2/ZnO Eu 1%, en presencia de luz visible, el cual presentó un valor de 2.95 eV de energía de banda prohibida. Con respecto a la actividad fotocatalítica bajo luz UV, se obtuvo 31.4% de degradación y 49.2% de mineralización. La presencia de Eu como dopante en el sistema TiO_2/ZnO mejora la actividad fotocatalítica. Sin embargo, el TiO_2 puro manifiesta un comportamiento fotocatalítico similar, debido a la fase

cristalina anatasa que posee. La fase cristalina zincita en el ZnO en el sistema TiO_2/ZnO no mejora significativamente la actividad fotocatalítica.

Palabras clave: Fotocatálisis, TiO_2/ZnO , Eu

Introducción

La contaminación del agua por numerosos sectores es actualmente una preocupación mundial. Una proporción considerable de aguas residuales, principalmente en países en desarrollo, se vierte sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales. La preservación ambiental y purificación del agua son los criterios más críticos para conservar los recursos hídricos naturales necesarios para el avance del mundo. Los contaminantes pueden encontrarse en el agua residual de diversas industrias y fuentes municipales y agrícolas. El tipo de contaminantes en el agua residual determina el mejor criterio de tratamiento tecnológico (Landge et al., 2022).

Los surfactantes están entre los contaminantes emergentes más desafiantes, y son continuamente descargados al medio ambiente a través de las plantas de tratamiento de agua. Los surfactantes son hidrofílicos e hidrofóbicos al mismo tiempo, siendo así moléculas anfipáticas. Los surfactantes son empleados para diversas aplicaciones domésticas e industriales debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas. Sin embargo, la persistencia de los productos transformados en el ambiente requiere de atención para lograr la sostenibilidad ambiental y ecosistemas saludables (Badmus et al., 2021).

Por otro lado, los procesos avanzados de oxidación (AOP, acrónimo en inglés) son técnicas de tratamiento de agua que abarcan una amplia gama de sustancias y compuestos como metales, colorantes, detergentes, insecticidas, entre otros. Estos procesos son altamente eficientes, requieren bajo consumo de energía, operan en condiciones suaves y reducen la contaminación secundaria. Los contaminantes y sus intermediarios pueden mineralizarse por AOPs. Recientemente ha surgido interés en el aprovechamiento de la energía solar como fuente de energía limpia y sustentable para la fotodegradación de contaminantes (Landge et al., 2022). La fotocatálisis es un término general para una reacción fotoinducida que es acelerada en presencia de un catalizador. Este proceso empieza con la excitación de un electrón, que es transferido de la banda de valencia [VB] a la

banda vacía de conducción [CB] (Jiang et al., 2021). En esta investigación, se evaluarán fotocatalizadores de $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ dopados con Eu bajo irradiación solar y UV para la degradación y mineralización de DBSS. El DBSS es un tensoactivo aniónico. Al desecharse en aguas residuales, éstas adsorben otros contaminantes para formar partículas coloidales. La concentración de DBSS en el agua puede causar contaminación indirecta, y el DBSS en agua puede causar daños a la salud humana en forma de dermatitis, irritación y enfermedades respiratorias (Lintang et al., 2022). Empleando este proceso de oxidación avanzada se pretende aportar conocimientos básicos para eliminar contaminantes persistentes y de difícil remoción en el agua, que los tratamientos, físicos, químicos y biológicos tradicionales no logran erradicar.

DESARROLLO

Este método químico, para la síntesis de diversas nanoestructuras, es especialmente usado para nanopartículas de óxidos metálicos. En este método, el precursor molecular (usualmente alcóxido metálico) se disuelve en agua o alcohol y se convierte en gel al calentar y agitar por hidrólisis/alcoholisis. En estas reacciones, las moléculas primarias homogéneas (sol) se vuelven una molécula infinita, pesada y tridimensional llamada gel. El proceso sol-gel es realizado a baja temperatura (menos de 100°C) en estado líquido. El producto final es sólido, resultado de un proceso de polimerización que involucra el establecimiento de M-OH-M o M-O-M entre los átomos metálicos y la materia prima (Bokov et al., 2021).

En este trabajo, se sintetizaron 8 catalizadores modificando la relación porcentual en masa, por el método sol-gel. Se usaron como precursores metálicos butóxido de titanio (IV) (Sigma-Aldrich®, grado reactivo, 97%), acetato de zinc dihidratado (Sigma-Aldrich®, reactivo ACS, $\geq 98\%$) y nitrato de europio pentahidratado (Sigma-Aldrich®, base de metales traza, 99.9%). La síntesis se llevó a cabo en un vaso de precipitado conteniendo el butóxido de titanio (IV) y n-butanol (Reactivos Química Meyer, reactivo ACS, $\geq 99.4\%$), con agitación constante, agregando por goteo una solución de acetato de zinc dihidratado y nitrato de europio pentahidratado en agua destilada. Los volúmenes de disolvente agregado para cada caso fueron en relación alcóxido/butanol 1/8 y alcóxido/agua 1/16. Se mantuvo en agitación por 24 h, se calcinó a 500°C por 6 h con una rampa de calentamiento de $2^\circ\text{C}/\text{min}$. La proporción de TiO_2 y ZnO es 50%, usando diferentes

concentraciones de Eu. La proporción mencionada ha sido reportada como eficiente para la degradación de azul de metileno (Munguti y Dejene, 2021). En la Tabla 1 se mencionan las concentraciones, en porcentaje, que se usaron para los catalizadores de TiO_2/ZnO dopados con Eu.

Tabla 1. *Porcentajes por usar de óxidos y agente dopante para la síntesis de catalizadores TiO_2/ZnO dopados con Eu*

TiO₂	ZnO	Eu (0)	Clave
100%	-	-	T
-	100%	-	Z
50%	50%	-	TZ
49.85%	49.85%	0.3%	TZE 0.3%
49.75%	49.75%	0.5%	TZE 0.5%
49.5%	49.5%	1%	TZE 1%
48.5%	48.5%	3%	TZE 3%
47.5%	47.5%	5%	TZE 5%

Los materiales obtenidos fueron caracterizados por Difracción de Rayos X, con la finalidad específica de determinar las fases cristalinas y estimar el tamaño promedio de cristal utilizando la ecuación de Scherrer. Esta actividad se llevó a cabo utilizando un difractómetro Bruker D2 PHASER con radiación monocromática de $\text{CuK}\alpha$ 1.5406 Å). La etapa de escaneo se fijó a 0.02° en 2θ para 1 s y un rango de $10^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$. Por otra parte, los fotocatalizadores también fueron caracterizados por espectroscopia UV-Vis con reflectancia difusa para analizar las propiedades electrónicas y ópticas, utilizando un espectrofotómetro UV-Vis Shimadzu UV-2600, en rango de longitud de onda de 220-800 nm, acoplado a una esfera de integración. El espectro de referencia se obtuvo de estándar de BaSO_4 . Los datos generados por esta técnica fueron analizados por el método de Tauc para estimar el valor de la energía de banda prohibida y la longitud de onda asociada a la activación de la luz en el material.

Las pruebas de actividad fotocatalítica se llevaron a cabo por medio de reacciones de degradación y mineralización de dodecibencensulfonato de sodio (Sigma-Aldrich®, grado técnico), en

presencia de luz visible y luz UV. Para ello, se preparó una disolución de DBSS con 30 ppm de concentración, y se colocó en un reactor fotocatalítico de 250 mL, provisto con un sistema de recirculación para mantener la temperatura constante. Además, se agregaron 0.2 g de catalizador.

Posteriormente, se llevó a cabo la agitación magnética en oscuridad, para obtener el equilibrio de adsorción-desorción de las moléculas de DBSS en la superficie del catalizador, por 30 minutos. La suspensión se sometió a agitación magnética constante, en iluminación continua, empleando un simulador solar de la marca ATLAS, modelo SUNTEST CPS+, equipado con una lámpara de xenón enfriada por aire de 1500 W. Se tomaron alícuotas de entre 15 y 20 mL cada 30 minutos, siendo $t=0$ la muestra tomada al terminar el período de oscuridad. Cada muestra fue filtrada usando una unidad de filtración Millex-GN de nylon, tamaño de poro de 0.20 μm y 33 mm de diámetro de filtro. La reacción en presencia de luz tuvo 3 horas de duración. Para las reacciones en presencia de luz UV, se siguió el mismo procedimiento, usando una lámpara UV de 25 W. La fotodegradación fue determinada en las usando el espectrofotómetro UV-Vis Thermo Scientific GENESYS 10S, siendo la longitud de onda de absorbancia máxima para DBSS, 223 nm. Adicionalmente, la mineralización se estimó utilizando un analizador de carbono orgánico total TOC-L Shimadzu. Esta técnica utiliza el método de combustión oxidación catalítica a 680°C, con Pt como catalizador, para obtener la cantidad de carbono orgánico total presente en las muestras en mg/L de C.

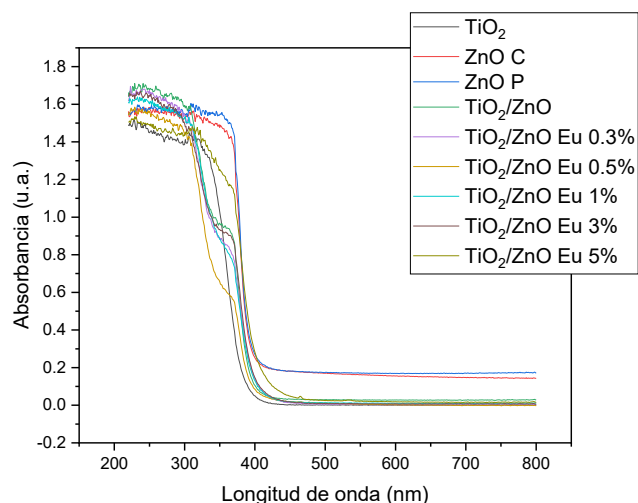
MÉTODO

Los catalizadores se sintetizaron en el Laboratorio de Nanomateriales Catalíticos: Fuentes de Energía y Remediación Ambiental, ubicado en el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco [CICTAT], en la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. El método de síntesis utilizado fue el método sol-gel.

RESULTADOS

El espectro UV-Vis de los catalizadores sintetizados se muestra en la figura 1. Aquí ZnO C y ZnO P corresponden a ZnO sintetizado por calcinación y precipitación del precursor, respectivamente.

Figura 1. Espectro UV-Vis de catalizadores sintetizados

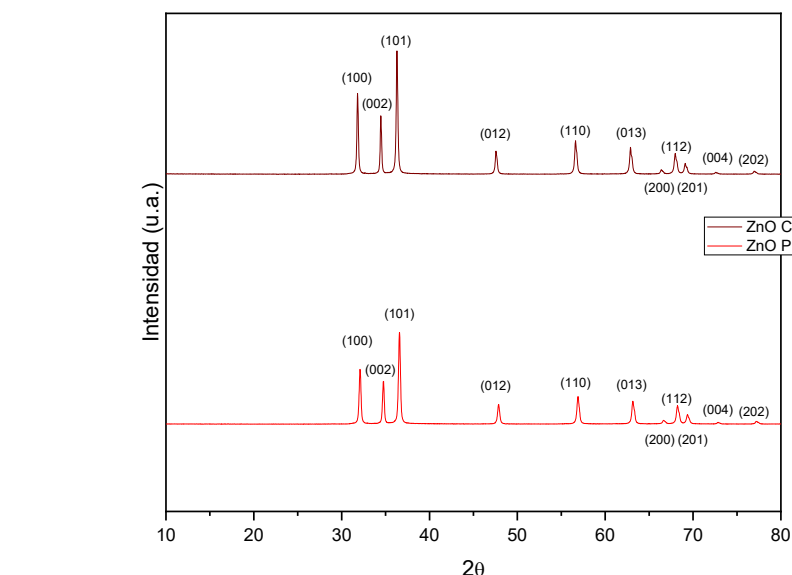


Nota: Gráfica

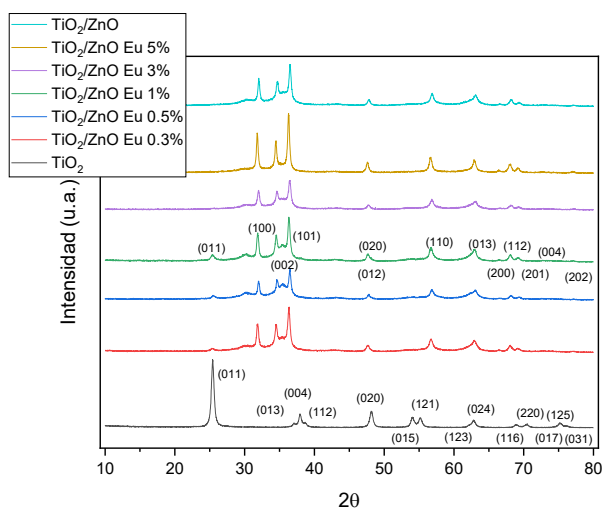
Los espectros de DRX de los catalizadores se muestran en la figura 2. Las señales correspondientes a 31.75° , 34.41° , 36.24° , 47.52° , 56.57° , 62.82° , 66.33° , 67.91° , 69.04° , 75.52° y 76.91° corresponden a ZnO en fase zincita, COD 9004178. Además, las señales en 25.42° , 37.10° , 37.95° , 38.65° , 48.16° , 54.06° , 55.17° , 62.82° , 68.94° , 70.42° , 75.21° y 76.10° , corresponden a TiO_2 en fase anatasa, COD 9009086. En el patrón de DRX, no se observaron señales para fases de Eu_2O_3 , lo que puede esperarse del dopaje con iones de Eu, implicando que el lantánido está mejor dispersado en la matriz. Se puede mencionar que el radio iónico de Eu^{3+} (0.947 nm, coordinación 6) es más grande que el del Ti^{4+} (0.605 nm, coordinación 6) y el Zn^{2+} (0.74 nm, coordinación 6) (Xochihua Juan et al., 2022).

Además, el TiO_2/ZnO tuvo el menor tamaño de cristal. Éste aumentó al añadir Eu como dopante, teniendo el mayor tamaño el catalizador correspondiente a Eu 5%. Por otro lado, ZnO tuvo el mayor tamaño de cristal. Las bandas prohibidas calculadas fueron de entre 2.9 y 3.1 eV, teniendo los catalizadores dopados con Eu menores E_g respecto a TiO_2 , ZnO y TiO_2/ZnO . La disminución de la banda prohibida para los catalizadores dopados con Eu podría deberse a la incorporación del lantánido (Xochihua Juan et al., 2022).

Figura 2. Espectros DRX de los catalizadores sintetizados.



a)



b)

Nota. a) ZnO sintetizado por calcinación (ZnO C) y ZnO sintetizado por precipitación (ZnO P), b) TiO_2 y TiO_2/ZnO dopado con Eu a diferentes concentraciones.

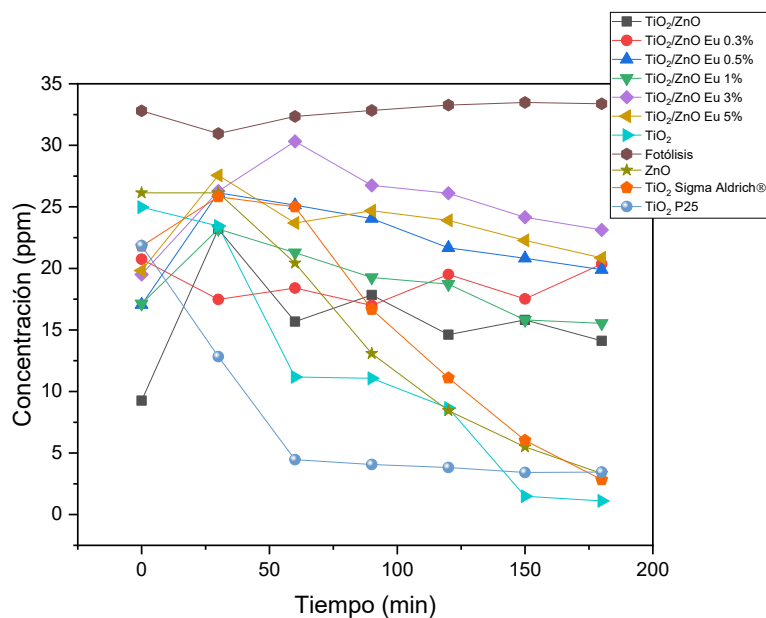
A partir de los espectros mostrados en las figuras 1 y 2, se obtuvo la brecha energética, el tamaño de cristal y las fases de los catalizadores sintetizados. Esta información se muestra en la figura 2. Al obtenerse resultados similares en las caracterizaciones para el ZnO sintetizado de las maneras mencionadas, se utilizó el ZnO sintetizado por calcinación en los cálculos y experimentos posteriores.

Tabla 2. Datos de fase cristalina, banda prohibida y tamaño de cristal de los catalizadores sintetizados.

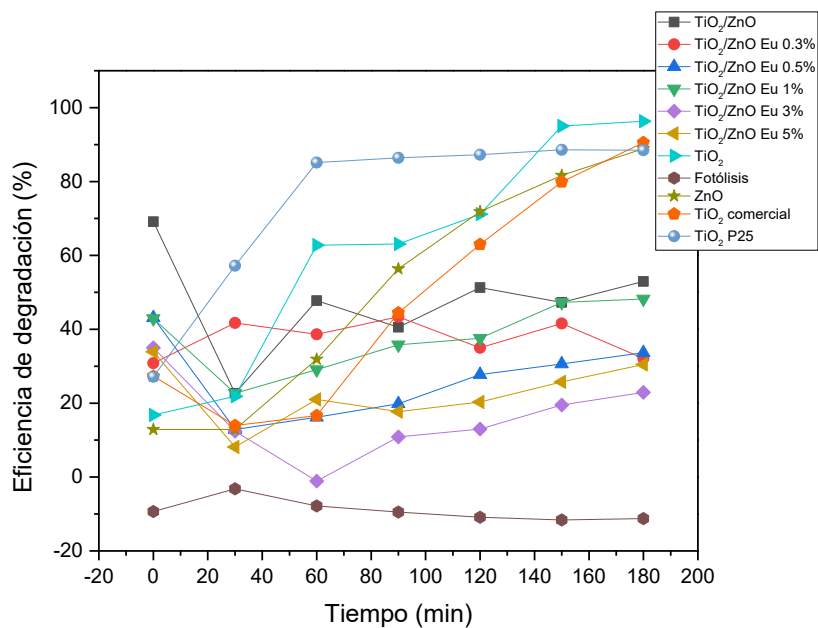
Catalizador	Fase cristalina	Tamaño de cristal (nm)	E_g (eV)
TiO ₂	Anatasa	17.80	3.07
ZnO	Zincita	37.59	3.01
TiO ₂ /ZnO Eu 0.3%	Anatasa y zincita	15.69	2.95
TiO ₂ /ZnO Eu 0.5%	Anatasa y zincita	15.50	3.00
TiO ₂ /ZnO Eu 1%	Anatasa y zincita	15.47	2.95
TiO ₂ /ZnO Eu 3%	Zincita	12.27	2.97
TiO ₂ /ZnO Eu 5%	Zincita	21.22	2.93
TiO ₂ /ZnO	Zincita	11.94	3.03

Nota: datos de los catalizadores sintetizados.

Figura 4. Resultados de reacciones en luz visible de DBSS para fotólisis y degradación fotocatalítica.



a)

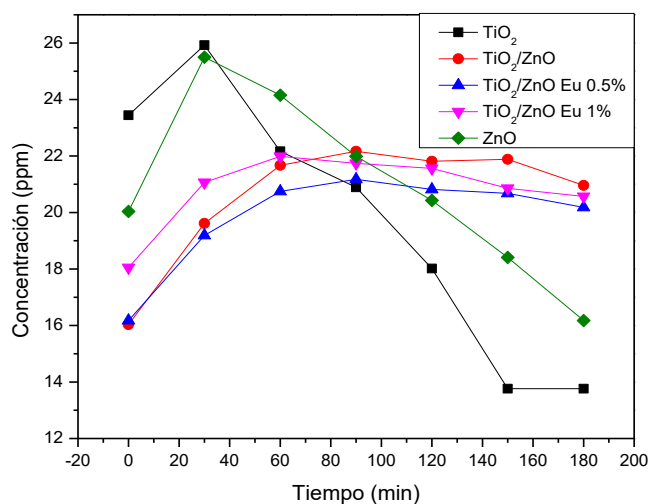


b)

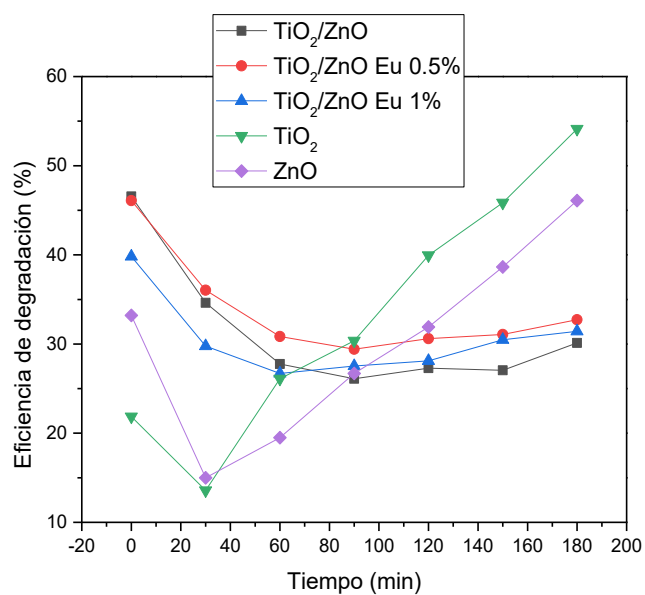
Nota. a) Concentraciones de DBSS respecto al tiempo, y b) Variación de la eficiencia de degradación respecto al tiempo para fotólisis y degradación para los catalizadores seleccionados.

Al seleccionar los catalizadores sintetizados con mayor eficiencia de degradación, se usaron en reacciones de degradación en presencia de luz UV. Los resultados de dichas reacciones se muestran en la figura 5.

Figura 5. Resultados de reacciones en luz UV de DBSS para degradación fotocatalítica.



a)

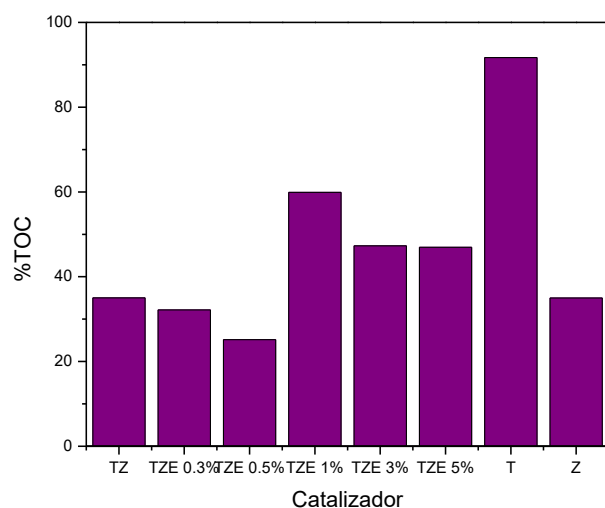


b)

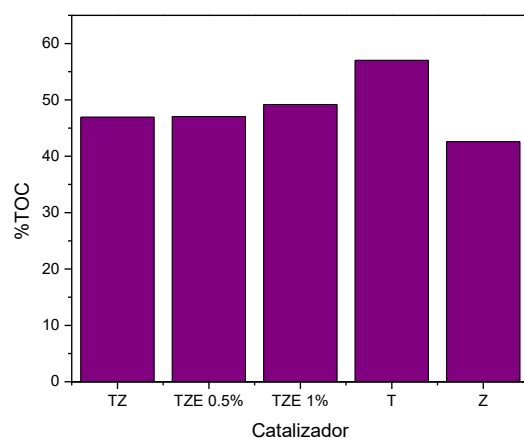
Nota. a) Concentraciones de DBSS respecto al tiempo, y b) Variación de la eficiencia de degradación respecto al tiempo para degradación usando los catalizadores seleccionados.

Los resultados del análisis del COT de las reacciones realizadas se muestran en la figura 6. Los porcentajes de mineralización se calcularon a partir de las concentraciones iniciales y finales para cada reacción.

Figura 6. Resultados de análisis de COT



a)



b)

Nota. Porcentaje de mineralización para las reacciones: a) en presencia de luz visible, b) en presencia de luz UV.

Puede notarse que el TiO_2 tuvo una mayor degradación respecto al resto de los catalizadores. Además, el TiO_2 sintetizado por sol-gel tuvo una mayor eficiencia respecto a el TiO_2 P25 y el TiO_2 comercial. Estos últimos presentaron un porcentaje de degradación similar al ZnO sintetizado. Por otro lado, de entre los catalizadores dopados con Eu, el TiO_2/ZnO con Eu 1% fue el que tuvo una mayor degradación. Contrastando estos resultados con los obtenidos en presencia de luz UV, la degradación fue menor para los catalizadores sintetizados, lo que indica que éstos mostraron ser

más eficientes en presencia de luz visible, para las condiciones estudiadas. El TiO_2 y el ZnO mostraron una mayor degradación que TiO_2/ZnO y los catalizadores dopados.

Al comparar estos resultados con el porcentaje de COT, éstos presentaron similitud con los porcentajes de degradación para TiO_2 y TiO_2/ZnO Eu 0.3%, 1%, 5%, en las reacciones en presencia de luz visible. Esto también pudo notarse en las reacciones en presencia de luz UV para los catalizadores estudiados. Por lo tanto, a pesar de que la eficiencia de degradación de los catalizadores TiO_2/ZnO dopados con Eu es menor a la de TiO_2 y ZnO , se obtuvo una buena mineralización en los casos mencionados, de entre 95-100%. Esto podría deberse a las fases obtenidas en los catalizadores sintetizados, que, junto con la disminución de la banda prohibida debido al Eu, muestran una buena mineralización de DBSS.

CONCLUSIONES

Se han sintetizado fotocatalizadores usando TiO_2/ZnO al 50% usando concentraciones de Eu 0.3, 0.5, 1, 3 y 5% en peso, por el método sol-gel. Se han caracterizado usando espectrofotometría UV-Vis y DRX, obteniéndose una brecha energética de entre 3 y 2.9 eV. Además, el tamaño de cristal obtenido fue entre 11.9 y 16 nm, con las fases zincita y anatasa. Los resultados preliminares mostraron un máximo de 48.2% de degradación y 60.0% de mineralización del DBSS usando TiO_2/ZnO Eu 1%, en presencia de luz visible, con 2.95 eV de banda prohibida (en luz UV, se obtuvo 31.4% de degradación y 49.2% de mineralización). El catalizador TiO_2/ZnO presentó 52.9 y 30.1% de degradación y 35.0 y 46.9% de mineralización en luz visible y luz UV, respectivamente. El TiO_2 mostró 96.3 y 54.1% de degradación y 91.7 y 57.0% de mineralización en luz visible y luz UV, respectivamente. Las fases obtenidas en los catalizadores sintetizados y la disminución de la banda prohibida debido al Eu, promueven una buena mineralización de DBSS (Xochihua Juan et al., 2022).

PROPUESTA

Siendo estudios preliminares, pueden añadirse más caracterizaciones para los catalizadores, como espectroscopía foto electrónica de rayos X (XPS, acrónimo en inglés), adsorción-desorción de nitrógeno y microscopía electrónica de barrido. De este modo, se podría correlacionar las

propiedades analizadas con la eficiencia de degradación de los catalizadores para DBSS. Además, podrían conocerse el ambiente químico, la morfología y las propiedades texturales de los materiales sintetizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badmus, S. O., Amusa, H. K., Oyehan, T. A., y Saleh, T. A. (2021). *Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques*. *Environmental science and pollution research international*, 28(44), 62085–62104. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16483-w>
- Bokov, D., Jalil, A. T., Chupradit, S., Suksatan, W., Ansari, M. J., Shewael, I. H., Valiev, G. H., y Kianfar, E. (2021). *Nanomaterial by sol-gel method: Synthesis and application*, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 5102014. <https://doi.org/10.1155/2021/5102014>
- Boskabadi, M. R., Rogé, V., Bazargan, A., Sargazi, H., y Barborini, E. (2022). *An introduction to photocatalysis*. In A. Bazargan (Ed.), *Photocatalytic water and wastewater treatment* (pp. 1-36). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789061932>
- Jiang, D., Otitoju, T. A., Ouyang, Y., Shoparwe, N. F., Wang, S., Zhang, A., y Li, S. (2021). *A Review on Metal Ions Modified TiO₂ for Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants*. *Catalysts*, 11(9), 1039. <https://doi.org/10.3390/catal11091039>
- Landge, V. K., Chao-Ming, H., Hakke, V. S., Sonawane, S. H., Manickam, S., y Ming-Chun, H. (2022). *Solar-Energy-Driven Cu-ZnO/TiO₂ Nanocomposite Photocatalyst for the Rapid Degradation of Congo Red Azo Dye*. *Catalysts*, 12(6), 605. <https://doi.org/10.3390/catal12060605>
- Lintang, Y., Hang, S., Yong-guang, W., y Jun, W. (2022). *Fenton-neutralization-coagulation process for the treatment for the treatment of SDBS wastewater*. In B. K. Saikia (Ed.), *Advances in applied chemistry and industrial catalysis* (pp. 431-437). CRC Press; Balkema. <https://doi.org/10.1201/9781003308553-65>
- Munguti, L., y Dejene, F. (2021). *Effects of Zn:Ti molar ratios on the morphological, optical and photocatalytic properties of ZnO-TiO₂ nanocomposites for application in dye removal*. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 128(15), 105786. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2021.105786>
- Xochihua Juan, J. L., Solis Maldonado, C., Luna Sánchez, R. A., Enciso Díaz, O. J., Rojas Ronquillo M. R., Sandoval-Rangel, L., Pineda Aguilar, N., Ramos Delgado, N. A., y Martínez-Vargas, D. X. (2022). *TiO₂ doped with europium (Eu): Synthesis, characterization and catalytic performance on pesticide degradation under solar irradiation*. *Catalysis Today*, 394-396, 304-313. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.08.024>

Capítulo XI

POTENCIAL ENERGÉTICO TEÓRICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE JALISCO

Anahí Arreaga Cancino
José Yovany Galindo Diaz
Irving Geovanny Zúñiga Santiz

RESUMEN

Los residuos agroindustriales de cultivos en el estado de Jalisco, México, generaron un volumen total aproximado de 4668859.66 ton en el 2023, estos residuos pueden ser valorizados energéticamente utilizando gasificación como método de conversión. Los cultivos seleccionados incluyen caña de azúcar, maíz, agave, plátano, sorgo y trigo, los cuales generan grandes volúmenes de residuos, como bagazo, rastrojos, pseudotallos y residuos post cosecha como el olote, cuya disposición final es a menudo inadecuada y que contribuye a problemas ambientales y de salud pública.

A través del cálculo del poder calorífico superior y la estimación de la eficiencia de gasificación en 35%, los resultados indican que estos residuos podrían teóricamente generar hasta 4,743,003.98 MW al año, lo que representa una fuente significativa de energía renovable que podría cubrir gran parte de la demanda energética del estado de Jalisco, estimada en 6,157 MW en 2023. Este enfoque no solo ayuda a reducir el impacto ambiental de la disposición de residuos, sino que también impulsa la economía circular y fomenta la sostenibilidad energética.

La implementación de este tipo de sistemas podría ofrecer una alternativa viable para el desarrollo de la bioenergía en Jalisco, promoviendo así la soberanía energética y el aprovechamiento sostenible de recursos locales que actualmente no son valorizados como un sustituto directo de los combustibles fósiles.

Palabras clave: Residuos agrícolas, potencial energético, economía circular.

Introducción

La creciente demanda de energía y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado la exploración de fuentes alternativas y sostenibles para la generación de energía. En este contexto, el aprovechamiento de los residuos agroindustriales emerge como una

estrategia prometedora para la producción de biomasa y bioenergía, fomentando además prácticas de economía circular en el sector agrícola (Karić et al., 2022). Los residuos agrícolas, generados a partir de cultivos de alto volumen de producción, presentan un gran potencial para la conversión energética, dado que representan entre el 20% y el 30% de la biomasa total generada en las actividades agroindustriales (Naik et al., 2023).

En el estado de Jalisco, uno de los principales productores agrícolas de México, cultivos como la caña de azúcar, el maíz, el agave, el plátano, el sorgo y el trigo generan grandes volúmenes de residuos durante sus procesos de cosecha y postcosecha (Pesquera, 2023). Estos residuos, como el bagazo, rastrojos y pseudotallos, suelen disponer de forma inadecuada, contribuyendo a problemas ambientales y de salud, ya que muchas veces se opta por su quema en campo para liberar el terreno para nuevos cultivos (Ibitoye, Jen, Mahamood, y Akinlabi, 2021). Esta práctica incrementa las emisiones de carbono y afecta negativamente la calidad del suelo y del aire.

La valorización de estos residuos mediante técnicas como la gasificación no solo permite su aprovechamiento energético, sino que también reduce el impacto ambiental de su disposición final. En este trabajo, se evalúa el potencial energético de los residuos agroindustriales seleccionados en Jalisco mediante gasificación, utilizando parámetros como el poder calorífico superior y un rendimiento teórico estimado del 35% en el proceso de conversión energética (Naranjo, 2009). Este análisis busca aportar datos precisos sobre la viabilidad del uso de residuos agrícolas en la generación de energía renovable, promoviendo así la soberanía energética y el aprovechamiento de los recursos locales en el estado de Jalisco, impulsando así la economía circular.

DESARROLLO

Selección de los cultivos

Se seleccionaron los cultivos con un volumen superior a las 100 mil toneladas de producción del estado de Jalisco siendo los cultivos seleccionados: caña de azúcar, maíz, agave, plátano, elote, sorgo y trigo, con base a la producción del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera generado en el 2023 (Tabla 1) y a la disposición final inadecuada de los residuos generados en el proceso de cosecha y/o producción agroindustrial. En la industria agroalimentaria los residuos son generados por la eliminación de los productos desechables de los indeseables (Kwan et al., 2018), como los rastrojos y los bagazos. El porcentaje de residuos agrícolas procedentes de las actividades

agroindustriales puede variar según el tipo de cultivo y la región. En promedio, se estima que entre el 20% y el 30% de la biomasa agrícola queda como residuos de campo (Naik et al., 2023). Según datos recientes, el mundo genera aproximadamente mil millones de toneladas de desechos agrícolas cada año y la agricultura aporta cerca de una quinta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (Karić et al., 2022), por lo que valorizar estos desechos en la generación de energía promovería los recursos locales impulsando la soberanía energética.

En la tabla 1 se presentan los 109 cultivos que produjo el estado de Jalisco en el 2023, por lo que Jalisco se sigue ubicando dentro de los estados que mayor producción agrícola tiene a nivel nacional con una producción total de 43114985.42 considerando los pastos, las plantas y la producción agrícola total (Pesquera, 2023).

Tabla 1. *Cultivos cíclicos y perennes del estado de Jalisco 2023.*

Nombre del cultivo	Ha Sembrada	Ton de producción
Pastos y praderas	465969.34	14695166.14
Caña de azúcar	83419	7202365.11
Pasto tapete (m ²)	546	5392445.04
Maíz forrajero en verde	205865.99	4583654.91
Maíz grano	556497.34	3498653.21
Nochebuena (planta)	22	1977783
Agave	133763.52	1268502.41
Alfalfa verde	6496.68	633422.55
Aguacate	29618.87	323228.37
Avena forrajera en verde	13917.26	318685.68
Sorgo forrajero en verde	10050.76	212087.03
Tomate rojo (jitomate)	2408.79	211715.9
Plátano	4084	203086.97
Chile verde	4852.78	189784.2
Rosa (gruesa)	68	173791.68
Elote	8022.11	164155.04
Orquídea (gruesa)	44	161920
Semilla de caña de azúcar	1558.5	160009.78
Helecho	67.5	145800
Sorgo grano	23676.57	133353.54
Mango	8662.7	129992.4
Trigo grano	22683	127101.98
Frambuesa	7035.99	122021.8
Sandía	2309.59	119446.9

Limón	6966.8	108796.68
Tomate verde	4988.15	90387.58
Papa	1924	65366.8
Cebolla	2047	64618.42
Coco fruta	2844	58832.41
Triticale forrajero en verde	2070	48342
Papaya	581.14	34071.06
Piña	554	32132.52
Nopalitos	742.5	29412.52
Arándano	2072.8	28120.5
Pepino	1027.98	27031.67
Calabacita	1149.5	25547.59
Semilla de maíz grano	2810	25431.62
Tamarindo	4013.5	22866.14
Brócoli	1134	22743.97
Cebada forrajera en verde	910.55	20320.8
Arroz palay	3106	20291.54
Fresa	631	18395.01
Garbanzo forrajero	3173.78	16547.52
Zarzamora	1029.09	16158.82
Cártamo	4596.7	14993.4
Caña de azúcar fruta	311	13804.33
Cebada grano	2826	13792.83
Cártamo forrajero en verde	1081	13665.92
Tuna	2024.5	13623.08
Naranja	606	11004.73
Chayote	138	9522
Frijol	11409.54	9408.13
Ciruela	1175.5	8617.09
Lechuga	356	7902.08
Rábano	227	7766.26
Col (repollo)	195.5	6111.91
Café cereza	3520	4939.81
Melón	180.37	4362.09
Jícama	145	3812.31
Lima	264	3781.79
Zanahoria	140	3697.75
Guayaba	336.47	3610.17
Betabel	144	3176.73
Chía	4187.75	3134.86
Uva	130	2302.3
Avena grano	490	2236.12

Copra	945	1978.55
Pitaya	300.99	1923.61
Durazno	249.11	1839.79
Chile seco	936	1566.48
Coliflor	67	1462.55
Apio	116.5	1318.88
Garbanzo porquero	725	1309.87
Cilantro	114	1300.44
Cacahuete	632.17	1257.26
Camote	64.75	1169.1
Palma de ornato	5	1150
Ejote	123	1116.25
Ebo (janamargo o veza)	43	902.57
Calabaza	54.14	865.82
Granada	94.5	835.11
Garbanzo grano	359	728.98
Chícharo	110	711.25
Toronja (pomelo)	60	655.2
Membrillo	53	615.64
Jaca (jackfruit)	37	511.57
Calabaza semilla o chihua	349.24	443.12
Acelga	30.5	421.87
Nuez	205.5	386.68
Espárrago	45	343.85
Ajo	20	291.2
Higo	29	181.56
Carambolo	15	113.7
Mamey	18.5	110.08
Mandarina	8	106.16
Ajonjolí	321.66	100.09
Guanábana	12	69.24
Aceituna	25	55
Nanche	10	54.6
Noni	8	51.52
Manzana	8	47.55
Maracuyá	7	31.64
Litchi	6	28.32
Tejocote	6	27.9
Girasol	17	25.55
Canola	8	9.6
Capulín	2	6.3
Chabacano	1	4.62

Jamaica	4.62	1.85
---------	------	------

Nota: (Pesquera, 2023).

Diagnóstico de los residuos agroindustriales con potencial de conversión energético.

La quema de rastrojos y residuos agrícolas es una práctica común en México, utilizada tradicionalmente para limpiar terrenos y facilitar la preparación del suelo para nuevas siembras. Sin embargo, esta práctica tiene consecuencias ambientales y de salud significativas, por lo que convertir estos residuos en energía eléctrica utilizables servirá para mitigar y/o coadyuvar a erradicar estos problemas (Ibitoye et al., 2021). Por lo que estos son los residuos que se proponen utilizar principalmente para este estudio teórico.

Otros tipos de residuos como el olote y el raquis o Pseudotallo del plátano también son considerados no solo por la disposición final, si no por su poder calorífico superior que caracteriza el contenido energético de un combustible, ya sea sólido, líquido o gaseoso (Cubillos, Tobón, y Vargas, 2019).

Potencial energético de los residuos postcosecha por medio de gasificación.

El potencial energético de los residuos postcosecha se determinó por medio de la ecuación 1) de Dulong modificada (Gendebien y Leavens, 2003), usando el valor calorífico superior para el residuo potencial, para después convertir los kilojoules (kJ) a kilowatts (kw) y poder calcular la energía teórica generada en mega watts (Mw), considerando que la eficiencia típica de la gasificación suele estar entre el 30% y 60% (Naranjo, 2009) . Para este estudio consideraremos una eficiencia baja del 35%, ya que no estamos considerando factores como el pretratamiento de la materia prima como el secado o la molienda para la reducción de tamaño.

$$\text{Energía Total (KJ)} = \text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) * \text{masa de Residuos (Kg)} \quad \text{ec1}$$

$$\text{Energía Total (kWh)} = \text{Energía total (KJ)} * 0.00028 \quad \text{ec2}$$

$$\text{Energía Entregada (kWh)} = \text{Energía Total (kWh)} * \text{eficiencia de gasificación} \quad \text{ec 3}$$

MÉTODO

Se seleccionaron los cultivos de Jalisco con una producción superior a 100 mil toneladas en 2023 — caña de azúcar, maíz, agave, plátano, elote, sorgo y trigo— debido a la alta generación de residuos durante su cosecha y procesamiento. En la industria agroalimentaria, estos residuos provienen de la

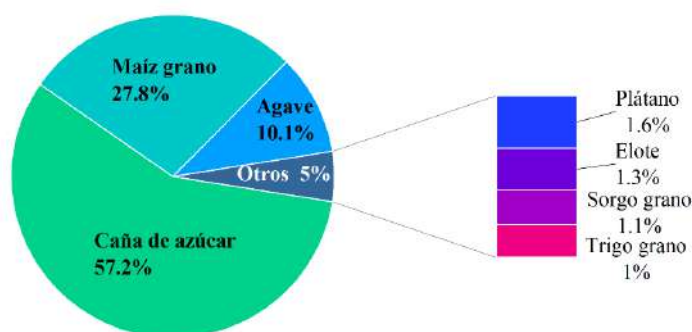
separación de materiales deseables e indeseables, como rastrojos y bagazos. Se estima que entre el 20% y 30% de la biomasa agrícola queda como residuo en campo, y a nivel mundial se producen alrededor de mil millones de toneladas de desechos agrícolas al año, contribuyendo significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, su aprovechamiento energético representa una oportunidad para fortalecer los recursos locales y la soberanía energética.

RESULTADOS

El cultivo de caña representa para el estado de jalisco uno de los cultivos con mayor potencial como resultado de la disponibilidad que existe ya que es el segundo cultivo con mayor volumen de producción, además de generar un residuo susceptible a la generación de energía en las plantas azucareras (biomasa) y también tiene aplicaciones en la producción de biocombustibles, bioplásticos, y materiales compuestos. El segundo residuo con mayor disponibilidad con un 27.8% es del cultivo del maíz como se muestra en el diagrama siguiente seguido del cultivo de agave representando un 10.1% (ver figura 1). El volumen total generado en el 2023 a partir de los residuos seleccionados hace un gran total aproximado de 4668859.66 Ton las cuales podrían ser aprovechadas como fuente de energía mediante tratamiento termal, es decir, calentamiento de la biomasa en un ambiente inerte o deficiente en oxígeno como la gasificación.

Figura 1. Cultivos con mayor volumen anual de Jalisco 2023.

Cultivos Con Mayor Volumen Anual en Jalisco
2023



Nota: Elaboración propia.

Los residuos seleccionados fueron los rastrojos y/o bagazos de los cultivos de caña de azúcar, Maíz, Agave Sorgo y Trigo, así como el Pseudotallo del cultivo de plata el cual constituye el 60% del residuo que se queda en el campo y también se consideró al olote del cultivo de maíz como resultado tanto de la disponibilidad y de la disposición final de este residuo. Cabe destacar que estos residuos con potencial como alternativa de biomasa para generación de energía por medio específicamente de gasificación, podrían ser clave para sostenibilidad energética y la economía circular en la industria de Jalisco.

Tabla 2. *Volumen de residuos susceptibles para conversión energética.*

Cultivo	Volumen de Producción (Ton)	Residuo	Porcentaje de residuo (%)	Volumen de residuo (Ton)	Referencia
Caña de azúcar	7202365.11	Bagazo	28.00	2016662.23	(Hiranobe et al., 2024)
Maíz grano	3498653.21	Rastrojo	53.40	1868280.81	(Muñoz, 2011)
Agave	1268502.41	Bagazo	40.00	507400.96	(Álvarez-Chávez, Villamiel, Santos-Zea, y Ramírez-Jiménez, 2021)
Plátano	203086.97	Pseudotallo	60.00	121852.18	(Alzate Acevedo, Díaz Carrillo Á, Flórez-López, y Grande-Tovar, 2021)
Elote	164155.04	Olote	15.00	24623.25	(Santolini, Bovo, Barbaresi, Torreggiani, y Tassinari, 2021)
Sorgo grano	133353.54	Rastrojo	47.00	62676.16	(Muro Reyes, Camacho Villa, y Guevara-Hernández, 2013)
Trigo grano	127101.98	Rastrojo	53.00	67364.04	(Wortmann, Klein, Wilhelm, y Shapiro, 2008)

Nota: Volumen de residuos.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del estudio del volumen total de residuo y la energía teórica que puede ser entregada en MW por año por estos residuos mediante el proceso de gasificación considerando una eficiencia baja del 35% (tabla 3), por lo que esta energía podría

aumentar dependiendo el proceso de pretratamiento, del gasificador seleccionado y el residuo a utilizar.

Sin embargo, de acuerdo con Zarco en Jalisco el consumo energético es de 6 157 MW en el 2023 (Zarco, 2023), por lo que el uso de cualquiera de estos residuos podría suplir dicho consumo energético por medio de fuentes alternativas, teóricamente usando todos estos residuos con las condiciones antes mencionadas podríamos haber obtenido en el 2023 4,743,003.98 Mw.

Tabla 3. *Potencial de aprovechamiento de residuos.*

Cultivo	Residuo	Volumen de residuo (Sukphun et al.)	Poder Calorífico Superior (KJ/Kg)	Energía Entregada (MW)	Referencias
Caña de azúcar	Bagazo	2016662.23	1700.00	335975.92	(Sukphun et al., 2023)
Maíz grano	Rastrojo	1868280.81	17380.00	3182130.61	(Kiprop Limo, Starovoytova Madara, y Ochola, 2024)
Agave	Bagazo	507400.96	16350.00	813008.56	(Liñán-Montes et al., 2014)
Plátano	Pseudotallo	121852.18	13680.00	163359.90	(Díaz Molina, Sosa Olivier, Laines Canepa, Silvan, y Figueiras Jaramillo, 2024)
Elote	Olote	24623.25	17260.00	41649.74	(Ibitoye et al., 2021)
Sorgo grano	Rastrojo	62676.16	18000.00	110560.75	(Morales, Hoshide, Carvalho, y Tardin, 2024)
Trigo grano	Rastrojo	67364.04	14590.00	96318.46	(Montero et al., 2016)

Nota: Potencial de aprovechamiento

CONCLUSIONES

El potencial energético de los residuos agroindustriales en Jalisco, como el bagazo de caña, rastrojos de maíz y sorgo, pseudotallo de plátano y olote se presentan como una fuente viable de biomasa para generación de energía, mediante el proceso de gasificación, contribuyendo a la soberanía energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el estado. La utilización completa de estos residuos podría cubrir una parte significativa de la demanda energética de Jalisco, con una capacidad teórica estimada de 4,743,003.98 MW al año.

El aprovechamiento de estos residuos no solo aborda la problemática de disposición inadecuada, sino que promueve la economía circular y minimiza el impacto ambiental, especialmente cuando se

implementan prácticas adecuadas de pretratamiento, como secado y molienda. La implementación de sistemas de gasificación eficientes y la evaluación de la eficiencia del motor en etapas de pretratamiento son recomendaciones clave para optimizar la conversión energética de estos residuos y maximizar el potencial de bioenergía en el sector agroindustrial.

PROPUESTAS

Para que los desechos agrícolas se puedan emplear de manera efectiva y eficaz en la producción de energía, deben ser tratados de manera correcta, con el fin de aliviar algunas restricciones vinculadas a la materia prima, tales como escasa eficiencia térmica, baja densidad energética y aparente, y elevado contenido de humedad, retos medioambientales, traslado, almacenaje, etc.

Se recomienda volver a hacer el análisis ya con la selección de un solo tipo de gasificador además de considerar las características de la materia prima (análisis elemental) y los pretratamientos necesarios para su uso en el gasificador como el secado y/o molienda de la materia prima, además considerar la eficiencia del motor en el caso de molienda, para poder determinar así la potencia consumida en la reducción de tamaño y también la potencia neta, la cual estaría determinada por la potencia del motor menos potencia de molienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L., y Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). *Agave By-Products: An Overview of Their Nutraceutical Value, Current Applications, and Processing Methods*. 2(3), 720-743.
- Alzate-Acevedo, S., Díaz-Carrillo Á, J., Flórez-López, E., y Grande-Tovar, C. D. (2021). *Recovery of Banana Waste-Loss from Production and Processing: A Contribution to a Circular Economy*. *Molecules*, 26(17). doi:10.3390/molecules26175282
- Cubillos, A. A. E., Tobón, A. E. D., y Vargas, S. A. C. (2019). *Estimación teórica del efecto de la temperatura en la densidad, viscosidad, poder calorífico, capacidad calorífica y gravedad API de biocombustibles*. *Scientia et technica*, 24(2), 190-199.
- Díaz-Molina, N. A., Sosa-Olivier, J. A., Laines-Canepa, J. R., Silvan, R. S., y Figueiras-Jaramillo, D. A. (2024). *Evaluation of the bioenergy potential of agricultural and agroindustrial waste generated in southeastern Mexico*. *AIMS Energy*, 12(5), 984-1009. doi:10.3934/energy.2024046
- Gendebien, A., Leavens, A., Blackmore, K., Godley, A., Lewin, K., y Whiting, K. J. (2003). *Refuse derived fuel, current practice and perspectives*.
- Hiranobe, C. T., Gomes, A. S., Paiva, F. F. G., Tolosa, G. R., Paim, L. L., Dognani, G., y Cabrera, F. C. (2024). *Sugarcane Bagasse: Challenges and Opportunities for Waste Recycling*. 6(2), 662-699.
- Ibitoye, S. E., Jen, T.C., Mahamood, R. M., y Akinlabi, E. T. (2021). *Improving the Combustion Properties of Corncob Biomass via Torrefaction for Solid Fuel Applications*. 5(10), 260.
- Karić, N., Maia, A. S., Teodorović, A., Atanasova, N., Langergraber, G., Crini, G., y Đolić, M. (2022). *Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in)organic pollutants in wastewater treatment*. *Chemical Engineering Journal Advances*, 9, 100239. doi:https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100239
- Kiprop-Limo, L., Starovoytova-Madara, D., y Ochola, J. (2024). *Characterization of Corn Stover and Eucalyptus Sawdust for Pellet Production*. *European Journal of Energy Research*, 4(2), 1-5. doi:10.24018/ejenergy.2024.4.2.135
- Kwan, T. H., Ong, K. L., Haque, M. A., Kwan, W. H., Kulkarni, S., y Lin, C. S. K. (2018). *Valorisation of food and beverage waste via saccharification for sugars recovery*. *Bioresource Technology*, 255, 67-75. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.077
- Liñán-Montes, A., de la Parra-Arciniega, S. M., Garza-González, M. T., García-Reyes, R. B., Soto-Regalado, E., y Cerino-Córdova, F. J. (2014). *Characterization and thermal analysis of agave bagasse and malt spent grain*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(1), 751-758. doi:10.1007/s10973-013-3321-y
- Montero, G., Coronado, M. A., Torres, R., Jaramillo, B. E., García, C., Stoytcheva, M., y Valenzuela,

- E. (2016). *Higher heating value determination of wheat straw from Baja California, Mexico*. *Energy*, 109, 612-619. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.011>
- Morales, M. M., Hoshide, A. K., Carvalho, L. M. P., y Tardin, F. D. (2024). *Sorghum Biomass as an Alternative Source for Bioenergy*. 4(3), 1017-1030.
- Muñoz, F. (2011). *Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México*. (Tesis de maestría Maestria), Colegio de Postgraduados de México, Retrieved from <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/602>
- Muro Reyes, L., Camacho Villa, T., y Guevara, H. F. (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. (6073701705). Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Retrieved from https://www.zef.de/uploads/tx_zefportal/Publications/tbeuchelt_download_Rastrojos%20manejo,%20uso%20y%20mercados%20en%20el%20centro%20y%20sur%20de%20México.pdf
- Naik, B., Kumar, V., Rizwanuddin, S., Chauhan, M., Gupta, A. K., Rustagi, S., y Gupta, S. (2023). *Agro-industrial waste: a cost-effective and eco-friendly substrate to produce amylase*. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 30. doi:10.1186/s43014-023-00143-2
- Naranjo, M. C. (2009). *Gasificación de biomasa y residuos en lecho fluidizado: estudios en planta piloto*. (Doctorado Europeo), Universidad de Sevilla, Retrieved from https://grupo.us.es/bioenergia/pdf/tesis/MCN_Thesiswork.pdf
- Pesquera, S. d. I. A. (2023). *Estadística de Producción Agrícola 2023*. Retrieved from <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Santolini, E., Bovo, M., Barbaresi, A., Torreggiani, D., y Tassinari, P. (2021). *Turning Agricultural Wastes into Biomaterials: Assessing the Sustainability of Scenarios of Circular Valorization of Corn Cob in a Life-Cycle Perspective*. 11(14), 6281.
- Sukphun, P., Wongarmat, W., Imai, T., Sittijunda, S., Chaiprapat, S., y Reungsang, A. (2023). *Two-stage biohydrogen and methane production from sugarcane-based sugar and ethanol industrial wastes: A comprehensive review*. *Bioresource Technology*, 386, 129519. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129519>
- Wortmann, C. S., Klein, R. N., Wilhelm, W. W., y Shapiro, C. A. (2008, 29/10/2024). *Harvesting crop residues*. *NebGuide*, G1846, 2-4.
- Zarco, J. (2023). *El 60 % de la energía que consume Jalisco se genera en el estado, el 31% es con tecnología renovable*. Retrieved from <https://www.pv-magazine-mexico.com/2023/09/22/el-60-de-la-energia-que-consume-jalisco-se-genera-en-el-estado-el-31-es-con-tecnologia-renovable/#:~:text=%E2%80%9CEl%2060%20%25%20de%20la%20energ%C3%ADa,tecnolog%C3%ADa%20renovable%E2%80%9D%20%E2%80%93%20pv%20magazine%20Mexico>

Capítulo XII

PUESTA EN MARCHA DEL LABORATORIO DE HIDRÓGENO VERDE EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PUEBLA

Avelina García Sánchez
Juan Pedro Cervantes de la Rosa
Jaime Luna Aguirre

RESUMEN

El hidrógeno verde es una de las alternativas más prometedoras para combatir el calentamiento global y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; coadyuva a la descarbonización y a reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Se obtiene a partir de energías renovables, sin generar emisiones de dióxido de carbono (CO_2), lo que lo convierte en una alternativa limpia y sostenible frente al hidrógeno gris (producido a partir de combustibles fósiles) y al hidrógeno azul (que también proviene de fuentes fósiles, pero con captura de carbono).

El proceso más común para producir hidrógeno verde es a través de la electrólisis del agua utilizando energía eléctrica de fuentes renovables. El proceso se realiza en un dispositivo llamado electrolizador, que contiene dos electrodos (cátodo y ánodo) sumergidos en agua. Al aplicar una corriente eléctrica, el agua se separa en hidrógeno (en el cátodo) y oxígeno (en el ánodo).

La universidad tecnológica de Puebla cuenta con un área dedicada a las energías renovables, lo que le permite estudiar y desarrollar proyectos relacionados con el hidrógeno verde. Para incorporar la producción de hidrógeno verde en su plan de estudios, es necesario adaptar un laboratorio especializado.

En el edificio K3, el aula designada para el laboratorio realizará modificaciones en su infraestructura; es necesario actualizar las instalaciones para que sean a prueba de explosión,

además se deberán agregar instalaciones hidráulicas y sanitarias, para cumplir con los nuevos requisitos de este.

Este proyecto permitirá a la universidad estar a la vanguardia en la formación de profesionales capaces de desarrollar tecnologías limpias

Palabras clave: Hidrógeno verde, Laboratorio, Descarbonización

Introducción

La transición hacia fuentes de energía más sostenibles es una necesidad urgente en el contexto global del cambio climático y la crisis energética. El hidrógeno verde, producido a partir de fuentes renovables como la energía solar y eólica, se presenta como una alternativa prometedora para la descarbonización de sectores clave como el transporte y la industria.

Para identificar rápidamente la fuente de energía, tecnología de producción y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) relacionadas con la producción de hidrógeno, la comunidad internacional ha asignado "colores" al hidrógeno, siendo el hidrógeno verde (energía renovable con al menos un 60% menos de emisiones de GEI, según CertifHy) el más limpio y el más buscado para alcanzar los objetivos de mitigación del cambio climático.

Hoy en día, el hidrógeno verde es entre un 50 y un 300% más caro que el hidrógeno gris y otros combustibles fósiles. Sin embargo, el Hydrogen Council espera que sus costos disminuyan hasta un 60% en los próximos 10 años. (HINICIO, 2021, página 7).

La creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a la búsqueda urgente de fuentes de energía más limpias y sostenibles. En este contexto, el hidrógeno verde, producido a partir de fuentes renovables, emerge como una de las alternativas más prometedoras para descarbonizar diversos sectores, especialmente el transporte y la industria. Este tipo de hidrógeno no solo representa una solución para la reducción de la huella de carbono, sino que también fomenta

la transición hacia una economía más sostenible, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

El hidrógeno es sumamente versátil en cuanto a los usos que se le puede dar. No obstante, en la actualidad, este elemento se utiliza principalmente en dos sectores: 1) en la refinación del petróleo, a fin de eliminar impurezas; 2) en la industria, principalmente para producir amoníaco (fertilizantes), metanol y hierro de reducción directa. En el sector industrial, además, se utiliza entre fabricantes de vidrio, electrónicos y cemento, así como en el procesamiento de alimentos, con objeto de modificar la composición de grasas y mantecas.

Otros usos, de aplicaciones no tradicionales en el transporte, en las viviendas y en la generación de energía eléctrica, aún resultan marginales. Se anticipa que, en el corto plazo, el hidrógeno de bajas emisiones y, en particular, el hidrógeno verde gane terreno y se erija en un complemento de las energías renovables durante el proceso de descarbonización de la economía. (Varios S. M., 2023, p. 10)

En este marco, la Universidad Tecnológica de Puebla (UTP) ha dado un paso significativo en la investigación y desarrollo de tecnologías limpias con la puesta en marcha de su Laboratorio de Hidrógeno Verde. Este espacio tiene como objetivo principal promover la investigación científica, la innovación tecnológica y la formación de recursos humanos altamente capacitados en este campo emergente. El proyecto fue realizado en colaboración con la Agencia de Energía del Estado de Puebla, quien proporcionó recursos para su desarrollo e implementación.

Frente a la transición energética verde y al extractivismo verde en expansión, la orientación hacia el bien común en el ámbito de la política energética y de materias primas debe crear condiciones marco legales que prioricen la reducción de la pobreza energética a las exportaciones, y convertirlas en un requisito para las inversiones internacionales. Por ejemplo, las exportaciones de hidrógeno verde tendrían que someterse al principio de adicionalidad en una política energética destinada al bien

común. Esto quiere decir que el desarrollo de una infraestructura de hidrógeno verde debe ser útil primero para los países y sociedades proveedores. (Dietz, 2023, p. 120)

La UTP dispone de un área enfocada en energías renovables, lo que le permite investigar y crear proyectos vinculados al hidrógeno verde. Para integrar la producción de hidrógeno verde en su programa académico, es fundamental acondicionar un laboratorio especializado.

En el edificio K3, el aula asignada para el laboratorio fue sometida a modificaciones en su infraestructura; es necesario actualizar las instalaciones para garantizar que sean resistentes a explosiones, además de incorporar sistemas hidráulicos y sanitarios que cumplan con los nuevos requisitos. Este proyecto posicionará a la Universidad como líder en la capacitación de profesionales capacitados para desarrollar proyectos en este campo.

DESARROLLO

La Universidad Tecnológica de Puebla (UTP), consciente de los retos energéticos y medioambientales que enfrenta la región y el país, ha decidido dar un paso clave en la formación de recursos humanos altamente calificados en este campo mediante la creación de un laboratorio especializado en hidrógeno verde. Esta infraestructura permitirá a la universidad realizar investigaciones de vanguardia, generar innovación tecnológica y fortalecer su compromiso con el desarrollo de soluciones sostenibles.

El método más habitual para obtener hidrógeno verde es mediante la electrólisis del agua, utilizando electricidad proveniente de fuentes renovable.

La electrólisis es entonces, el proceso mediante el cual se logra la disociación de una sustancia llamada electrolito, en sus iones constituyentes (aniones y cationes), gracias a la administración de corriente eléctrica. Este proceso se lleva a cabo en un aparato llamado celda electrolítica.

La electrólisis del agua es una reacción electroquímica que tiene lugar dentro de las pilas de celdas. Se aplica electricidad al ánodo y al cátodo a través de la membrana por ejemplo de intercambio de protones (PEM) y hace que el agua (H_2O)

se divida en sus moléculas componentes, hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). (Varios, 2022, p. 16)

El hidrógeno —un gas muy ligero que al usarse solo emite vapor de agua— es el elemento más abundante en el universo, pero no se encuentra en estado natural. Para obtenerlo es necesario extraerlo de otras moléculas. Una forma de hacerlo es a través de un proceso químico conocido como electrólisis. Este método utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua. Si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, se llama hidrógeno verde, porque ni al producirlo ni al usarlo emite dióxido de carbono a la atmósfera. (Varios, 2022, p. 4)

MÉTODO

La metodología del proyecto "Puesta en Marcha del Laboratorio de Hidrógeno Verde en la Universidad Tecnológica de Puebla" sigue un enfoque sistemático que abarca todas las etapas necesarias para asegurar que el laboratorio cumpla con los objetivos de formación, investigación e innovación. La correcta implementación de cada fase garantizará el éxito del proyecto y posicionará a la UTP como un referente en la investigación de energías renovables.

RESULTADOS

El proyecto "Puesta en Marcha del Laboratorio de Hidrógeno Verde en la Universidad Tecnológica de Puebla" seguirá una metodología estructurada en varias fases, desde la planificación inicial hasta la implementación y evaluación del laboratorio. A continuación, se describen las principales etapas de la metodología:

1. Fase de Planificación y Diagnóstico

La primera fase del proyecto estará dedicada a la planificación detallada y diagnóstico de las necesidades tanto académicas como operativas para la obtención de hidrógeno verde.

Evaluación de necesidades físicas y técnicas del espacio destinado para el laboratorio.

Revisión de normativas y estándares de seguridad.

Estudio de viabilidad técnica y económica. ha sido fundamental para evaluar la factibilidad del proyecto en términos de infraestructura, recursos humanos, equipamiento y costos operativos. Viabilidad Técnica/Infraestructura y adecuación del espacio: El edificio K3 de la UTP ha sido identificado como el espacio adecuado para alojar el laboratorio. Tras una evaluación técnica, se requiere que se realicen modificaciones específicas para garantizar la seguridad en el manejo de hidrógeno, como la instalación de sistemas de ventilación, estructuras anti-explosión y mejoras en las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

2. Fase de Diseño y Acondicionamiento del Espacio.

Una vez concluido el diagnóstico inicial, se procederá a diseñar la infraestructura del laboratorio y a realizar las adecuaciones necesarias.

Diseño del laboratorio: se habilitó un espacio de 60 m² que funcionaba como laboratorio de informática; el espacio cuenta con amplios ventanales que le proporcionan suficiente iluminación y ventilación, la altura al techo es 2.80 m lo que contribuye a evitar la concentración de hidrógeno y otras posibles emanaciones.

- Acondicionamiento físico: Retiro de infraestructura eléctrica y de red que eran necesarias para su funcionamiento como laboratorio de informática.
- Pintura y resanado de muros para tener una mejor imagen e iluminación, rehabilitación de herrería asegurando el sistema de apertura de ventanas, así mismo se cambiaron chapas de la puerta de ingreso.
- Sustitución del alumbrado obsoleto fluorescente slimline 74 W, T-12; por alumbrado tipo leed e individualizar el alumbrado con apagadores el por el método de lumen vía cavidad zonal
- Retiro total de la instalación eléctrica existente, supliéndola con cable de mayor calibre y tubo conduit, lo que le da más seguridad tanto a la instalación como al equipamiento, se instaló un centro de carga con circuitos independientes y protección por interruptores termomagnéticos.
- Suministro de voltaje a 220V de forma específica para conectar la fuente de poder.

- Instalación de red con terminales suficientes y una buena velocidad en el flujo de datos, se tendieron nuevas instalaciones de cable de red canalizadas mediante canaleta y se colocó un nuevo router TP-LINK con capacidad de 25 salidas lo que no asegura la cobertura total de internet, se instaló un sistema de video conferencia que estará de forma permanente en el laboratorio.
- Instalaciones sanitaria e hidráulica para una tarja de acero inoxidable, se habilitó una toma de drenaje y se tendió una tubería para mantener el servicio de agua corriente, alimentado mediante tubería de CPVC de media pulgada.

3. Fase de Adquisición de Equipos y Materiales

Una vez diseñada la infraestructura, se llevará a cabo la adquisición de los equipos necesarios para el laboratorio de hidrógeno verde.

Selección de equipos: El equipo de asesores del Instituto Politécnico Nacional (IPN)/ Sociedad Mexicana del Hidrógeno (SMH) sugirió y avaló la selección del equipamiento para su adquisición; es decir, antes de solicitar la compra del equipo se les consultó sobre las características de los equipos e inclusive de marcas.

Compra de equipos. Se cuenta con el siguiente equipamiento ya en poder de la Universidad Tecnológica de Puebla; con este equipamiento básico y los desarrollos que se han realizado estamos en condiciones de operar y probar el banco de ensayos:

1. Electrolizador alcalino sin membrana Producción de oxihidrógeno de 10 ensambles. (figura 1)
2. Fuente de poder Programable DC Source 40VDC/120A/1200W.
3. Datalogger de Humedad Relativa y Temperatura.

Figura 1. *Electrolizador alcalino sin membrana de 10 ensambles.*



Nota: Elaboración propia.

Proveedores y proveedores locales: Desde el inicio del proyecto se realizó la búsqueda de proveedores del equipo especializado a nivel nacional, localizando solo uno que puede proveer este tipo de equipamiento. Todo el equipamiento es de importación por lo que se deben considerar los temas de aranceles y tiempos de espera de entrega de los productos, a excepción del electrolizador de fabricación nacional que fue provisto por la Asociación Mexicana de Hidrógeno (SMH). Cabe aclarar que de forma regular la SMH no oferta este tipo de equipamiento, pero para apoyar a la UTP y sus líneas de investigación, realizó una excepción y por única ocasión proveyó un electrolizador de 10 placas, construido con tecnología desarrollada en el Instituto Politécnico Nacional.

El proveedor seleccionado es la empresa INyMET Instrumentación S.A. de C.V.

Se contactaron las siguientes empresas:

- AcMax de México S.A. de C.V.
- Bran Technology S. de R.L. de C.V.
- Científica Ultralab S.A. DE C.V.
- ISYMAX technology
- Skill Technology S.A. de C.V.
- Soluciones Gimel S.A. de C.V.
- Total Test, S.A. de C.V.
- Edutelsa S.A. de C.V.

- Chroma Systems Solutions, Inc.

La respuesta fue de forma negativa a la solicitud de cotizaciones, o algunos acudieron al proveedor INyMET instrumentación S.A. de C.V. quien fue el único que respondió afirmativamente a dicha solicitud. Es importante mencionar que este proveedor tiene la exclusividad en nuestro país de la empresa ALICAT Scientific, Inc., quienes suministran el medidor de flujo másico.

El proveedor que se propuso a nivel internacional para adquirir el equipamiento, específicamente los electrolizadores, fue la empresa The Fuel Cell Store, ubicada en Bryan, Texas, EE. UU. Esta empresa presenta en su página Web una variedad de artículos relacionados con la energía renovable con énfasis en tecnología de hidrógeno; sin embargo, se trata de una página web de promoción y comercialización, no son fabricantes por lo que el producto que buscamos lo fabrica y comercializa la compañía Light Bridge, Inc. con sede en la República de Corea y es a esta empresa a la que el proveedor nacional comprará el electrolizador con membrana porosa para abastecer a la UTP.

Con proveedores locales se adquirió equipo o materiales para los prototipos de separador de fases y medidor de producción de Oxihidrógeno por desplazamiento de la columna de agua.

Cabe mencionar que aún no ha sido posible encontrar a un proveedor de níquel.

4. Fase de Capacitación y Formación

Una vez que la infraestructura y los equipos estén listos, se llevará a cabo la capacitación tanto para el personal académico como para los estudiantes que trabajarán en el laboratorio.

Capacitación del personal docente y de investigación: El personal de la UTP fue asesorado por la Dra. Rosa de Guadalupe González Huerta y el Dr. Froylán Soriano Moranchel, quienes también facilitaron las cotizaciones que ellos solicitaron con anterioridad.

El Curso de Capacitación Electrolizadores, Energías Renovables y Producción de Hidrógeno 2022 se realizó en cuatro sesiones realizadas como sigue:

- 1ª. Sesión: 20 de septiembre de 17 a 19 horas.
- 2ª. Sesión: 22 de septiembre de 17 a 19 horas.
- 3ª. Sesión: 05 de octubre de 17 a 19 horas.
- 4ª. Sesión: 14 de octubre de 10 a 12 horas.

Se contó con la participación de 31 participantes y 3 instructores del instituto Politécnico Nacional (figura 2).

Figura 2. Clausura del curso de Capacitación Electrolizadores, Energías Renovables y Producción de Hidrógeno 2



Nota: Elaboración propia

5. Fase de Implementación y Ejecución de Proyectos

Con el laboratorio en funcionamiento y el personal capacitado, se iniciará la fase de implementación de proyectos de investigación.

Desarrollo de investigaciones:

Una vez reunidos los elementos básicos para el arranque del banco de pruebas se procedió a realizar una batería de pruebas, los elementos que componen la primera versión del banco de pruebas son:

- Fuente de poder
- Electrolizador
- Separador bifásico
- Sistema para medir producción
- Sistema de control y monitoreo
- Enfriador

Se arrancó el banco de pruebas contando con la presencia del Dr. Froylan Soriano Moranchel, quien operó la fuente poder y supervisó todo el proceso.

El sistema se probó por un lapso de dos horas y 30 minutos por espacios de 3 minutos en intervalos de 0.5 A por vez, registrando el voltaje que por cada rango de amperes se autoajustaba, se programó la fuente de poder para que no sobrepasara los 25 voltios

En la tabla 1 se muestra la prueba que se mantuvo por 2.30 horas con el siguiente comportamiento:

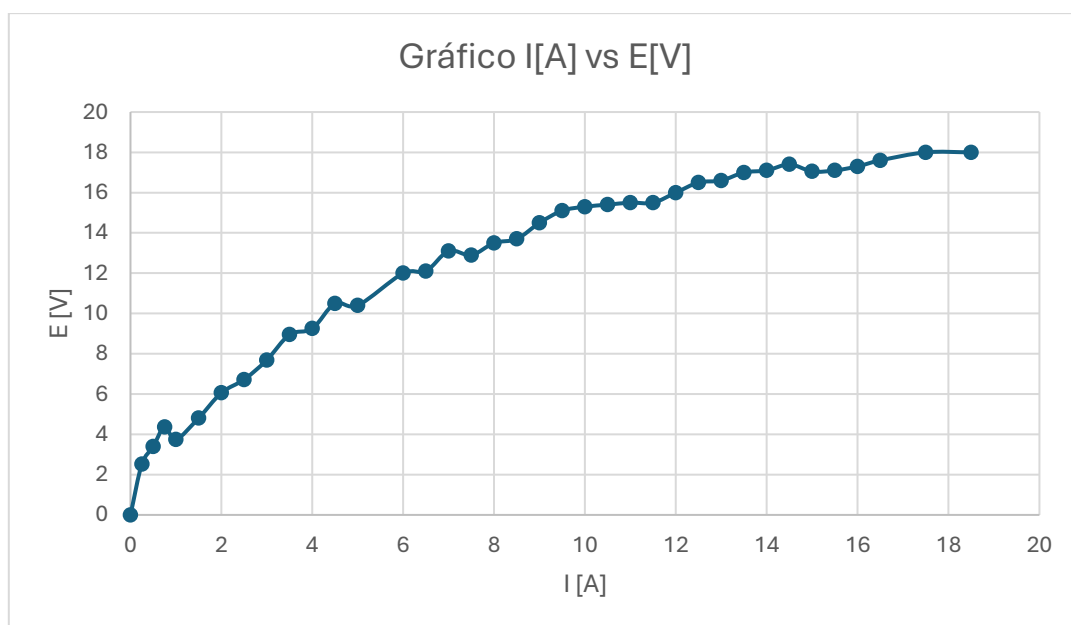
Tabla 1. *Registro de parámetros eléctricos de la prueba realizada*

EVENTO	HORA	E [V]	I [A]	EVENTO	HORA	E [V]	I [A]
0	14:14	0	0	19	15:28	14.5	9
1	14:15	2.52	0.25	20	15:31	15.1	9.5
2	14:18	3.4	0.5	21	15:34	15.3	10
3	14:21	4.37	0.75	22	15:39	15.4	10.5
4	14:24	3.75	1	23	15:43	15.5	11
5	14:27	4.81	1.5	24	15:47	15.5	11.5
6	14:31	6.06	2	25	15:49	16	12
7	14:36	6.72	2.5	26	15:52	16.5	12.5
8	14:41	7.69	3	27	15:55	16.6	13
9	14:44	8.95	3.5	28	15:57	17	13.5
10	14:50	9.25	4	29	16:00	17.1	14
11	14:54	10.5	4.5	30	16:02	17.4	14.5
12	15:00	10.4	5	31	16:04	17.05	15
13	15:05	12	6	32	16:07	17.1	15.5
14	15:09	12.1	6.5	33	16:08	17.3	16
15	15:14	13.1	7	34	16:10	17.6	16.5
16	15:17	12.9	7.5	35	16:23	18	17.5
17	15:21	13.5	8	36	16:41	18	18.5
18	15:24	13.7	8.5				

Nota: Elaboración propia

Una vez graficados los datos se observó un comportamiento como el que se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Gráfica de la relación de amperaje y voltaje de la prueba realizada.



Nota: Elaboración propia.

Como refleja la gráfica 1, respecto de la producción de oxihidrógeno, se registró la producción de forma acumulada (ver Tabla 2) llegando a producir en la totalidad de la prueba 21, 10 litros de oxihidrógeno; sin embargo, la metodología de registro no permitió empatar los datos con los parámetros eléctricos, ya que no se consideraron los espacios de tiempo en que se modificaba el amperaje y no había producción, dejando correr el tiempo.

Tabla 2. Producción de oxihidrógeno en el tiempo que duró la prueba.

Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)
1	14:14	0	61	15:41	6700	121	16:02	11700
2	14:44	100	62	15:41	6800	122	16:02	11800
3	14:50	900	63	15:41	6900	123	16:02	11900
4	14:52	1000	64	15:42	7000	124	16:03	12000
5	14:54	1100	65	15:43	7100	125	16:03	12100
6	14:56	1200	66	15:43	7200	126	16:03	12200

Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)
7	14:57	1300	67	15:44	7300	127	16:03	12300
8	14:58	1400	68	15:44	7400	128	16:04	12400
9	15:00	1500	69	15:45	7500	129	16:04	12500
10	15:01	1600	70	15:45	7600	130	16:04	12600
11	15:02	1700	71	15:45	7700	131	16:05	12700
12	15:04	1800	72	15:46	7800	132	16:05	12800
13	15:05	1900	73	15:47	7900	133	16:05	12900
14	15:06	2000	74	15:47	8000	134	16:05	13000
15	15:08	2100	75	15:48	8100	135	16:05	13100
16	15:10	2200	76	15:48	8200	136	16:06	13200
17	15:11	2300	77	15:48	8300	137	16:06	13300
18	15:12	2400	78	15:49	8400	138	16:06	13400
19	15:13	2500	79	15:49	8500	139	16:07	13500
20	15:14	2600	80	15:49	8600	140	16:07	13600
21	15:14	2700	81	15:50	8700	141	16:07	13700
22	15:16	2800	82	15:51	8800	142	16:07	13800
23	15:16	2900	83	15:51	8900	143	16:07	13900
24	15:17	3000	84	15:51	9000	144	16:08	14000
25	15:18	3100	85	15:51	9100	145	16:08	14100
26	15:19	3200	86	15:52	9200	146	16:08	14200
27	15:20	3300	87	15:52	9300	147	16:09	14300
28	15:21	3400	88	15:53	9400	148	16:09	14400
29	15:21	3500	89	15:53	8500	149	16:09	14500
30	15:22	3600	90	15:53	8600	150	16:09	14600
31	15:23	3700	91	15:53	8700	151	16:09	14700
32	15:24	3800	92	15:54	8800	152	16:09	14800
33	15:24	3900	93	15:54	8900	153	16:10	14900
34	15:25	4000	94	15:54	9000	154	16:10	15000
35	15:26	4100	95	15:55	9100	155	16:10	15100
36	15:27	4200	96	15:55	9200	156	16:11	15200
37	15:27	4300	97	15:56	9300	157	16:11	15300
38	15:28	4400	98	15:56	9400	158	16:11	15400
39	15:28	4500	99	15:56	9500	159	16:11	15500
40	15:29	4600	100	15:56	9600	160	16:11	15600

Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)	Consecutivo	HORA	V_HHO_gas (mL)
41	15:30	4700	101	15:57	9700	161	16:11	15700
42	15:30	4800	102	15:57	9800	162	16:11	15800
43	15:31	4900	103	15:57	9900	163	16:12	15900
44	15:32	5000	104	15:58	10000	164	16:12	16000
45	15:32	5100	105	15:58	10100	165	16:12	16100
46	15:32	5200	106	15:59	10200	166	16:12	16200
47	15:33	5300	107	15:59	10300	167	16:12	16300
48	15:34	5400	108	15:59	10400	168	16:12	16400
49	15:34	5500	109	15:59	10500	169	16:13	16500
50	15:35	5600	110	16:00	10600	170	16:13	16600
51	15:36	5700	111	16:00	10700	171	16:13	16700
52	15:36	5800	112	16:00	10800	172	16:13	16800
53	15:36	5900	113	16:00	10900	173	16:13	16900
54	15:37	6000	114	16:01	11000	174	16:13	17000
55	15:38	6100	115	16:01:00	11100	175	16:14	17100
56	15:38	6200	116	16:01:00	11200	176	16:16	18100
57	15:39	6300	117	16:01:00	11300	177	16:17	19100
58	15:39	6400	118	16:01:00	11400	178	16:23	20100
59	15:40	6500	119	16:02	11500	179	16:25	21100
60	15:40	6600	120	16:02	11600			

Nota: Elaboración propia

Es importante mencionar que durante esta prueba se contó con la asesoría del Dr. Froylan Soriano Moranchel (figura 4) y que no fue posible registrar los datos generados de forma directa mediante sensores debido a que se registró una fuga en el acoplamiento de mangueras por lo que se tuvieron que suprimir para continuar la prueba, tomando los registros de forma manual.

Figura 4. Aspectos del arranque del banco de pruebas.



Nota: Elaboración propia

Colaboración con instituciones externas: El principal apoyo que se tuvo fue de la Agencia de Energía del Estado de Puebla, aunado a ello, el Instituto Politécnico contribuyó con el asesoramiento por parte de sus expertos para esta puesta en marcha del laboratorio.

6. Fase de Evaluación y Mejora Continua

Una vez que el laboratorio haya comenzado a operar, se llevará a cabo un proceso de evaluación continua para garantizar su efectividad y mejora.

Evaluación de desempeño: Sistema de Monitoreo y Control de banco de producción de Hidrógeno (HydroDAQ), está compuesto por 1 chasis CompactDAQ cDAQ-9174 USB diseñado para sistemas pequeños y portátiles de medidas de sensor. El chasis brinda la sencillez plug-and-play del USB a sus medidas eléctricas y de sensores de hidrógeno, temperatura, presión. También controla la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre los módulos de E/S de la Serie C y un servidor externo, el cual se comunica inalámbricamente con los sensores, procesa la información enviada por éste, hace la lógica y activa o desactiva los extractores y alarmas auditivas y visuales asociadas. Lo anterior permite una rápida implementación del sistema con lecturas precisas.

Ajustes y mejoras: El banco de pruebas se encuentra en condiciones de realizar otra prueba; es decir, se encuentra limpio y conectado, en cuanto se terminen de hacer los ajustes al sistema de registro y control se correrá de nuevo la prueba; se pretende generar una metodología de pruebas basados en las experiencias de los asesores para el ajuste del equipamiento.

Una vez contruidos y probados los sistemas de separación bifásica y de cuantificación de la producción de oxihidrógeno, serán registrados como modelos de utilidad o diseño industrial según sea la mejor opción de acuerdo con los criterios del Centro Impulsor de Proyectos de la Universidad Tecnológica de Puebla.

CONCLUSIONES

El laboratorio se encuentra en operación, con áreas de banco de pruebas, zona de control, registro de datos y taller de prototipado. Se arrancó con éxito el banco de pruebas y actualmente se trabaja en mejorar el proceso y generar líneas de investigación.

Este laboratorio de hidrógeno verde representa un paso significativo hacia la consolidación de la universidad como un referente en la investigación y formación de expertos en energías renovables. A partir de los análisis realizados, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

Relevancia del Proyecto para la Sostenibilidad Energética. La creación del laboratorio permitirá avanzar en el desarrollo y la implementación de tecnologías limpias, especialmente en el campo del hidrógeno. verdes. Este tipo de energía, producido a partir de fuentes renovables, es clave para la transición energética y la reducción de la huella de carbono en diversos sectores productivos, como la industria y el transporte.

El hidrógeno verde se presenta como una alternativa prometedora y sostenible al hidrógeno producido a partir de fuentes fósiles, conocido como hidrógeno azul o gris. El análisis tecno-económico del hidrógeno verde incluye la evaluación de los costos asociados con la producción, almacenamiento, distribución y utilización de esta fuente de energía renovable. Sin embargo, a pesar de los beneficios ambientales, el

hidrógeno verde aún enfrenta desafíos en términos de costos de infraestructura en comparación con las opciones convencionales. (Simbaña y Mendoza, 2024, p. 17)

Fortalecimiento Académico y de Investigación. - La implementación del laboratorio impulsará la capacidad de la Universidad Tecnológica de Puebla para ofrecer una formación más especializada en energías renovables, particularmente en hidrógeno verde. Los estudiantes tendrán acceso a un espacio de investigación avanzada que les permitirá adquirir conocimientos prácticos y teóricos en un área clave para el futuro de la industria energética. Además, se reforzarán las capacidades investigativas de la universidad, lo que permitirá desarrollar proyectos que respondan a las necesidades y desafíos del sector energético a nivel nacional e internacional.

PROPUESTAS

Se recomienda establecer programas de prácticas profesionales, estancias académicas y proyectos de investigación dirigidos por los docentes, que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades técnicas y científicas en un entorno real de trabajo.

Desarrollar un plan de expansión y actualización continua. A medida que la tecnología de hidrógeno verde evoluciona rápidamente, es esencial que el laboratorio se mantenga a la vanguardia. Se recomienda desarrollar un plan de expansión y actualización continua para asegurar que el laboratorio se adapte a los avances tecnológicos ya las nuevas demandas del sector. Esto incluye la actualización periódica de los equipos, la incorporación de nuevas áreas de investigación y la formación constante de los profesionales involucrados.

La Agencia Internacional de la Energía constata un impulso sin precedentes de esta fuente de energía, tanto a nivel político como empresarial. A este respecto precisa que “las reglamentaciones y los proyectos concretos están en fase de rápida expansión en todo el mundo”, por lo que concluye que “es el momento para desarrollar tecnologías y reducir costes, de manera que el hidrógeno se convierta en la alternativa de mayor uso”. (Giménez, 2019)

La economía del hidrógeno verde se presenta como una fuerte apuesta por parte de las instituciones europeas y ha conseguido aunar voluntades entre los Estados miembros y los actores privados. El hidrógeno, y en particular el hidrógeno verde o renovable, ha experimentado un ascenso fulgurante en pocos años hacia las prioridades políticas para abordar la descarbonización del continente mediante la transición en la producción, la gestión, la distribución y el uso de la energía. No obstante, si bien el desarrollo de estos planes va a ir acompañado de una generosa financiación en los próximos años y se funda en alianzas entre múltiples actores, el estado actual de la industria es bastante primitivo y resulta imprudente avanzar conclusiones respecto a la efectividad de las metas que se plantean para 2030 y 2050 en la Estrategia del Hidrógeno de la Comisión. (López, 2021, p. 27)

Fortalecer la Formación y Capacitación del Personal. Es esencial proporcionar capacitación continua al personal docente, investigadores y estudiantes sobre las últimas tecnologías en la producción, almacenamiento y utilización del hidrógeno verde. Esta formación debe ser impartida tanto por expertos locales como internacionales para asegurar que el personal esté al día con las innovaciones más recientes y pueda desarrollar investigaciones de calidad.

A través de un enfoque técnico y económico sólido, el proyecto ha demostrado ser viable tanto en términos de infraestructura como de financiamiento, lo que asegura su implementación exitosa. Las adecuaciones en la infraestructura del laboratorio y la adquisición de equipos especializados permitirán a la UTP contar con las condiciones necesarias para realizar investigaciones de vanguardia que aborden los desafíos globales relacionados con la energía limpia y el cambio.

Además, el laboratorio no solo contribuirá a la formación académica de los estudiantes, sino que también fomentará la colaboración con empresas e instituciones nacionales e internacionales, promoviendo la transferencia de tecnología y el intercambio de conocimientos. Esto fortalecerá la competitividad del país en el sector energético y abrirá nuevas oportunidades para el desarrollo de proyectos de innovación.

En resumen, el Laboratorio de Hidrógeno Verde de la UTP no solo es un avance académico y tecnológico, sino un compromiso con el futuro sostenible del país y el mundo. Su creación es un paso firme hacia la consolidación de la UTP como un centro de investigación líder en energías limpias, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y contribuyendo a la formación de profesionales altamente capacitados que estarán preparados para enfrentar los retos energéticos del futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dietz, K. (2023, p. 120). *¿Transición energética en Europa, extractivismo verde en América Latina?* Nueva Sociedad No. 306, 108-120.
- Giménez, J. C. (2019). *La Hora del Hidrógeno Verde*. España: gasrenovable.org. Especial hidrógeno.
- HINICIO. (2021, página 7). *Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación*. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- López, A. J. (2021, p. 27). *El hidrógeno verde en la Unión Europea: una vía necesaria para la transición energética*. Revista Española de Desarrollo y Cooperación n° 48, 13-33.
- Simbaña y Mendoza, G. L. (2024, p. 17). *Estudio Tecno-económico de la Implementación de Hidrógeno Verde como Almacenamiento de energía en la construcción y operación del proyecto fotovoltaico El Aromo, en Manabí*. Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades (LATAM), 21.
- Varios (2022, p. 16). *Almacenamiento de energía con hidrógeno a escala de servicios como facilitador de la mitigación de CO2*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Varios (2022, p. 4). *H2V Hidrogeno Verde un Proyecto País*. Chile: Ministerio de energía.
- Varios S. M. (2023, p. 10). *El Potencial Industrial de México*, p. 10. México: Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo en México.

Capítulo XIII

EL IMPACTO SOSTENIBLE DEL FERROCARRIL DE PASAJEROS EN EL SURESTE DE MÉXICO

Julio César Vergara Vázquez
Luis Alberto Baltazar Tadeo
Ulises Maza Nájera
Quirino Estrada Barbosa

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta los alcances de la implementación del ferrocarril de pasajeros, para ello se presenta una breve introducción de los aspectos históricos del ferrocarril y los diversos impactos que se tuvieron en las diversas regiones del País. Durante el periodo de las diversas etapas del ferrocarril de pasajeros y su importancia en la sociedad mexicana. Posteriormente se analiza el proyecto del Tren Maya como una infraestructura que permita impulsar la economía del sureste del país, para ello se presentan los resultados de trabajos desarrollados por FONATUR, Tren Maya y ONU HABITAT, quienes presentan los 12 lineamientos permiten que la comunidades y localidades correlacionarlos con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) presentados en la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendieran un nuevo camino con el que mejorar la vida de todas las personas, sin dejar a nadie atrás. Finalmente se concluye que el Tren Maya es un medio que los gobiernos estatales, municipales y la sociedad deben de utilizar para trazar las estrategias de desarrollo que permitan alcanzar el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Palabras Claves: Tren Maya, Sostenible, Sociedad

Introducción

El sistema ferroviario mexicano ha sido un sector estratégico para el desarrollo económico de la nación como la historia lo ha demostrado sin embargo a finales del siglo XX se inició el proceso de modernización mediante la Ley reglamentaria del transporte ferroviario, con lo cual se cierra un siglo y medio de la historia de los ferrocarriles de pasajeros en México (Márquez, 2005). Lo anterior afectó la economía local y regional además de limitar la comunicación entre localidades, municipios y estados lo cual se reflejó en el tejido social, de la misma manera se dio apertura al uso del autotransporte para el movimiento de carga lo cual incrementó el índice carretero, así como en las emisiones de CO₂ impactando directamente al medio ambiente.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo [PND] 2019-2024 se presentó el proyecto de infraestructura del Tren Maya como proyecto del desarrollo socioeconómico y turístico; junto con el Corredor Transistmico ambos proyectos se realizaron con inversión privada nacional y extranjera otorgada durante esa administración en “un marco de certeza jurídica, honestidad, transparencia y reglas claras” (Flores y Prieto, 2019). El proyecto del tren maya se enfoca en desarrollar un turismo equilibrado, fomentando la cohesión social, la protección de ecosistemas, y la inclusión de las comunidades vulnerables. Además, pretende distribuir equitativamente la riqueza, respetar a los pueblos originarios y evitar la sobreexplotación de recursos (Ramírez, 2024).

Las políticas públicas federales las cuales considera la recuperación del tren de pasajeros en México permiten al país continuar con la Agenda para el Desarrollo Sostenible aprobada por los miembros de Naciones Unidas, el 25 de septiembre de 2015, plantea una preocupación y reflexión a realizarse por parte de organismos internacionales, gobiernos de todos los países y la sociedad civil, sobre un sendero del desarrollo frágil e incipiente (Girón, 2016).

El siguiente artículo aborda la inclusión del Tren Maya en el sureste de México como una infraestructura para el desarrollo sostenible de la región, considerando la evaluación de organismos internacionales que permiten observar el impacto de esta infraestructura en aspecto económico, social y ambiental.

DESARROLLO

Impacto social, económico y ambiental del ferrocarril en la historia

A la apertura de la primera línea de ferrocarril desarrollada en 1873 que comprendía de del puerto de Veracruz al Molino, siendo esta ruta la primera línea férrea utilizada para el transporte de mercancías siendo un proyecto de tono los aspectos, sociales, políticos, económicos; además de desarrollar un gran proyecto de ingeniería por las dificultades topográficas del terreno (Bühler, 2010).

El impacto significativo del ferrocarril en México en el siglo XIX se observó un crecimiento poblacional en diferentes ciudades tales como Guadalajara, Aguascalientes, Torreón, Lerdo Gómez Palacios la cual se desarrolló en gran medida gracias al ferrocarril. En el caso de la ciudad de México tuvo un impacto en el aumento de la población de 200 mil a 400 mil habitantes entre 1877 y 1910 (Peña et al, 2002). Además, se hizo notar la presencia de los tranvías dentro de la ciudad que brindaban el transporte de personas, así como de mercancías y en algunos casos brindaban los servicios funerarios con los llamados “tranvías mortuorios” (De Gortari, 1987).

Considerando el aspecto económico de diversas regiones del país fue confinado por la afluencia del impacto del ferrocarril a mayor distancia de la línea o de sus ramales, iban amortiguándose las posibilidades de participar en la economía mercantil en desarrollo, a menos que se tratara de algún lugar de interés por sus recursos, en especial si eran minerales. Las regiones con mayor potencial con la incorporación del ferrocarril se situaron especialmente en el Norte y el Pacífico Norte (Rosenzweig, 1965).

Los ferrocarriles permitieron un creciente intercambio con el interior del país, y hacia el exterior, a través de los puertos marítimos y de las ciudades de la frontera. El crecimiento de las diversas industrias como la minería y manufactura se presentaron de igual forma en el norte del país resultado de la colindancia con Estados Unidos de América.

En la Tabla 1 se muestra la intensidad que alcanzaron las relaciones mercantiles, comparativamente, en cada una de ellas. El nivel más alto de ventas por habitante se alcanzó

en el Distrito Federal (Ciudad de México), siendo la ciudad más importante del país debido a la convergencia de los ferrocarriles y foco de un fuerte desarrollo.

Tabla 1. *Ventas al menudeo manifestadas por habitante año de 1910-1911 (Rosenzweig, 1965).*

	<i>Pesos por habitante</i>		<i>Pesos por habitante</i>
<i>República Mexicana</i>	23.57	<i>Zona Norte</i>	22.73
<i>Zona Centro</i>	25.39	Coahuila	39.43
Distrito Federal	124.31	Tamaulipas	29.55
Morelos	33.28	Chihuahua	27.32
Aguascalientes	24.13	Nuevo León	22.28
Puebla	21.33	San Luis Potosí	20.30
Querétaro	19.56	Durango	15.60
Tlaxcala	16.21	Zacatecas	13.33
Hidalgo	14.07	<i>Zona Golfo</i>	33.95
México	12.59	Yucatán	40.18
Guanajuato	13.80	Campeche	37.52
Jalisco	10.67	Veracruz	34.34
Michoacán	10.60	Tabasco	20.34
<i>Zona Pacífico Sur</i>	8.05	<i>Zona Pacífico Norte</i>	28.36
Colima	23.06	Baja California	80.49
Chiapas	8.84	Sonora	27.20
Guerrero	8.07	Tepic	26.23
Oaxaca	6.57	Sinaloa	22.03

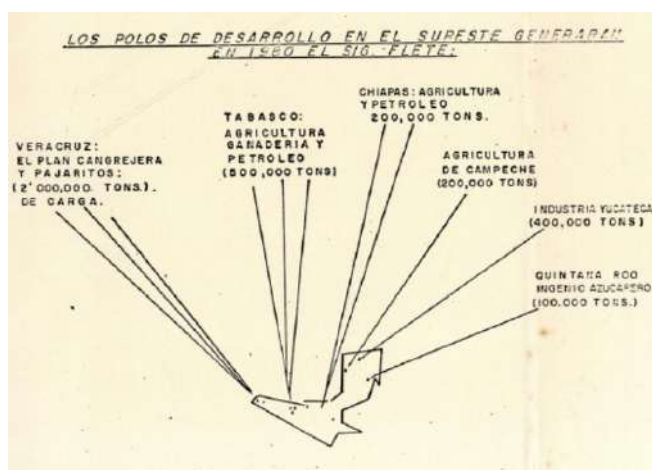
Nota: Se puede observar la disminución entre las diversas zonas destacando la menos favorecida la del Pacífico sur con un promedio del 8.05 pesos por habitante, de esta manera se observa el rezago económico del estado de Chiapas.

Lo antes mencionado muestra la importancia del ferrocarril y su influencia en el entorno social de México desde sus inicios, de esta manera también se muestra el desarrollo que se tuvo a través del ferrocarril y marcando una diferencia económica en las diversas regiones del país, siendo el sur la más afectada debido que los proyectos ferroviarios del siglo XIX no consideran el sur como potencial económico.

Uno de los momentos más importantes dentro de la historia de ferrocarril es la expropiación del ferrocarril en 1938 dio como resultados a los Ferrocarriles Nacionales Mexicanos México donde la operación y mantenimiento de este medio de transporte quedó bajo la responsabilidad estatal cumpliendo como un elemento integrador de mercados y conectividad de las regiones (García, 2010).

Con la intención de homogenizar las diferentes regiones del país se han desarrollados múltiples esfuerzos para generar mejores condiciones de vida de la sociedad mexicana en ese sentido durante la administración del general Lázaro Cárdenas considera la integración geográfica de México y extiende las vías férreas para comunicar a las regiones tradicionalmente aisladas del centro del país. De esta manera se el impulso de la construcción del Ferrocarril del Sureste como: una red ferroviaria pensada para unir las vías de la península de Yucatán con las nacionales, es decir, los Ferrocarriles Unidos de Yucatán y los Ferrocarriles Nacionales de México. Se trataba en suma de lograr la integración nacional de los estados del sureste, Chiapas, Tabasco, Campeche y Quintana Roo (Pérez, 2024). De esta manera la construcción del Ferrocarril del sureste entro en funciones en 1950 conectando las diversas regiones de Coatzacoalcos, Campeche y Mérida la red ferroviaria comprendía 739 kilómetros. El sistema férreo continuo con un avance significativo tanto que en 1970 se presentó el proyecto que el tren del sureste detonara los polos de desarrollo existentes en el momento se muestra en la Figura 1.

Figura 1. *Conectividad de los polos de desarrollo 1970, (Díaz, 2024).*



Lo anterior muestra el interés que tiene la administración pública de potenciar el sureste de México a través del ferrocarril.

Finalmente, en 1995 durante la administración del presidente Ernesto Zedillo se reformo el artículo 28 constitucional sobre el servicio ferroviario, donde el servicio de carga seria concesionado mientras que el servicio de pasajeros desaparece, lo anterior ponía fin a 122

años de existencia del servicio. Con este cambio se propició un cambio en la estructura social, afectando a las diversas comunidades que estaba conectadas con el ferrocarril, de la misma manera el servicio carretero aumento su demanda.

Durante este apartado su mostro una breve reseña de la importancia de ferrocarril en la estructura social del país, destacando el impacto social y económico, sin duda el ferrocarril fue parte fundamental para el desarrollo de las regiones económicas además del proceso de urbanización de estas.

Justicia social al sureste de México

Como se mencionó previamente los estados del sureste de México han sufrido de un crecimiento económico en comparación con las regiones centro o norte, actualmente en los datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2023) sobre pobreza nacional se concentra sureste de México como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Porcentaje de la población en situación de pobreza, (CONEVAL, 2023).

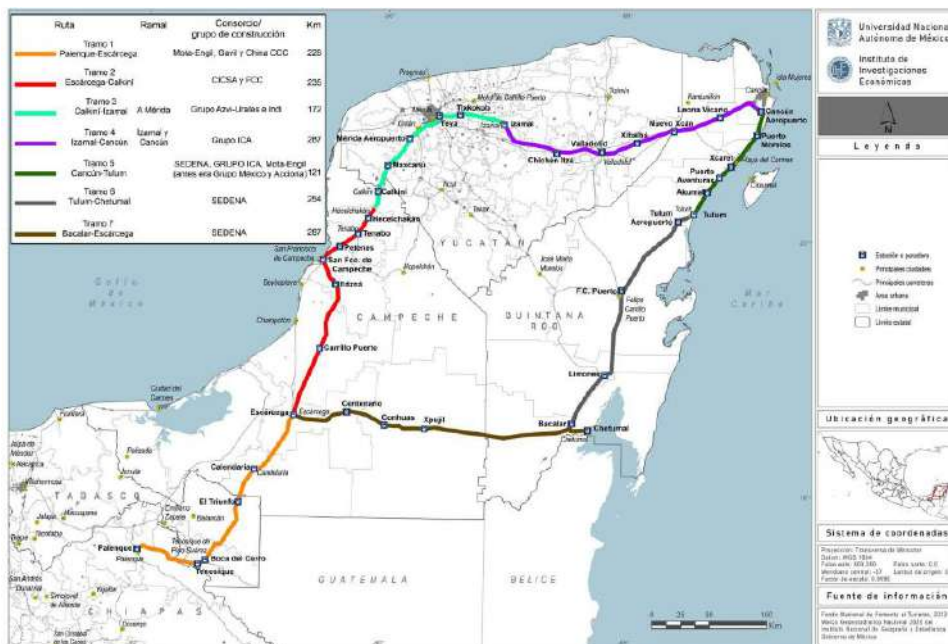


Aspectos como la deficiencia en materia de desarrollo social, generación de empleos, educación, salud, infraestructura, entre otros, ha sido un reclamo permanente de muchas comunidades y municipios de esa contrastante zona geográfica del país, así como una tarea pendiente desde hace muchos años, por parte de los tres niveles de gobierno (Mayo, 2023). El Plan de desarrollo del 2018-2024 presenta el proyecto del Tren Maya como una infraestructura que permita mejorar la calidad de los estados de Chiapas, Tabasco Campeche, siendo estos estados que se encuentran en el rango de pobreza. La conexión y la movilidad

con lo estados de Yucatán y Quintana Roo provocaría el movimiento de turistas lo cual provocaría el movimiento económico en las diversas regiones por las cuales el tren maya está considerado.

El Tren Maya está comprendido de 1554 km con 34 estaciones ubicadas en diferentes municipios de los estados previamente mencionados. La ruta se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Ruta del Tren Maya, (Santillán, 2024).



Si bien el Tren Maya es una infraestructura para brindar un servicio de transporte, puede ser un mecanismo que brinde diversos beneficios a sociedad aledaña al trazo de la vía.

Una forma de evaluar el impacto social de los diversos proyectos es avaluando la pertinencia con los 17 objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) presentados en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible publicados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La meta del desarrollo sustentable es generar una mayor calidad de vida y el progreso de las personas. Por lo tanto, los componentes de la sustentabilidad son el medio ambiente, la economía, la ética, la gobernanza, la democracia, la participación ciudadana, el acceso a los servicios públicos como salud y educación, la diversidad cultural y la identidad de los pueblos. (Fragoso, 2024). Los ODS se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, (Fragoso 2024).



Si bien los ODS son una herramienta desarrollada por la ONU para desarrollar ciudades con mejores condiciones de vida, los diversos países deben de tomar medidas que permitan ejecutarlas y lograr el objetivo para la cuales fueron creadas

El servicio de transporte ferroviario de pasajeros a nivel mundial se caracteriza por las bajas emisiones de CO₂ lo cual hace un sistema sustentable, sin embargo, es importante evaluar su aportación en los aspectos económicos y sociales. De esta manera, el Fondo Nacional para el Fomento al Turismo [FONATUR], ONU hábitat, y la empresa Tren Maya, desarrollaron diversas actividades con los habitantes de las comunidades cercanas al tren, entre las cuales destacan talleres, reuniones y mesas de diálogos. Como resultados de estas actividades se presentan en la publicación “*LINEAMIENTOS DE DISEÑO Y PLANIFICACIÓN URBANA Criterios para el desarrollo sostenible del Sureste de México*”. Donde se proponen 3 ejes principales los cuales son:

1. *Responsabilidad ambiental.*

El objetivo es no comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades, a través del resguardo y el uso responsables del medioambiente.

2. *Inclusión social*

El rezago existente en el sureste presenta un rezago en comparación con otras regiones del país, su rezago está presente en materia de calidad de vida, equidad e

inclusión social, sostenibilidad ambiental, productividad, infraestructura, gobernanza y legislación urbana.

3. *Economía local*

Uno de los retos más importantes del país es la redistribución de los beneficios generados por el sector turístico en el sureste de México, es por ello que el Tren Maya juega un papel a través de las estaciones ubicadas en asentamientos que requieren un mayor movimiento en su economía local.

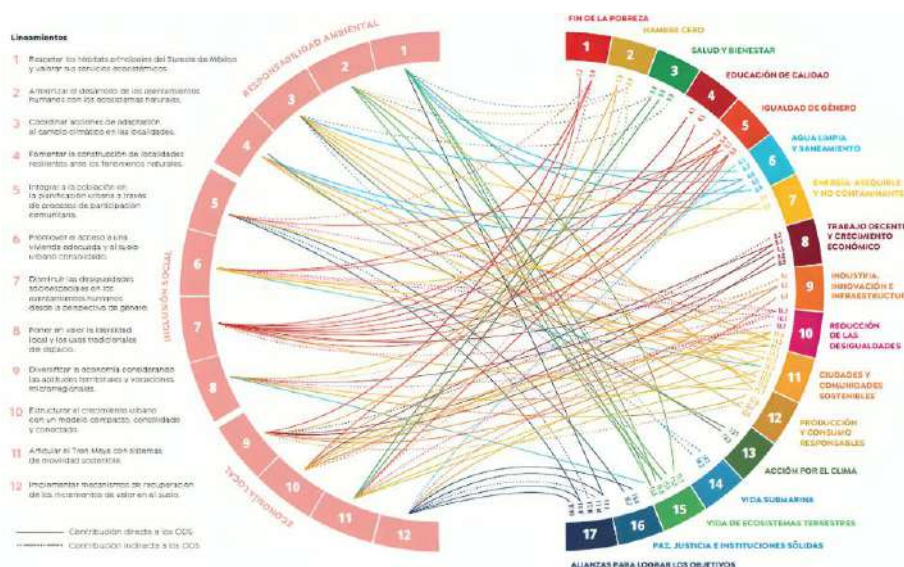
Dentro de los ejes de presentan los 12 lineamiento para dar fortalecimiento a los ejes previamente descritos, los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Lineamiento de desarrollo sostenible

Eje 1.	Eje 2.	Eje 3.
Respetar los hábitats principales del Sureste de México y valorar sus servicios	Integrar a la población en la planificación urbana a través de procesos de participación comunitaria	Estructurar el crecimiento urbano con un modelo compacto, consolidado y conectado
Armonizar el desarrollo de los asentamientos humanos con los ecosistemas naturales	Promover el acceso a una vivienda adecuada y al suelo urbano consolidado	Estructurar el crecimiento urbano con un modelo compacto consolidado y conectado
Coordinar acciones de adaptación al cambio climático en las localidades	Disminuir las desigualdades socioespaciales en los asentamientos humanos desde la perspectiva de género	Articular el Tren Maya con sistemas de movilidad sostenible
Fomentar la construcción de localidades resilientes ante los fenómenos naturales	Poner en valor la identidad local y los usos tradicionales del espacio	Implementar mecanismos de recuperación de los incrementos de valor en el suelo

La correlación de los lineamientos con los 17 ODS se muestra con en la Figura 5.

Figura 5. Correlación de lineamientos sostenibles con los 17 ODS, FONATUR, (2021).



Es importante destacar que, así como los 17 ODS son propuestas de desarrollo universales lo lineamientos presentados son propuestas que se deben de considerar para potenciar la infraestructura el Tren Maya, estos lineamientos se deben de considerar en los planes de desarrollo de los gobiernos Estatales y Municipales, de esta forma se podría garantizar con el cumplimiento con los lineamientos y a su vez con los ODS.

Comportamiento del Tren Maya en la región.

Los trabajos de construcción iniciaron a partir de 2019 El Tren Maya ya ha generado múltiples efectos económicos en el Sureste, en el resto del país y en el ámbito internacional, principalmente en cadenas de valor como la construcción, el acero y el comercio, por su inversión³ y el aumento en la demanda de insumos y empleos. Además, algunas de las estimaciones de la ONU hábitat (ONU Hábitat, 2025) para el desarrollo del proyecto fueron:

1. El Tren Maya genera 945 mil empleos
2. 46 de cada 100 personas empleadas serán de la población originaria
3. 2.1 billones de pesos será el impacto económico local
4. 1.1 millones de personas saldrán de la pobreza
5. El Tren Maya reducirá el consumo de suelo en un 49% la cual es una medida de protección al ambiente.

Los datos presentados anteriormente indican el impacto económico que produce el desarrollo del Tren Maya dentro de la región.

Además de la economía un aspecto importante es la conectividad en la Figura 6, se muestra la conectividad existente entre los diversos estados que constituyen el trayecto del ferrocarril, en la cual se muestra en color verde la conectividad del transporte carretero a las ciudades más importantes como son Campeche, Mérida, Cancún, Playa del Carmen entre otras.

En la Figura 7 se muestra el escenario de conectividad en la cual se consideran las estaciones del Tren Maya, de esta manera se observa que se mejora la conectividad entre los diferentes municipios y las ciudades más importantes de los estados, de esta manera el acceso a la movilidad con un mejor medio de transporte.

Figura 6. *Conectividad actual del sistema de transporte carretero, Santilla (2024).*

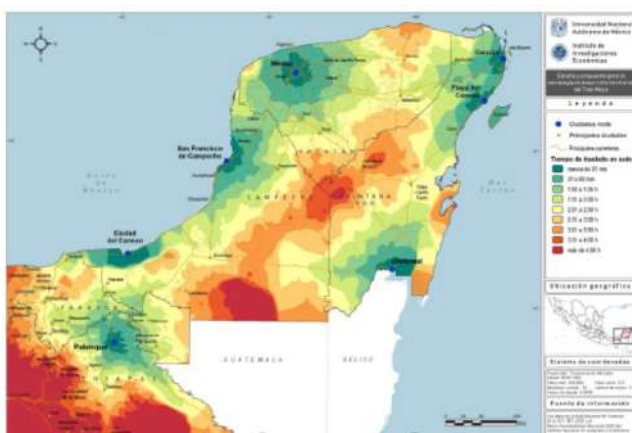
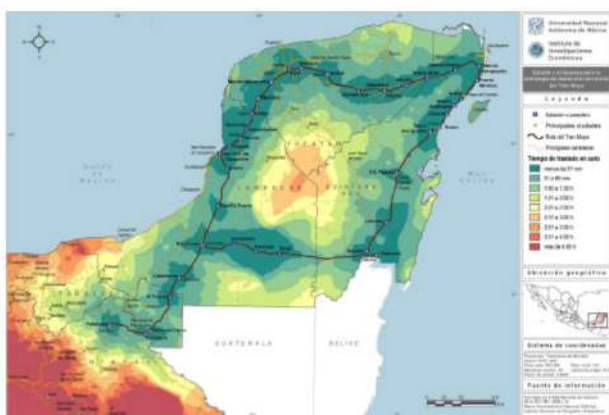


Figura 7. Escenario de conectividad del Tren maya considerando las estaciones Santilla (2024).



El impacto social a través de una movilidad sostenible más eficiente presenta uno de los beneficios del Tren Maya. Para precisar algunas de las estimaciones consideradas con la incorporación del Tren Maya y tomando el ejemplo del municipio de Palenque se tienen los siguiente

1. El ingreso por debajo de la línea de bienestar mínimo se habrá reducido en alrededor de 3800 personas, es decir, habrá mejores condiciones económicas
2. El turismo nacional e internacional incrementara en alrededor de 580 000, de los cuales la mayor proporción serán los nacionales (87.6 %).
3. Se tendrá un incremento de 57 000 en vivienda, 16 400 de ellas considerando el impacto del Tren Maya (40.6 % de incremento). Se prevé que la proporción de personas que hablan alguna lengua indígena se reduzca en los próximos 10 años
4. En cuanto el equipamiento en salud y educativo tendrá que incrementarse dado que habrá una mayor cantidad de población en el municipio y en la localidad de Palenque

CONCLUSIONES

Del trabajo desarrollado se pueden concluir los siguientes puntos.

1. El transporte de ferrocarriles es un transporte con demasiada importancia en la sociedad mexicana como lo marca su historia siendo parte fundamental para el crecimiento social, económico y ambiental.
2. El Tren maya es una infraestructura de movilidad donde aplicando los lineamientos los 12 lineamientos se cubren los 17 ODS lo cual permitiría un crecimiento en los aspectos sociales, económicos y ambientes, los cuales son los ejes que manejan la sostenibilidad.
3. Para cumplir los lineamientos propuestos por ONU hábitat, Fonatur y Tren Maya es importante generar una simbiosis importante entre las entidades de gobierno (Estatales y municipales), sociedad y la diversas organizaciones no gubernamentales y entidades académicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bühler, D. (2010). *La construcción del Ferrocarril Mexicano (1837-1873). Arte e ingeniería. Boletín de Monumentos Históricos*, 3(18), 78-95.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2023), *Comunicado n°7, Dirección de información y comunicación social*
- De Gortari Rabiela, H. (1987). *¿Un modelo de urbanización? La ciudad de México de finales del siglo XIX. Secuencia. Revista de Historia y Ciencias Sociales*, (08), 042-042.
- Díaz Perera Miguel Ángel (2024). *La reconquista ferrocarrilera del sureste en 1976. Ferrocarriles Unidos del Sureste hacia la Riviera Maya, El Ferrocarril del Sureste: una mirada retrospectiva, Historia viva del ferrocarril, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías*, 2, 11-13
- Flores, A., Deniau, Y., y Prieto, S. (2019). *El Tren Maya. Un nuevo proyecto de articulación territorial en la Península de Yucatán. México: GeoComunes/Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.*
- Fonatur (2021). *Lineamientos de diseño y planificación urbana Criterios para el desarrollo sostenible del Sureste de México*
- Fragoso, J. T. (2024). *¿Desarrollo sostenible o desarrollo sustentable en el sur de México? Espacio I+ D, Innovación más desarrollo*, 13(37).
- García Moctezuma, F. (2010). *La planeación del desarrollo regional en México (1900-2006). Investigaciones geográficas*, (71), 102-121.
- Girón, A. (2016). *Objetivos del Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030: Frente a las políticas públicas y los cambios de gobierno en América Latina. Problemas del desarrollo*, 47(186), 3-8.
- Márquez Martínez, T. (2005). *Los archivos de ferrocarriles nacionales de México. América latina en la historia económica*, (23), 119-130.
- Mayo, R. I. R. (2023) *Geopolítica, desarrollo regional y agenciamiento. Desterritorialización y reterritorialización en el sureste de México en el marco del proyecto Tren Maya. Geopolítica y desarrollo en la región sur-sureste de México*, 69.
- ONU-Habitat. (n.d.). *ONU-Habitat analiza el impacto del Tren Maya. Onu-Habitat.Org. acceso 26 de enero, 2025, from https://onu-habitat.org/index.php/onu-habitat-analiza-el-impacto-del-tren-maya?fbclid=IwAR2siHEWCPWIMCo5B97Bby4K0Vw9y86rlN6LA-oOkrZI5pQwR_9bJW31kvU*

- Pérez Robledo Flor María (2024). El Ferrocarril del Sureste: una mirada retrospectiva, El Ferrocarril del Sureste: una mirada retrospectiva, Historia viva del ferrocarril, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, 2, 11-13.*
- Peña, G. P. V., Medina, G. J. P. C., y Mora, G. S. G. (2002). Urbano-rural, constante búsqueda de fronteras conceptuales. Revista de información y análisis, 20, 17-24.*
- Ramírez Navarro, I. I. (2024). Instituciones Participativas y Democratización en proyectos de Desarrollo Regional: El Caso del Tren Maya.*
- Rosenzweig, F. (1965). El desarrollo económico de México de 1877 a 1911. El trimestre económico, 32(127 (3), 405-454.*
- Santillán, R. L. Gasca Zamora, J. (Coord.) (2024). Tren Maya, impactos territoriales y escenarios de cambio en la Península de Yucatán. Investigaciones Geográficas, (115).*

Capítulo XIV

MEJORAS EN POLEAS DE GANCHO TRANSPORTADOR DE RACIMOS DE PLÁTANOS

José García de la Cruz
Franco Lucio Ruíz Santiago
Josafat Alberto Hernández Becerra
Patricia Guzmán Echeverría

RESUMEN

Los rodos transportadores de plátanos tienen 2 poleas, las poleas, son de acero al carbón, cada polea tiene un rodamiento interno, cuando se rompe se desecha todo el rodo, las otras partes del accesorio si están en buenas condiciones. La mejora que se realizó fue la fabricación de la polea de otro tipo de material, este soporta fricción desgaste, no se oxida. También a las poleas si se le rompe el balero interno, se le puede cambiar, y la polea sigue funcionando Con la Mejora en Poleas de Gancho Transportador de Racimos de Plátanos, los beneficios son económicos, disminuyendo el costo en la fabricación. (Abraham, 2008).

Palabras claves: Polea, cable, correa

Introducción

Uno de los avances más significativos en las poleas de gancho transportador de racimos de plátanos, es el diseño ergonómico y robusto. Las nuevas poleas están fabricadas con materiales de alta resistencia como es el Nylamid, lo que garantiza durabilidad y una vida útil prolongada incluso en condiciones de trabajo adversas. Además, se ha optimizado el ángulo de inclinación y el radio de las poleas para minimizar el desgaste y mejorar el manejo de los racimos de plátanos. También el rodamiento interno, cuando se desgasta se puede cambiar y todas las otras partes, continúan funcionando.

La incorporación de tecnología avanzada de rodamientos ha sido clave en la mejora de las poleas de gancho transportador. Los rodamientos de bolas sellados permiten un movimiento más suave y uniforme de las poleas, reduciendo significativamente la fricción y el desgaste. Esto no solo

aumenta la eficiencia operativa, sino que también disminuye el mantenimiento requerido y los costos asociados (Castellanos, et al. 2008).

MÉTODO

La fabricación de poleas de Nylamid para el transporte de racimos de plátanos implica varios pasos críticos que garantizan su calidad y durabilidad. La primera fase es la selección del material adecuado. El Nylamid, una familia de poliamidas, es elegido por sus propiedades mecánicas y eléctricas, su resistencia a la abrasión y su capacidad de soportar altas temperaturas, hasta 99°C.

Según (Groover, 2014) un proceso de manufactura es un procedimiento diseñado que resulta en un cambio físico y o químico de un material de trabajo inicial con la intención de aumentar el valor de dicho material.

El proceso de manufactura comienza con el diseño de la polea mediante maquinas herramientas, asegurando que los parámetros como el ángulo de inclinación y el radio sean los óptimos para minimizar el desgaste. Una vez aprobado el diseño, se procede a la producción utilizando maquinaria de precisión que moldea el Nylamid en la forma exacta de la polea.

Para mejorar la funcionalidad y el mantenimiento de las poleas, se incorpora un sistema de rodamientos de bolas. Estos rodamientos se ensamblan dentro de la polea después del proceso de fabricación, permitiendo un movimiento suave y uniforme de las poleas, lo que reduce la fricción y el desgaste.

Posteriormente, cada polea pasa por un riguroso control de calidad en el que se verifica la integridad estructural, la precisión de las dimensiones y la funcionalidad de los rodamientos. Este control garantiza que solo las poleas que cumplen con los estándares más altos sean distribuidas para su uso en las plantaciones.

El Nylamid proviene de la familia de las poliamidas (FA) o nylon. Combina distintas propiedades mecánicas y eléctricas produciendo un material resistente similar al plástico. Contiene gran resistencia a la abrasión, tiene ligereza, es posible encontrarlo en variedad de presentaciones y muchas ventajas más.

Es un material excelente para la fabricación de diversas piezas de usos múltiples. Como puede ser, Prototipos, Raspadores, Aislantes Térmicos, Rodillos, Poleas, Engranajes, Ruedas, Tapones, Conectores de piezas, entre otras.

La mejora que realizamos fue la fabricación de la polea en material de Nylamid (Es una combinación de distintas propiedades mecánicas y eléctricas que producen un material resistente similar al plástico).

Los rodos que compraban eran de exportación eran Rodos sellados, y los materiales de los que estaban fabricados eran de acero al carbón (aleación de hierro con un contenido de carbono que puede oscilar entre menos del 0,1 % y más del 2 %) (Ver Figura 1. Polea de acero al carbón).

Figura 1. Polea de acero al carbón y rodo transportador de racimos de plátano.



Nota: Las poleas de los rodos transportadores de Racimos de plátanos vienen selladas de fábrica, cuando se desgastaba, se desechaba toda la polea, con sus componentes. Rodillos rodos para cable vías para transportadoras de plátanos. (Bralla, 1993).

La fabricación de la mejora de la nueva polea fue del material Nylamid tiene resistencia 99°C. Es resistente al desgaste por erosión, resiste a altas temperaturas se puede maquinar, es un balance perfecto entre dinamismo y resistencia y cuenta con una ligereza única y excelente (Ver Figura 2. Poleas de Nylamid).

Figura 2. Polea de Nylamid



Nota: Componentes de fabricación.

Las poleas de Nylamid se pueden desarmar, cuando se desgasta el rodamiento interno, luego se le coloca el rodamiento, y se vuelve a armar, y todos sus demás componentes siguen funcionando.

En las plantaciones bananeras, en toda la finca donde está sembrado el plátano, se colocan cables vías, estos cables su destino está en las fábricas, ya cuando llega el racimo de plátano llega a la fábrica, el personal realiza el proceso de corte de gajos de plátanos y realiza la selección, para luego empacarlos en cajas. (Figura 3. Uso de las poleas en platanera).

Figura 3. *Uso de las poleas en plataneras*



Nota: Fabricación y demostración de cómo se usan en las plataneras de Teapa.

El funcionamiento de los rodos en las plataneras es un transporte de los racimos de plátanos, desde donde se corta hasta las fábricas de empaques en las plantaciones están colocados cables vías, y sobre los cables vías se colocan los rodos.

Fundamentos Teóricos

La fabricación de rodillos transportadores es un proceso integral que abarca desde la selección de materiales hasta la configuración de los componentes del sistema (Moreno y Pérez (2011). Los rodillos transportadores son componentes esenciales en muchos entornos industriales y su rendimiento depende en gran medida de los materiales utilizados en su fabricación. La elección de los materiales afecta la durabilidad, la resistencia y la eficiencia general de los rodillos. Los materiales comunes utilizados para fabricar rodillos transportadores incluyen acero, aluminio plástico y naylamid, cada uno con sus propias características y aplicaciones específicas. (González, 2020).

La fabricación de rodillos transportadores también implica consideraciones de tecnologías que contribuyen a su funcionalidad y confiabilidad. Los rodillos transportadores están diseñados para facilita el movimiento fluido y eficiente de mercancías en diversas industrias, y su diseño calidad y colocación son elementos críticos que influyen en el soporte del cinturón, la distribución de la carga la reducción de la fricción, el guiado y seguimiento del cinturón, la absorción de impactos y la limpieza. (Martínez, y Pérez, 2019).

RESULTADOS

Proceso de fabricación de poleas

Los procesos de elaboración de una polea son bastante sencillos, ya que las dimensiones y la forma de la pieza no son de gran complejidad. La fabricación de la polea es uno de los procesos más complicados y por lo tanto se requiere de más tiempo de fabricación, dado que tiene muchas operaciones continuas, laboriosas y por lo tanto requiere que la persona que maquina la pieza debe tener amplio conocimiento de las operaciones siguientes:

Estas operaciones consisten en procesar los materiales en productos terminados en este caso las poleas.

Corte del material

Esta operación consiste en cortar un tramo de material, para la fabricación de las poleas, en este caso se cortan 4 pulgadas de longitud para poderlo sujetar en el torno. El corte de este material se realiza en la sierra hidráulica o en la sierra cinta C.N.C.

Maquinado

Para el maquinado de las poleas primero se monta la pieza de trabajo en el torno y se fija perfectamente en él chock. Ya teniendo la pieza centrada con una herramienta de punta de 45 grados se carea el material, seguidamente se monta en el punto giratorio el broquero. Con una broca de centro número 5 y al material se le abre un centro, luego se desmonta el broquero y se monta una broca de 3/4" y se barrena el material a una longitud de 2" pulgadas, seguidamente se desmonta la broca de 3/4" y seguidamente se coloca una broca de 1 1/8", para realizar más grande el agujero.

Se desmonta la broca y se coloca el punto giratorio y se apoya sobre la pieza barrenada, luego con una herramienta de punta se le hace un canal aproximado y se realiza un desbaste, donde va a llevar el canal esta operación se les realiza a las 2 poleas, también con esta herramienta de punta se marca donde se van a cortar las poleas. Ya estando aproximado las poleas se cambia la herramienta de punta por una herramienta de corte redonda, y con esta herramienta redonda se le da el ángulo requerido a la polea para que cumpla con la medida de 1/2", o 5/8" de pulgadas.

En el proceso de la fabricación de las poleas, se utiliza torno convencional, cierra cinta, cierra hidráulica, broquero con broca de centro número 5” Broca de 3/4”, 1 1/8” barra para maquinar interior buril de 3/8” y buril para ranura.

Corte de las poleas

Teniendo las poleas terminadas con el ángulo requerido se desmonta del torno y se pasa a la sierra hidráulica y se corta (también se puede cortar en el torno, pero es más tardado).

Careado

Ya estando cortado las 2 poleas se pasan al torno y primero se carean 1 por 1 en ambos lados, con una herramienta de punta de 45 grados y la longitud que tienen las poleas es de 3/4” de pulgada.

Medida para el balero

Ya estando careado las 2 poleas a la longitud requerida se monta una polea en el torno, y con una barra para maquinar interior con buril de 3/8 se le da la medida para el ajuste del balero, la presión requerida en este caso es de 1 o 1/2 milésimas de presión, esta misma operación se realiza con el otro rodillo.

Ya terminado las 2 poleas el ajuste del balero, a la barra se le cambia el buril de 3/8 por un buril para ranura y a las poleas se le hace una ranura en el interior (Niebel, 2009).

Esta ranura es un canal a dónde va el seguro o candado del balero, dejando una pared de un extremo del orificio para que no permita que el balero salga para ese lado y del otro extremo se hace un canal para el seguro que no permite la salida del balero, y de esta manera el balero queda en la mitad del rodillo.

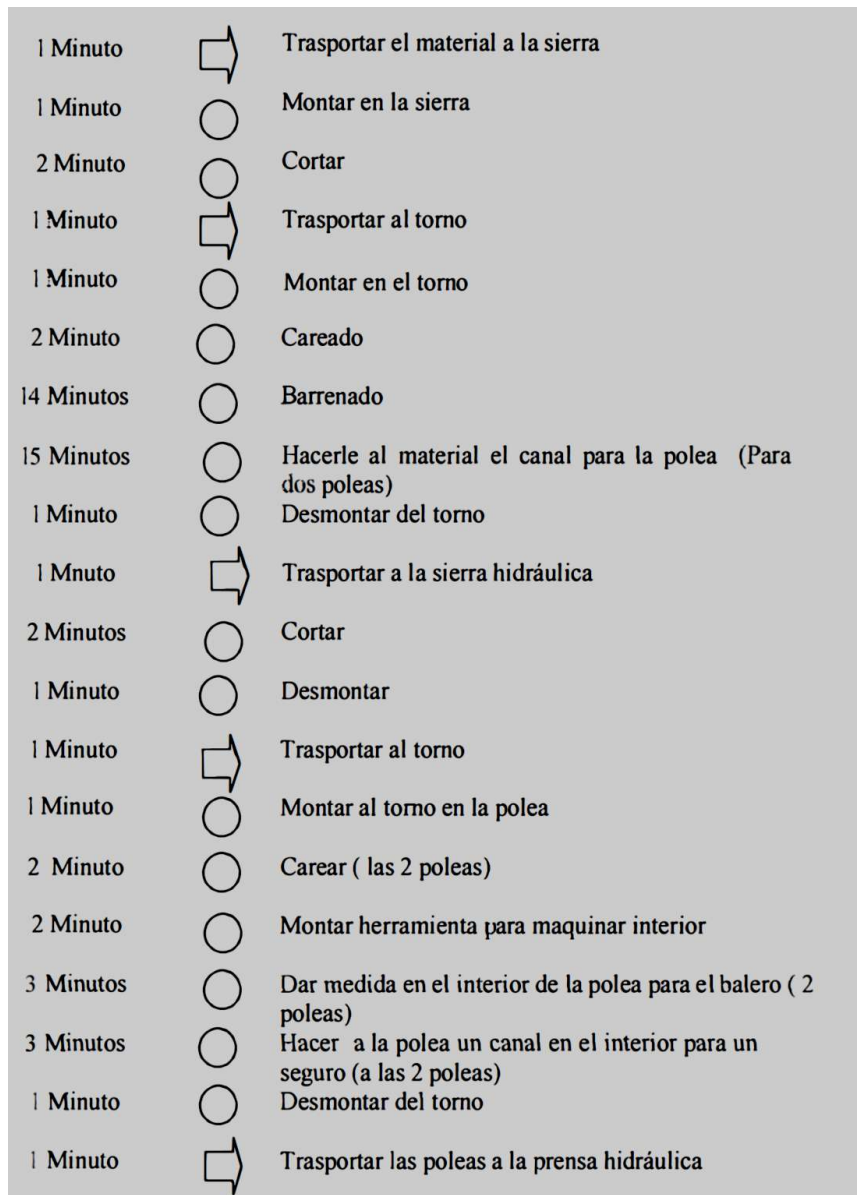
Insertado del balero







Se coloca en la prensa la polea sobre una placa de 3/4” o de 1” pulgada de grueso y la longitud de 5” pulgadas por 10” pulgadas de ancho de superficie plana y después en la polea se coloca en el centro el balero con un poquito de aceite para que, entre fácilmente, después en el balero se coloca haciendo presión con un mandril o una barra con guía en la polea, este proceso se le realiza a cada polea (Groover 2014).

Colocación del candado

Ya teniendo la polea con el balero en el interior se transporta a la mesa de trabajo y se coloca en una superficie plana sujetando con el tornillo de banco y con una pinza especial de punta se sujeta el candado y se introduce en la ranura que tiene la polea, en el interior, es un seguro para que no salga el balero (Niebel, 2009).

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso



1 Minuto		Montar en la prensa
1 Minuto		Insertar balero a la polea
1 Minuto		Trasportar a la mesa de trabajo
1 Minuto		Colocar el candado o seguro a la polea
1 Minuto		Dejar en la mesa de trabajo
1 Minuto		Verificar

Nota: Elaboración propia.

Tabla 1. *Resumen de la fabricación de la polea insertado del balero*

Evento	Número	Tiempo
Operación	19	53
Inspección	1	1
Transporte	6	6
Operación Combinada	0	0
Almacén	0	0
Deposito Provisional	1	1
Total	27	61

CONCLUSIONES

Las poleas de Nylamid han experimentado notables mejoras en su diseño, lo que ha facilitado el acceso a componentes clave. Estas mejoras incluyen:

- Acceso optimizado a rodamientos y sistemas de sujeción: El diseño mejorado permite una limpieza y lubricación más eficientes.

- Reducción del peso: El Nylamid es un material ligero pero resistente, lo que reduce la carga en los sistemas de transporte.
- Mayor resistencia al desgaste: Las propiedades del Nylamid ofrecen una mayor durabilidad, disminuyendo la frecuencia de sustitución de componentes.
- Para facilitar el mantenimiento regular de las poleas de Nylamid, se han desarrollado kits específicos que incluyen todas las herramientas y repuestos necesarios. Estos kits permiten:
- Mantenimiento eficiente: Con todos los componentes necesarios en un solo lugar, el tiempo de mantenimiento se reduce considerablemente.
- Reducción de costos: Al prolongar la vida útil de las poleas y reducir el tiempo de inactividad, los costos operativos disminuyen.
- Las mejoras en las poleas de Nylamid han demostrado ser especialmente beneficiosas en industrias donde el transporte continuo y eficiente es crucial, como la agricultura, la minería y la manufactura. Los principales beneficios incluyen:
- Aumento de la productividad: La mayor eficiencia y durabilidad de las poleas de Nylamid contribuyen a una operación más fluida y productiva.
- Mejora en la seguridad: Un mantenimiento más sencillo y rápido reduce el riesgo de fallos imprevistos, mejorando la seguridad del sistema.

Las mejoras en las poleas de Nylamid han revolucionado el mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de transporte. Con un diseño optimizado y kits de mantenimiento específicos, se ha logrado aumentar la eficiencia, reducir costos y mejorar la seguridad en diversas industrias. Estos avances subrayan la importancia de la innovación continua en el diseño y mantenimiento de componentes críticos como las poleas.

PROPUESTAS

El mantenimiento de las poleas de gancho transportador es crucial para asegurar su funcionamiento óptimo. Las mejoras en el diseño han facilitado el acceso a componentes clave, como los rodamientos y los sistemas de sujeción, permitiendo una limpieza y lubricación más eficientes. Además, se han desarrollado kits de mantenimiento específicos que incluyen todas las herramientas y repuestos necesarios para el mantenimiento regular de las poleas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, C. (2008). Manual de tiempos y movimientos: Ingeniería de métodos. Limusa.*
- Bralla J. G. (1993) Manual de Diseño de Producto para manufactura, Primera edición, Editorial Mc Graw Hill.*
- Castellanos, J., et al. (2008). Organización del Trabajo: Ingeniería de Métodos – Tomo I. Editorial Félix Varela.*
- González, A. (2020). Mantenimiento de poleas en sistemas de transporte. Editorial Técnica.*
- Groover M. (2014) Introducción a los procesos de manufactura. Editorial Mc Graw-Hill.*
- Martínez, F., y Pérez, J. (2019). Materiales avanzados en la fabricación de poleas. Revista de Ingeniería y Materiales, 15(3), 123-136.*
- Moreno Castillo, E. y Pérez Guerrero, L. (septiembre 2011). Fabricación de una polea para el traslado de los desechos desde el edificio de la Facultad de Ingeniería hasta los recolectores a través de un sistema de transporte de carga por cable. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica. Departamento de Tecnología y Diseño. <https://es.scribd.com/doc/72279558/Procesos-necesarios-para-la-elaboracion-de-la-polea>*
- Niebel B. W. (2009) Ingeniería Industrial, Métodos tiempos y movimientos, Editorial Alfaomega.*

Capítulo XV

TEAPA COMO PRODUCTOR DE PLÁTANO EN EL SURESTE MEXICANO

María del Rosario García Vázquez
Maricela Utrilla Díaz
Jonás Hernández Velasco

RESUMEN

Como uno de los principales productores del plátano o banano en Tabasco, Teapa es uno de los municipios fuertes del sureste mexicano, las oportunidades del comercio y la generación de economía es favorable, ya que dentro de los ingresos de este municipio las exportaciones y ventas a nivel nacional están beneficiando al productor del plátano o banano. En el Municipio de Teapa, se ha beneficiado con la oportunidad de incrementar y generar más empleos para la población, además de ser unos de los lugares con la humedad del suelo idónea para la cosecha del plátano, teniendo uno de los lugares donde las aguas fluviales abundan. Por su amplia y creciente demanda en el mercado, se ubica como una de las frutas que más se producen en el país, derivado de ello, en los últimos 10 años su tasa media anual de crecimiento fue de 1.6%. en 2020, se produjeron 2 millones 464 mil toneladas, cifra 2.7.% mayor a la de 2019.

Por otra parte, Tabasco contribuye a la exportación mexicana, que muestra una disponibilidad uniforme a lo largo el año. (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, 2021).

Todo esto es relevante ya que la actividad bananera tiene bastante movimiento de efectivos ayudando a las pequeñas empresas que brindan algún tipo de servicios a las mencionadas fincas bananeras.

Palabras clave: Producción, plátano, sureste.

Introducción

Como uno de los principales productores del plátano o banano en Tabasco, Teapa es uno de los municipios fuertes del sureste mexicano, las oportunidades del comercio y la generación de economía es favorable, ya que dentro de los ingresos de este municipio las exportaciones y ventas a nivel nacional están beneficiando al productor del plátano o banano.

Mantener la calidad, es primordial para la producción del plátano o banano.

A partir del kilómetro 35 de la carretera Villahermosa-Teapa aparecen en ambos lados de la vía las plantaciones con los racimos colgantes de plátano embolsado y así durante 20 kilómetros hasta poco antes de entrar a la cabecera municipal de Teapa. Decenas de fincas se encuentran en la zona, fundiéndose con las plantaciones de la parte norte de Chiapas y abarcan comunidades como Sarabia, Quintana, Hermenegildo Galeana, Morelos, Juan Aldama, Nuevo Nicapa, Blanquillo, Las Lillas, entre otras.

Al mostrar un racimo en el interior de la plantación, explicó que, a las dos semanas de floración de la planta, se realiza el embolsado del racimo para acelerar su proceso de llenado y para protección; se fecha con cintas distintivas y se mide el grosor del fruto para dar la talla adecuada. Ya sea que el destino del plátano sean los Estados Unidos, con estimado de dos semanas de llegada, a Europa o Asia, con tres o cuatro semanas dependiendo del puerto de arribo, el fruto debe llegar verde (Banano, 2017).

Con una producción mayor a 537 mil toneladas, de acuerdo con el avance de Siembras y cosechas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], Tabasco se consolida como uno de los principales productores del plátano, al aportar el 25.8% a la producción nacional. Por su amplia y creciente demanda en el mercado, se ubica como una de las frutas que más se producen en el país, derivado de ello, en los últimos 10 años su tasa media anual de crecimiento fue de 1.6%. en 2020, se produjeron 2 millones 464 mil toneladas, cifra 2.7.% mayor a la de 2019.

Por otra parte, Tabasco contribuye a la exportación mexicana, que muestra una disponibilidad uniforme a lo largo el año. (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, 2021). Como objetivo es lograr que, a través de los diferentes sistemas implementados de negocios referentes a las bananeras establecidas en el Municipio de Teapa, se consolide más productores del banano y se puedan incentivar con las exportaciones incrementado la economía del municipio, así como del estado.

Lo importante es dar a conocer por medio adecuados que llegan directamente al dueño de hectáreas de terreno y que hoy en día aún no se deciden o no saben cómo hacer para dedicarse al cultivo de banano, las ganancias y el generar empleos en la región sierra sería una de las ventajas tangibles dentro del municipio.

Justificando y de lograr que se unan más dueños de terrenos a la siembra y cosecha del plátano, esto es como una estrategia del incremento de beneficios poblacional y personal de cada individuo con fuentes de ingresos de la gente con menores ingresos o nulos ingresos laborales, por lo que cada vez más se genera la creación de las empresas bananeras dentro de la región y dando mayor realce al municipio de Teapa, donde se pueda al mismo tiempo hacer recorridos en las fincas bananeras por los turistas que arriban a la zona en tiempos de vacaciones y teniendo un ingresos extra al dar oportunidad de recorridos y visitas guiadas a ciertas áreas de la fincas bananeras, con la posibilidad de tener a estudiantes con servicio social dentro de las fincas bananeras como guías y explicación del cultivo del banano.

DESARROLLO

Los plátanos son el cuarto alimento básico más importante del mundo después del arroz, el trigo y el maíz y una fuente importante de nutrición para las personas que viven en áreas tropicales. El banano es la fruta tropical más cultivada en México. La producción de la fruta aumentó un 2,9% en 2020, totalizando 2. 47 millones de toneladas de plátanos, que se plantaron en 81.081 hectáreas. El banano mexicano se cultiva en 16 estados, siendo Chiapas, Tabasco, Veracruz y la zona de Tecomán y Coahuayana. las principales regiones productoras. En los años anteriores, estas regiones acumularon más del 60% de la producción nacional total. México es el décimo mayor productor mundial (2% del total mundial), y el 13°

exportador más grande del mundo, teniendo sus huertos rendimientos notables, superando el promedio mundial. Los principales exportadores mundiales de banano (en términos de dólares) son Ecuador, Costa Rica, Colombia y Filipinas. Estados Unidos es el mayor importador mundial de banano y el principal mercado extranjero de México, recibiendo el 80% de todas las exportaciones de banano mexicano.

La agricultura en México ha sido un sector importante de la economía del país histórica y políticamente. En 2020, aproximadamente 6.68 millones de personas estaban empleadas en el sector agrícola en México. El país tiene un territorio de 198 millones de hectáreas, de las cuales el 15% se dedica a cultivos agrícolas, pero gran parte del país es demasiado árida y / o demasiado montañosa para los cultivos o el pastoreo. México tiene la novena economía más grande del mundo, y es un importante exportador de frutas y verduras. A pesar de que México es un importante exportador de frutas y verduras, especialmente a los Estados Unidos, recientemente el país cambió su enfoque a nivel nacional, promoviendo programas e incentivos para mejorar tanto la producción local a pequeña escala como el consumo con el objetivo de ser autosuficiente en productos agrícolas básicos (ASCENZA, 2024).

El término “cadena agroalimentaria” ha sido utilizado con diversas acepciones, ideas y propuestas metodologías. Ello, hace difícil encontrar una definición. Primero, ha de considerarse el contexto donde se utiliza dicho concepto. Por ejemplo, desde la realidad socioeconómica, la cadena agroalimentaria es un sistema que agrupa actores interrelacionados que participan en actividades que agregan valor a un bien o servicio, desde su producción hasta que este llega a los consumidores; incluidos los proveedores de insumos, transformación, industrialización, transporte, logística y financiamiento. Este proceso de relación y agregación de valor no es lineal ni igualitario, como el concepto de una “cadena física”. Por el contrario, el arreglo entre los distintos eslabones de una cadena agroalimentaria se asemeja más a una “telaraña” de relaciones no lineales que pueden ser altamente inequitativas; porque actores con alto poder de negociación, de gestión, económico o político, podrían dominar y extender su influencia sobre actores menos fuertes, más desorganizados y con poca influencia en la toma de decisiones. En síntesis, desde el punto de vista

socioeconómico, la cadena agroalimentaria representa una realidad no necesariamente equitativa; a menudo se altera el valor de un producto, bien o servicio.

La investigación y la transferencia de tecnología constituyen el motor fundamental del desarrollo de cualquier nación, región, rama económica o empresa, y es fuente de ventajas competitivas, más allá de la mera dotación de recursos naturales, trabajo y capital. Por tanto, es esencial la definición de lo que se investiga y transfiere, y la estrecha vinculación entre investigación y transferencia. En este sentido, y particularmente en el caso del sector agroalimentario, México dispone de importantes instituciones públicas que, sin embargo, al presente exhiben grados diversos de desacoplamiento con respecto a las necesidades reales del sector productivo, especialmente en términos de los nuevos enfoques de integración de cadenas, gestión territorial y de sustentabilidad de las actividades productivas.

MÉTODO

Instrumentos de observación y encuesta

La investigación se llevó a cabo mediante observación directa en campo dentro de diversas empresas productoras de plátano, con el propósito de obtener información detallada sobre las prácticas agrícolas y agroindustriales que intervienen en su producción. La observación directa se eligió por su capacidad para registrar fenómenos en su contexto natural y permitir una comprensión integral de los procesos productivos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Se realizaron visitas programadas a las plantaciones, donde se documentaron las técnicas aplicadas en la siembra, el manejo agronómico y la cosecha del plátano. Durante estas visitas, se efectuó un muestreo de la producción con el fin de analizar las características del fruto, los volúmenes generados y las condiciones específicas en las que se lleva a cabo el corte de los racimos. La observación permitió describir el procedimiento de cosecha, las prácticas de manipulación del fruto y los cuidados aplicados para reducir daños físicos y pérdidas poscosecha.

Asimismo, se registraron los procesos realizados en las instalaciones de empaque, los cuales comprenden el lavado, la desinfección, la selección por calidad, la clasificación por tamaño y el empaque conforme a estándares comerciales. También se documentaron las estrategias de conservación utilizadas para mantener la calidad del fruto antes de su distribución, tales como el control de temperatura y el manejo poscosecha, que son fundamentales para conservar frutas tropicales como el plátano (Thompson, 2016).

Finalmente, se describieron los procedimientos empleados para la preparación del producto destinado al mercado nacional y a la exportación, considerando los requisitos fitosanitarios, logísticos y de calidad que exigen los diferentes destinos comerciales. Toda esta información permitió obtener una visión completa del proceso productivo y de los factores que intervienen en la conservación y comercialización del plátano

RESULTADOS

Los criterios en materia de política agroalimentaria y de desarrollo rural en el país, en los últimos años ponen énfasis en cuatro acciones fundamentales: a) Desarrollo rural con visión territorial; b) Integración de cadenas agroalimentarias y pesqueras, como vía para la competitividad; c) Sustentabilidad en el uso de recursos naturales, y d) Reconversión productiva para adecuar el aparato productivo a las nuevas realidades de los mercados y a las vocaciones productivas regionales. Al tiempo que avanza la integración económica, especialmente con Estados Unidos y Canadá, se hace urgente la necesidad de nuevos enfoques de política pública que apoyen la iniciativa de los agentes económicos y que reconozcan la fuerte heterogeneidad estructural que caracteriza al agro mexicano. Así, desde principios de la década del 2000 ha cobrado relevancia el tema de la competitividad.

El gobierno federal, y SAGARPA, así lo han reconocido en sus planes y programas, en los que la integración de cadenas agroalimentarias y pesqueras es una de las líneas estratégicas de la política sectorial. Más aún, en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable el tema está omnipresente como postulado central al proponerse nuevos esquemas institucionales (comités sistema producto, CSP) que propicien el diálogo entre agentes económicos en una

cadena productiva y con las dependencias gubernamentales, con el propósito esencial de fortalecer la competitividad de las cadenas (Secretaría de Agricultura, 2015).

Así como en el municipio de Teapa, Tabasco, la producción de plátano o banano tiene beneficios hidrológicos, ya que el porcentaje de aguas fluviales, “La mayor parte de la superficie del estado (75.22%) se localiza en la Región Hidrográfica número 30, o Región del sistema Grijalva-Usumacinta, formada por las cuencas hidrográficas del Grijalva, Usumacinta y de la Laguna de Términos; que en Tabasco ocupan el 41.45%, el 29.24% y el 4.53%.” (Tabasco, 2024). Por lo que muchas pequeñas empresas se han dedicado a la venta del plátano procesado en hojuelas tanto el banano como el plátano macho, por lo que, a esas pymes es necesario se le dé un impulso para que logren su objetivo de crecimiento.

De lo que se ha logrado avanzar cabe mencionar, que en estos últimos seis años al campo y al agricultor se le ha dado un valor que se perdió en años anteriores, por lo que el crecimiento en la región sierra en la producción del plátano se reflejara en unos próximos años en el aumento de la economía interna del propio municipio, así como en el estado y país.

Las pequeñas empresas son unas estrategias para que sus productos vayan poco a poco entrando al mercado local y también puedan aspirar a estar en un mercado regional para generar empleos y movimientos de activos circulantes lo que representa un importante incremento en la actividad de ingresos por el sector platanero.

Los consumidores de Estados Unidos, Japón y Canadá mantienen su preferencia por el plátano mexicano, las ventas a esos mercados ponderaron una participación de 74.3, 15.6 y 0.2 por ciento, respectivamente, durante el periodo de 2018-2022, informó la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Señaló que este producto agroalimentario, en el mismo lapso, reportó una tasa media anual de crecimiento de 24.9 por ciento en las exportaciones a Japón, principalmente.

En ese rubro le siguieron los dos principales socios comerciales de la región de Norteamérica, donde entró en vigor la ampliación del tratado comercial el 1 de julio de 2020. Canadá, con 4.5 por ciento, y Estados Unidos, con 3.3 por ciento. La dependencia federal abundó que en estos cinco años se produjeron en promedio 2.4 millones de toneladas de plátanos, con una

tasa media anual de crecimiento de 2.4 por ciento, a nivel nacional. En esta producción se incluyen las variedades criollo, dominico, enano gigante, enano gigante orgánico, macho, manzano, morado, pera, tabasco, thai y valery.

Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] mostraron que Chiapas es el principal productor de plátano nacional, al aportar 686 mil toneladas (28.1 por ciento) del total del cultivo nacional. Suchiate, con 28.4 por ciento; Tapachula, con 13.8 por ciento, y Mazatán, con 10.8 por ciento, fueron los municipios chiapanecos que registraron una mayor producción de 2018 a 2022. (Rural, 2024). Todos estos datos aportan buenas noticias para invertir en el sector del banano y principalmente en el municipio de Teapa, Tabasco, donde la producción del plátano es buena y su cultivo se da sin problemas de siembra.

Con información de (Tecnia, 2003), La cosecha del plátano en México se introdujo a través de Tabasco, iniciando las exportaciones en los mercados internacionales desde 1906 y siendo en 1937 el primer país exportador de plátano en el mundo. En la década de los 90, la Asociación Agrícola de Productores de Plátano empezó a tener como destino final Polonia e Italia. Por lo que la producción del banano es una realidad que puede implementarse en la economía del Municipio de Teapa, del Estado, así como a nivel nacional, el cual marca un proceso de mejora en la comercialización dentro del País como en las exportaciones.

CONCLUSIONES

Dentro de toda la información que se tiene a nivel nacional de la producción del plátano y/o banano en toda la república mexicana, es factible que se promueva a agricultores y tengan hectáreas de terrenos sin siembras o cultivos, se dediquen a la producción del banano, ya que este mercado tiene considerable demanda no madamas a nivel nacional, sino que también a nivel mundial promoviendo las exportaciones y asegurando que la cosecha del banano tenga una salida al mercado, dándole posibilidad al empresario de generar empleos y tener ingresos considerables que benefician a la gente del campo.

El papel de las Instituciones de Educación Superior [IES], en las investigaciones que se realizan y que cada vez van en aumento con los avances tecnológicos y la participación de los docentes en sus propuestas de mejora, aportando ideas para ayudar a resolver las áreas de oportunidad detectadas en las empresas plataneras de la región, sumando el lugar donde actualmente se encuentra el País empoderado en las exportaciones y con muchas esperanzas de posicionamientos en los países del mundo para abarcar quizás nuevos mercados internacionales.

PROPUESTAS

- Se de información a los dueños de terrenos sin cultivo.
- Proporcione Cursos y talleres sobre la producción del plátano.
- Se haga un festival del Plátano o banano.
- Promueva la visita a los plantíos del banano.
- Se hagan convenios de colaboración con Instituciones de Educación Superior.
- Difusión en el Estado.

Recomendaciones

- Se realicen visitas de supervisión para escuchar al productor de sus áreas de necesidades y comentarios de los trámites engorrosos y burocráticos en el estado de toda la información que originan el ser productor del banano, para buscar la solución justa y equitativa.
- Apoyo con las certificaciones que requieren las empresas bananeras para aspirar a realizar exportaciones de sus productos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCENZA. (10 de Octubre de 2024). *Plátano. Cd. de México, Cd. de Mexico, México.*
- Banano, B. T. (20 de Junio de 2017). *México: Tabasco quiere potencial la producción y la exportación del plátano. Villahermosa, Tabasco, México.*
- Rural, S. d. (2024). *Estados Unidos, Japon y Canadá, principales consumidores del plátano mexicano. México: Gobierno de México.*
- Secretaria de Agricultura, G. D. (2015). *Estudio de identificación de factores para la optimización de la cadena agroalimentarias banano-plátano en el Estado de Tabasco. Zacatecas: Universidad Autonoma de Zacatecas.*
- Secretaria de Desarrollo Agropecuario, F. y. (19 de Noviembre de 2021). *Tabasco se consolida como uno de los productores de plátano a Nivel Nacional. Villahermosa, Tabasco, México.*
- Tabasco, C. C. (2024). *Programa Institucional de la Misión Estatal de Agua y Saneamiento. Villahermosa: Gobierno del estado de Tabasco.*
- Tecnia, B. (20 de Noviembre de 2003). *El Portal Técnico del banano. Obtenido de Banano Tecnia: <https://bananotecnia.com/noticias/platanos-de-tabasco/>*
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.*
- Thompson, A. K. (2016). *Postharvest handling of tropical fruits (2nd ed.). CABI Publishing.*

Capítulo XVI

FACTORES ORGANIZACIONALES QUE CONTRIBUYEN AL DESARROLLO SUSTENTABLE EN LAS MIPYMES EN EL ESTADO DE MÉXICO

Blanca Estela Hernández Bonilla
Verónica Ramírez Cortés
Sandy Janet Sandoval Trujillo

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo identificar y analizar los factores organizacionales que favorecen la adopción de prácticas sostenibles en las mipymes del Estado de México, estas empresas representan aproximadamente el 97.3% de las unidades económicas y generan aproximadamente el 65% del empleo formal en la entidad. A pesar de su relevancia en la economía local, estas empresas enfrentan diversas limitaciones para incorporar estrategias sostenibles, entre ellas restricciones financieras, escasez de recursos tecnológicos y una limitada capacitación en materia ambiental. El estudio se desarrolló bajo una metodología documental y descriptiva, basada en la revisión de literatura científica y análisis de informes estadísticos provenientes de fuentes oficiales. Como marco teórico, se emplearon la Teoría de Recursos y Capacidades, la Teoría de los Stakeholders y la Teoría General de Sistemas, las cuales permiten comprender la influencia de los factores organizacionales en la gestión sostenible de las mipymes. El análisis permitió identificar seis factores organizacionales relevantes para la adopción de prácticas sostenibles: liderazgo comprometido, formación del personal, innovación en procesos, gestión eficiente de recursos, integración de cadenas de valor responsables y cultura organizacional orientada a la sostenibilidad. La interacción de estos elementos favorece la reducción del impacto ambiental y contribuye a la competitividad de las empresas en un entorno que exige mayor responsabilidad social y ambiental. Se

concluye que una estructura organizacional adecuada, respaldada por políticas administrativas orientadas a la sostenibilidad, facilita la transición hacia modelos de negocio más responsables. Esto no solo mejora el desempeño ambiental de las mipymes, sino que también fortalece su papel en el desarrollo económico y social del Estado de México.

Palabras claves: Desarrollo sustentable, Factores organizacionales, mipymes.

Introducción

El desarrollo sustentable ha cobrado importancia en el ámbito empresarial debido a la creciente necesidad de equilibrar el crecimiento económico, la responsabilidad social y la protección ambiental. Las mipymes en el Estado de México representan aproximadamente el 97.3% del total de las unidades económicas, generando alrededor del 65% de los empleos formales en la entidad (INEGI, 2022). Estas cifras evidencian su relevancia para la economía local, lo que hace necesario identificar los factores organizacionales que favorecen su transición hacia modelos de negocio más sostenibles.

En este contexto, el análisis de la gestión de recursos humanos, la adopción de tecnologías limpias y la formulación de estrategias administrativas innovadoras resulta pertinente. Según la Secretaría de Economía (2023), solo el 28% de las mipymes en la región han implementado prácticas orientadas a la sostenibilidad, lo que refleja un área de oportunidad para su fortalecimiento. Asimismo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2023) señala que aquellas empresas que adoptan criterios sostenibles mejoran su competitividad y acceso a mercados internacionales.

Esta investigación busca explorar cómo los factores organizacionales pueden impulsar el desarrollo sustentable en las mipymes del Estado de México, proporcionando una base para recomendaciones que orienten a estas empresas hacia un futuro más responsable y eficiente.

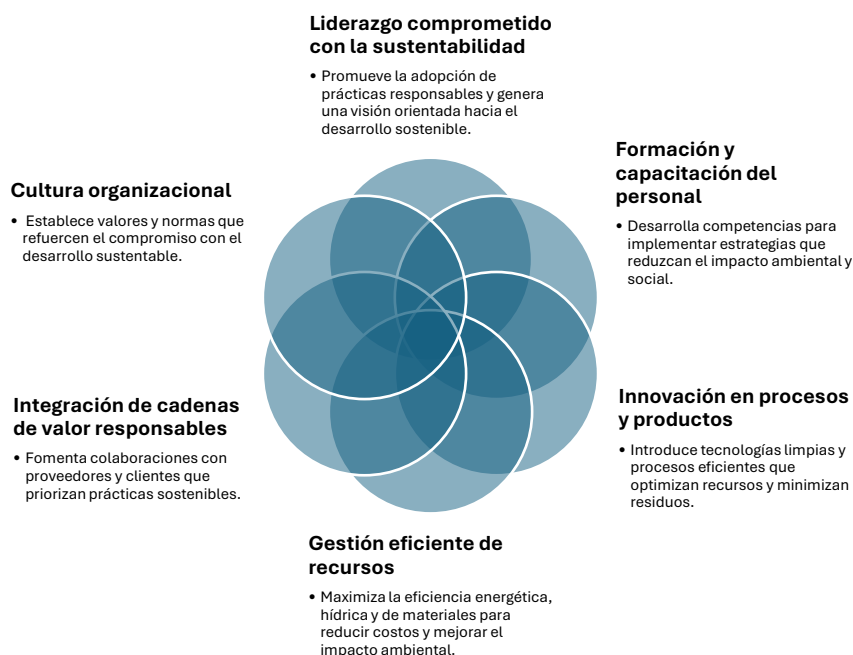
DESARROLLO

El desarrollo sustentable en las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del Estado de México ha adquirido relevancia en la agenda económica y social debido a su

impacto directo en la generación de empleo, el crecimiento económico local y su contribución a la competitividad regional. Estas empresas, al ser responsables del 99.8% de las unidades económicas del país, representan un eje estratégico en el desarrollo socioeconómico, al proporcionar aproximadamente el 52% del Producto Interno Bruto (PIB) y más del 70% de los empleos formales (INEGI, 2022). Sin embargo, enfrentan diversos retos relacionados con la sostenibilidad, incluyendo el manejo de recursos limitados, la integración de prácticas responsables en sus operaciones y la adopción de tecnologías verdes.

En este contexto, la implementación de estrategias organizacionales que fomenten prácticas sustentables no solo responde a demandas regulatorias y sociales, sino que también contribuye al posicionamiento competitivo de estas empresas en mercados cada vez más exigentes (Kusactay, et. al., 2024). Este análisis busca identificar seis factores organizacionales fundamentales que impulsan el desarrollo sustentable en las mipymes del Estado de México, utilizando como base teorías administrativas, como la Teoría de Recursos y Capacidades, la Teoría de Sistemas y la Teoría de los Stakeholders, así como datos estadísticos recientes que reflejan la realidad del entorno empresarial local. La identificación y promoción de estos factores pueden servir como guía para fortalecer la sostenibilidad empresarial y su impacto positivo en el entorno económico y social (De la Rosa, 2021).

Figura 1. *Factores organizacionales que impulsan el desarrollo sostenible en las mipymes del estado de México.*



Nota: Elaboración propia.

1. Liderazgo comprometido con la sustentabilidad

El liderazgo en las mipymes orientado a la sustentabilidad tiene un impacto directo en la promoción e implementación de prácticas responsables con el medio ambiente y la sociedad. Un liderazgo eficaz no solo establece la dirección estratégica hacia el desarrollo sustentable, sino que también motiva e inspira a los colaboradores para que adopten comportamientos alineados con estos valores. Bass (1985) destacó en su teoría del liderazgo transformacional que los líderes tienen la capacidad de influir positivamente en los valores, actitudes y conductas de los empleados, promoviendo así una cultura organizacional más consciente y responsable (Pastuña y Sevillano, 2024).

Además, investigaciones recientes han subrayado la relevancia de los líderes en la generación de cambios organizacionales hacia prácticas más sostenibles. Según García-Castro y Aguilera-Caracuel (2021), un liderazgo orientado al medio ambiente fomenta la adopción de tecnologías verdes y prácticas operativas que reducen los impactos negativos en el entorno. Por otro lado, López-Torres y Rodríguez-Delgado (2023) señalaron que las mipymes con

líderes comprometidos tienen mayor capacidad de integrar estrategias sostenibles, lo que favorece su competitividad y la fidelidad de sus grupos de interés.

En el Estado de México, el 45% de las mipymes han expresado interés en incluir políticas verdes dentro de sus estrategias organizacionales, aunque solo el 27% ha logrado implementarlas de manera estructurada (INEGI, 2022). Este dato refleja tanto la creciente consciencia sobre la importancia de la sustentabilidad como las oportunidades de mejora en el desarrollo de capacidades de liderazgo en estas empresas.

El liderazgo sostenible también se relaciona con la comunicación efectiva y la sensibilización dentro de las organizaciones. Estudios como el de Martínez-Ferrero y García-Sánchez (2022) enfatizan que los líderes deben ser portavoces de las estrategias ambientales, generando un compromiso colectivo que trascienda las acciones individuales. La alineación de los objetivos empresariales con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es una estrategia promovida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021), en la que los líderes empresariales desempeñan un rol fundamental al guiar a las organizaciones hacia metas ambientales, sociales y económicas equilibradas.

Por ello, el liderazgo transformacional y comprometido con la sustentabilidad no solo establece la dirección estratégica hacia prácticas más responsables, sino que también promueve un entorno organizacional donde los valores de sostenibilidad son compartidos y priorizados. La literatura y los datos recientes destacan la importancia de seguir fortaleciendo esta dimensión en las mipymes del Estado de México para que estas puedan cumplir con los objetivos ambientales y sociales que exige el entorno empresarial contemporáneo.

2. Formación y capacitación del personal

Según Reyes (2019) refiere que la inversión en la capacitación y formación del personal en las mipymes del Estado de México es una estrategia que fortalece las competencias necesarias para implementar procesos sustentables y mejorar la eficiencia organizacional. De acuerdo con Barney (1991), el capital humano, entendido como la suma de habilidades, conocimientos y capacidades de los empleados, constituye un recurso valioso que puede generar ventajas competitivas sostenibles para las empresas. Esto es particularmente

relevante en las mipymes, donde los recursos limitados demandan un enfoque eficiente en la preparación de su fuerza laboral.

De acuerdo con la Secretaría de Economía (2023) reveló que el 37% de las mipymes en el Estado de México han implementado programas de capacitación enfocados en gestión ambiental y responsabilidad social, destacando la importancia de educar a los empleados en el uso eficiente de recursos, el reciclaje y el cumplimiento de normativas ambientales. Estas prácticas no solo mejoran el desempeño interno, sino que también incrementan la percepción positiva de la empresa por parte de clientes y socios comerciales.

Asimismo, López y García (2021) destacan que la capacitación en temas de sustentabilidad permite a los empleados identificar oportunidades para optimizar procesos y reducir desperdicios, lo que resulta en beneficios económicos y ambientales. De manera complementaria, Martínez y Torres (2022) sugieren que la integración de programas de formación especializados fomenta una cultura organizacional comprometida con la sostenibilidad, lo cual es indispensable para la continuidad de prácticas responsables a largo plazo.

En términos prácticos, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], (2022) identificó que las mipymes que invierten en formación de su personal registran un aumento del 22% en la implementación de tecnologías limpias y prácticas de eficiencia energética en comparación con aquellas que no lo hacen. Esto resalta la necesidad de diseñar programas de formación más accesibles y específicos para las pequeñas empresas, considerando que estas representan más del 90% de las unidades económicas en el Estado de México.

La capacitación no solo beneficia a las empresas en términos de cumplimiento normativo, sino que también mejora la motivación y compromiso de los empleados. Según un estudio de la Organización Internacional del Trabajo [OIT], (2022), los trabajadores que reciben formación continua tienden a involucrarse más activamente en los objetivos sostenibles de las organizaciones, generando un impacto positivo en su desempeño y en la percepción de responsabilidad social de la empresa.

3. Innovación en procesos y productos

La incorporación de tecnologías limpias y la optimización de procesos representan estrategias importantes para que las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) logren reducir su impacto ambiental y mejorar su desempeño operativo. Estas acciones no solo disminuyen la huella ecológica, sino que también pueden traducirse en ahorros económicos y una mayor competitividad. Schumpeter (1934) identificó la innovación como un factor determinante en la transformación económica y social, subrayando que la adopción de nuevas tecnologías impulsa la eficiencia y la sostenibilidad. Este principio es particularmente relevante en el caso de las mipymes, debido a su flexibilidad y capacidad de adaptación a nuevos métodos productivos.

En el Estado de México, el 28% de las mipymes han integrado tecnologías relacionadas con el reciclaje, el uso eficiente de recursos y la producción limpia durante los últimos tres años, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022). Además, estudios recientes indican que aquellas empresas que invierten en prácticas innovadoras logran incrementar su productividad hasta en un 20%, al tiempo que reducen sus costos operativos en un promedio del 15% (OCDE, 2023). Este panorama pone en evidencia que la tecnología puede ser un facilitador en la transición hacia modelos más sostenibles.

La Teoría de la Innovación Difusa de Rogers (2003) también es aplicable al proceso de adopción de tecnologías limpias, al señalar que las empresas que implementan innovaciones suelen influir positivamente en otros actores del mercado, generando un efecto multiplicador en la región. Según la Secretaría de Economía (2023), más del 35% de las mipymes que han adoptado tecnologías limpias reportaron haber motivado a sus socios y proveedores a seguir prácticas similares, promoviendo una cultura organizacional orientada al cuidado ambiental.

Por otra parte, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) ha señalado que las tecnologías limpias tienen el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% cuando se implementan de manera adecuada (ONUDI, 2023). Este aspecto resulta particularmente relevante en el Estado de México, donde sectores

como la manufactura y los servicios han comenzado a reconfigurar sus operaciones para alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Agenda 2030.

Estas tendencias reflejan la importancia de la innovación tecnológica como herramienta para el desarrollo económico y la sostenibilidad en las mipymes del Estado de México, subrayando la necesidad de políticas públicas que incentiven la inversión en este tipo de soluciones.

4. Gestión eficiente de recursos

La gestión eficiente de recursos representa un componente central en la transición hacia modelos de negocio más sostenibles dentro de las mipymes. La implementación de sistemas de gestión de recursos permite optimizar el uso de insumos energéticos, hídricos y materiales, lo cual se traduce en una reducción de costos operativos y una menor huella ambiental. Según Von Bertalanffy (1968), la interdependencia entre los distintos elementos de una organización y su entorno es fundamental para garantizar un funcionamiento equilibrado y eficiente. Este enfoque permite a las empresas adoptar prácticas administrativas que mejoran su desempeño en sostenibilidad.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2023), el 32% de las mipymes en el Estado de México han implementado medidas que mejoran su eficiencia energética, tales como la instalación de equipos más eficientes y el uso de tecnologías de monitoreo energético (Wong, Flore y Enrique, 2024). Estas iniciativas no solo generan ahorros económicos, sino que también contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2022) destaca que las empresas que adoptan estrategias de gestión de recursos logran incrementar su productividad en un promedio del 15% (Quinceno y Meneses, 2024).

Por otra parte, las prácticas de economía circular también desempeñan un papel destacado en la gestión de recursos. La reutilización de materiales, el reciclaje de desechos y la implementación de procesos de producción más limpios son algunas de las estrategias que están siendo adoptadas por las mipymes en México. Según el Instituto Nacional de Ecología

y Cambio Climático (INECC, 2022), el 27% de estas empresas han comenzado a aplicar principios de economía circular, destacando su compromiso con el uso responsable de los recursos.

Además, la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023) enfatiza que la implementación de tecnologías de eficiencia energética en las pequeñas y medianas empresas puede reducir el consumo energético hasta en un 30%, dependiendo del sector. Estas estadísticas reflejan la importancia de adoptar herramientas de gestión como auditorías energéticas, sistemas de gestión ambiental basados en la norma ISO 14001, y prácticas relacionadas con el análisis del ciclo de vida de los productos.

La adopción de estas estrategias no solo permite a las mipymes mejorar su desempeño económico, sino también cumplir con regulaciones ambientales cada vez más estrictas y responder a las expectativas de consumidores que valoran las prácticas responsables. Esto refuerza la necesidad de integrar un enfoque estratégico en la gestión de recursos para garantizar la sostenibilidad y la competitividad de las empresas en el mediano y largo plazo (Llopis, 2024).

5. Integración de cadenas de valor responsables

La integración de cadenas de valor responsables permite a las mipymes fomentar prácticas sostenibles a lo largo de sus procesos de producción, distribución y comercialización. La colaboración con proveedores, distribuidores y clientes que comparten principios orientados hacia la sostenibilidad contribuye a reducir el impacto ambiental y promover beneficios sociales.

Según Freeman (1984), la Teoría de los Stakeholders enfatiza que las organizaciones no operan de manera aislada, sino que sus decisiones influyen y son influenciadas por los diversos grupos con los que interactúan. Este enfoque subraya la relevancia de establecer relaciones sólidas con socios estratégicos que respalden objetivos ambientales y sociales.

De acuerdo con García y García (2023) refieren que las mipymes que trabajan en colaboración con proveedores responsables logran optimizar el uso de materiales y energía,

así como disminuir la generación de residuos. Por ejemplo, el Informe Global de Sostenibilidad Empresarial de 2023 indica que el 47% de las empresas que implementan prácticas sostenibles en sus cadenas de suministro reportan mejoras en la eficiencia operativa y una mayor aceptación en el mercado (World Business Council for Sustainable Development) [WBCSD], (2023). Esto muestra que la alineación de valores entre los actores de la cadena de suministro es una estrategia efectiva para mejorar tanto el desempeño ambiental como económico.

En el caso del Estado de México, el 41% de las mipymes han implementado acuerdos con proveedores y clientes que priorizan materiales reciclables, envases biodegradables y prácticas responsables en la producción (Secretaría de Economía, 2023). Estas iniciativas no solo responden a una creciente demanda de productos sostenibles, sino que también fortalecen las relaciones comerciales al cumplir con estándares ambientales y sociales.

Además, la adopción de herramientas digitales y tecnologías de trazabilidad ha facilitado la transparencia en las cadenas de valor. Según un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2023), las empresas que integran plataformas digitales en sus cadenas de suministro logran monitorear y mejorar sus prácticas sostenibles, reduciendo en promedio un 15% sus emisiones de carbono. Esta digitalización permite identificar oportunidades de mejora y crear sinergias con socios comerciales, promoviendo un impacto positivo en el entorno económico y ambiental.

La integración de cadenas de valor responsables también fomenta la innovación y la diversificación de productos, ya que las empresas buscan satisfacer las necesidades de consumidores cada vez más conscientes de los aspectos ambientales y sociales. Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), las empresas que integran principios sostenibles en sus procesos tienen un 25% más de probabilidades de acceder a mercados internacionales, lo que refuerza la relevancia de adoptar este enfoque en las mipymes.

6. Cultura organizacional orientada a la sustentabilidad

La promoción de valores y normas organizacionales que favorezcan la responsabilidad ambiental y social fomenta un desarrollo sostenible y el compromiso de los colaboradores con prácticas responsables. La cultura organizacional, entendida como el conjunto de creencias, comportamientos y valores compartidos dentro de una empresa, desempeña un papel relevante en la adopción de estrategias orientadas a la sustentabilidad (Schein, 1985) sostiene que la cultura organizacional moldea el comportamiento colectivo hacia metas compartidas, lo que puede facilitar la implementación de políticas sostenibles y generar un impacto positivo en la comunidad.

En México, las mipymes han comenzado a integrar principios de responsabilidad ambiental en su cultura interna como respuesta a la creciente demanda de consumidores y reguladores por prácticas empresariales más responsables. Según un informe de la Asociación Mexicana de Empresas Sustentables (2023), el 34% de estas empresas en el Estado de México ha implementado políticas internas diseñadas para sensibilizar a los empleados sobre el impacto ambiental de sus actividades. Estas políticas incluyen programas de educación ambiental, campañas de reciclaje y la adopción de tecnologías limpias.

Por otro lado, estudios recientes han destacado que el desarrollo de una cultura organizacional sostenible depende de la participación de todos los niveles jerárquicos dentro de la empresa. Según García-Sánchez y Martínez-Ferrero (2022), las empresas que logran construir una cultura sólida en términos de sustentabilidad experimentan mayores beneficios económicos y sociales, ya que fortalecen su reputación y mejoran la lealtad de los clientes. Además, Pérez-Calderón et al. (2021) evidenció que la implementación de valores sostenibles dentro de las organizaciones fomenta el compromiso de los empleados y genera un entorno laboral más colaborativo.

Asimismo, investigaciones indican que la formación continua y la comunicación interna son elementos determinantes para consolidar una cultura organizacional orientada a la sustentabilidad. Aguilera-Caracuel y Guerrero-Villegas (2021) subrayan que las empresas deben invertir en programas de capacitación que sensibilicen a los trabajadores sobre la

importancia de adoptar prácticas responsables y los beneficios asociados al cuidado del medio ambiente. Por ello, las mipymes en el Estado de México pueden beneficiarse al integrar la sostenibilidad en su cultura organizacional, no solo por cumplir con regulaciones ambientales, sino también como una estrategia para fortalecer su posición en el mercado y generar impactos positivos en su entorno.

MÉTODO

La presente investigación, centrada en los factores organizacionales que contribuyen al desarrollo sustentable en las mipymes del Estado de México, emplea una metodología de carácter documental y descriptivo. Este enfoque resulta adecuado cuando se busca analizar, comparar y sintetizar información existente con el fin de construir un marco conceptual sólido y comprender tendencias, problemáticas y avances en un campo específico del conocimiento. La investigación documental permite recuperar, organizar y evaluar de manera crítica información proveniente de materiales impresos y digitales, facilitando la identificación de patrones, vacíos teóricos y enfoques metodológicos relevantes (Arias, 2012).

Para ello, se consultaron diversas fuentes secundarias, entre las que destacan artículos científicos revisados por pares, libros especializados, informes técnicos sobre sostenibilidad empresarial, bases de datos estadísticos y publicaciones oficiales emitidas por instituciones gubernamentales. La selección de estas fuentes se realizó en función de su pertinencia, actualidad y rigor científico, criterios esenciales para garantizar la validez y confiabilidad de la información recopilada (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Asimismo, se privilegiaron documentos que abordaran específicamente temas relacionados con la gestión organizacional, la sustentabilidad empresarial y el comportamiento de las MIPYMES en contextos regionales.

El proceso metodológico contempló varias etapas de análisis. En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda sistemática de literatura mediante palabras clave vinculadas a los ejes de estudio: sostenibilidad, desempeño organizacional, mipymes, gestión estratégica y desarrollo sustentable. Posteriormente, se realizó una clasificación temática del material recabado para

identificar tendencias teóricas y enfoques predominantes en el estudio de la sustentabilidad empresarial. Esta organización permitió construir un panorama general del estado del conocimiento y detectar factores internos relevantes para el fortalecimiento de prácticas sustentables, tales como la planeación estratégica, la cultura organizacional, la innovación y el uso eficiente de recursos.

Finalmente, se procedió al análisis descriptivo de la información seleccionada, integrando los hallazgos en función de los objetivos planteados en la investigación. Este análisis permitió exponer de manera sistemática los factores organizacionales que influyen en el desarrollo sustentable de las MIPYMES, así como reconocer las oportunidades y desafíos que enfrentan dentro del contexto económico y ambiental del Estado de México.

Enfoque documental

Se fundamenta en la recopilación y análisis de información proveniente de literatura científica y datos estadísticos. Entre las principales fuentes utilizadas se incluyen los informes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022), publicaciones académicas como las de García-Sánchez y Martínez-Ferrero (2022), y reportes especializados emitidos por organismos como la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2022).

Enfoque descriptivo

Este tipo de metodología se centra en detallar las características y prácticas de las MIPYMES en relación con los factores organizacionales identificados: liderazgo, capacitación, innovación, gestión de recursos, cadenas de valor y cultura organizacional. La descripción detallada permite entender las dinámicas internas de estas empresas y su impacto en el entorno económico y social.

Proceso metodológico

Revisión de literatura

Se llevó a cabo la revisión en bases de datos académicas y bibliográficas reconocidas, como Scopus, Semantic Scholar y Google Scholar, con el propósito de identificar teorías relevantes que sirvan como base para el análisis de las prácticas organizacionales en las MIPYMES. La investigación se enfocó en tres marcos teóricos fundamentales: la Teoría de Recursos y Capacidades de Barney (1991), que enfatiza la importancia de los recursos estratégicos para obtener ventajas competitivas; la Teoría de los Stakeholders de Freeman (1984), que plantea la necesidad de gestionar adecuadamente las relaciones con los grupos de interés; y la Teoría General de Sistemas de Von Bertalanffy (1968), la cual resalta la interrelación entre los distintos componentes de una organización para lograr su funcionamiento eficiente. Estos enfoques permiten comprender de manera integral cómo los factores organizacionales influyen en el desarrollo sustentable, considerando tanto los recursos internos como las dinámicas externas que afectan a las MIPYMES.

RESULTADOS

Análisis de informes estadísticos

Se examinaron datos recientes proporcionados por instituciones confiables, como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Economía (2023) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2023), con el objetivo de contextualizar la situación actual de las MIPYMES en el Estado de México. Los reportes analizados incluyen información sobre la contribución de estas empresas al Producto Interno Bruto (PIB), su nivel de adopción de prácticas sustentables y los desafíos que enfrentan en términos de financiamiento, innovación y competitividad.

Asimismo, se revisaron estadísticas sobre empleo, productividad y tasas de supervivencia empresarial, proporcionando un panorama detallado sobre las condiciones económicas y sociales que enfrentan estas organizaciones. Estos datos permiten comprender mejor el entorno en el que operan las MIPYMES y fundamentar propuestas de mejora.

Clasificación de factores organizacionales

Con base en la información recolectada de fuentes académicas y estadísticas, se llevó a cabo una sistematización de los principales factores organizacionales que influyen en el desarrollo sustentable de las MIPYMES. Se identificaron seis factores clave: liderazgo, cultura organizacional, innovación, responsabilidad social, gestión de recursos humanos y alianzas estratégicas. Cada uno de estos factores fue analizado en función de sus características particulares y su contribución al fortalecimiento de la sostenibilidad empresarial.

Por ejemplo, el liderazgo se asocia con la capacidad de implementar estrategias sostenibles, mientras que la cultura organizacional fomenta prácticas responsables entre los empleados. La innovación impulsa la creación de productos y servicios más eficientes, y la gestión de recursos humanos asegura el desarrollo del talento. Finalmente, las alianzas estratégicas facilitan el acceso a recursos y conocimientos externos que potencian el desempeño organizacional.

Justificación del enfoque metodológico

La metodología documental y descriptiva es una herramienta que permite analizar y sintetizar información existente en fuentes secundarias, como artículos académicos, informes técnicos y bases de datos estadísticos, para construir un panorama detallado sobre las prácticas organizacionales que contribuyen al desarrollo sustentable en las MIPYMES. Este enfoque resulta pertinente al abordar temas complejos, facilitando la identificación de tendencias y patrones a partir de datos previamente recopilados, evitando la necesidad de aplicar instrumentos de recolección de datos primarios, como encuestas o entrevistas.

Además, la metodología documental ofrece una base sólida para fundamentar teóricamente el análisis, integrando teorías reconocidas como la de los Recursos y Capacidades (Barney, 1991) o la de los Stakeholders (Freeman, 1984), que explican la influencia de los factores organizacionales en la sostenibilidad empresarial.

Por otro lado, al ser descriptiva, esta metodología permite organizar y presentar la información de manera estructurada, enfatizando las características específicas de las MIPYMES y sus prácticas sustentables sin necesidad de realizar inferencias estadísticas. Según Hernández-Sampieri et al. (2018), los estudios descriptivos son útiles para delimitar un fenómeno, evaluar su estado actual y generar bases para investigaciones futuras.

En este caso, se emplean fuentes confiables, como datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022) y reportes de la Secretaría de Economía (2023), para construir un análisis integral que relacione los factores organizacionales con el desarrollo sustentable. Esto permite a los investigadores y tomadores de decisiones obtener una visión clara y fundamentada sobre cómo las MIPYMES pueden mejorar su desempeño en términos de sostenibilidad, utilizando la información disponible como una guía práctica.

CONCLUSIONES

Los factores organizacionales influyen en la adopción de prácticas sustentables dentro de las MIPYMES del Estado de México, contribuyendo a su desarrollo competitivo y a la mitigación del impacto ambiental, entre estos factores, destacan la gestión eficiente de recursos humanos, la implementación de tecnologías sostenibles y el diseño de estrategias administrativas orientadas a la sostenibilidad. La alineación de estos elementos permite a las empresas adoptar modelos de negocio más responsables con su entorno social y ambiental.

La colaboración con otras organizaciones, así como el cumplimiento de regulaciones que fomenten la sostenibilidad, resulta determinante para mejorar el desempeño empresarial en este ámbito. Además, las empresas que integran la innovación en sus procesos logran adaptarse con mayor facilidad a las demandas del mercado, incrementando sus posibilidades de permanencia y éxito económico.

Promover una cultura organizacional enfocada en la sostenibilidad no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la relación con clientes, proveedores y comunidades locales. Esto evidencia la importancia de seguir explorando e implementando

prácticas organizacionales que permitan avanzar hacia un desarrollo económico responsable y equilibrado.

PROPUESTAS

1. *Fortalecimiento del liderazgo sustentable.*

Se recomienda capacitar a los líderes de las MIPYMES en el Estado de México para que puedan implementar estrategias sostenibles de manera efectiva. La formación en liderazgo transformacional, como lo sugiere Bass (1985), permitirá inspirar a los colaboradores hacia la adopción de valores responsables. Las instituciones de educación superior y organismos empresariales podrían diseñar talleres específicos enfocados en liderazgo orientado a la sustentabilidad.

2. *Capacitación continua para el personal.*

Es fundamental que las MIPYMES inviertan en programas de formación sobre prácticas sostenibles, manejo eficiente de recursos y cumplimiento de normativas ambientales. Según la Secretaría de Economía (2023), el 37% de las empresas en la región ya han implementado estas prácticas, pero se requiere un mayor alcance. Se sugiere la creación de alianzas con centros de capacitación para ofrecer programas accesibles y personalizados.

3. *Adopción de tecnologías limpias.*

Se recomienda fomentar la inversión en tecnologías de producción más limpias y eficientes. El Estado de México podría implementar incentivos fiscales o subsidios para la adquisición de maquinaria eficiente y sistemas de monitoreo energético, siguiendo las mejores prácticas sugeridas por la OCDE (2023). Esto permitirá a las MIPYMES disminuir costos operativos y reducir su impacto ambiental.

4. *Gestión eficiente de recursos.*

Las MIPYMES deben adoptar sistemas de gestión de recursos que optimicen el uso de energía, agua y materias primas. Se sugiere la implementación de auditorías energéticas

y la certificación bajo estándares como ISO 14001. El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2022) subraya que el 27% de las empresas ya aplican principios de economía circular, lo cual debe ser incentivado.

5. *Integración de cadenas de valor responsables.*

Las empresas deben trabajar en colaboración con proveedores y clientes para fomentar prácticas sostenibles en toda la cadena de suministro. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), esta estrategia puede mejorar la eficiencia operativa y el acceso a mercados internacionales. Se sugiere la digitalización de las cadenas de valor mediante tecnologías de trazabilidad para monitorear prácticas responsables.

6. *Fomento de una cultura organizacional orientada a la sustentabilidad.*

La creación de políticas internas que promuevan el compromiso de los colaboradores con la sostenibilidad es una tarea prioritaria. Aguilera-Caracuel y Guerrero-Villegas (2021) destacan que la sensibilización y comunicación interna efectiva fortalecen la adopción de prácticas responsables. Se recomienda implementar campañas internas de concienciación ambiental y actividades participativas.

Estas propuestas pretenden orientar a las MIPYMES del Estado de México hacia un desarrollo sustentable mediante la mejora de sus prácticas organizacionales y la colaboración con actores relevantes en el entorno económico. La implementación de estrategias que promuevan el liderazgo orientado a la sostenibilidad, la formación continua del personal, la adopción de tecnologías limpias y la gestión eficiente de recursos no solo mejora su competitividad, sino que también contribuye a mitigar su impacto ambiental.

Al fomentar una cultura organizacional basada en principios responsables y establecer vínculos estratégicos con proveedores y clientes comprometidos con la sostenibilidad, las MIPYMES pueden adaptarse a las demandas actuales del mercado. Asimismo, la participación en redes de colaboración y el cumplimiento de normativas ambientales favorecen su integración en mercados nacionales e internacionales, fortaleciendo su capacidad para generar valor económico, social y ambiental de manera equilibrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de Energía (IEA). (2023). *Energy efficiency in small and medium-sized enterprises*.
- Aguilera-Caracuel, J., y Guerrero-Villegas, J. (2021). *How organizational culture influences eco-innovation: A research study in the Spanish context*. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125404. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125404>
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Episteme.
- Asociación Mexicana de Empresas Sustentables. (2023). *Prácticas de sostenibilidad en las MIPYMES mexicanas*. México: AMES.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2022). *Sostenibilidad empresarial en América Latina: Oportunidades para la competitividad*.
- Barney, J. B. (1991). *Recursos de la empresa y ventaja competitiva sostenida*. *Revista de Gestión*, 17(1), 99-120.
- Bass, B. M. (1985). *Liderazgo y desempeño más allá de las expectativas*. Nueva York: Free Press.
- Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). (2023). *Informe de sostenibilidad corporativa*.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2023). *Informe de indicadores económicos y sociales*.
- De la Rosa Leal, María Eugenia (2021). *El enfoque de sostenibilidad en las teorías organizacionales*. *Trascender, contabilidad y gestión*, 6(17), 87-102. Epub 22 de noviembre de 2021. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i17.102>
- Freeman, R. E. (1984). *Gestión estratégica: Un enfoque basado en los grupos de interés*. Boston: Pitman.
- García, I. M., y García, R. D. (2023). *Evaluación de la situación de sostenibilidad y responsabilidad social de la empresa Cartones Nacionales SAI basada en la norma ISO 26000, del año 2022* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- García-Castro, R., y Aguilera-Caracuel, J. (2021). *El papel del liderazgo en la adopción de estrategias ambientales en las pequeñas y medianas empresas*. *Ética Empresarial Trimestral*, 31 (3)

- García-Sánchez, IM, y Martínez-Ferrero, J. (2022). *El impacto de la responsabilidad social corporativa en el desempeño financiero: El papel de la cultura. Sostenibilidad*, 14 (5)<https://hacer.o/10.3390/su14052632>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- INEGI. (2022). *Censos Económicos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). *Economía circular en México: Perspectivas para las MIPYMES*.
- Kusactay, V. H. B., Zambrano, L. D. B., Burgos, G. H. P., Valle, M. F. V., Villagómez, M. W. M., Samaniego, K. I. B. y Quintana, R. E. A. (2024). *Prácticas sostenibles efectivas en las estrategias de marketing y del comercio exterior para el sector agroexportador ecuatoriano considerando los ODS-ONU*.
- Llopis, E. (2024). *Marcas buenas, buenas marcas: Cómo incorporar la sostenibilidad en la marca y diferenciarse en el mercado*. LID Editorial.
- López, A., y García, R. (2021). *La importancia de la formación en el desarrollo sostenible de las PYMES en México*. *Revista de Economía y Empresa*, 14(2), 45-58.
- López-Torres, M., y Rodríguez-Delgado, P. (2023). *Sustainable leadership in SMEs: Challenges and practices*. *Journal of Small Business and Environmental Sustainability*, 10(1), 15-32.
- Martínez, F., y Torres, S. (2022). *Capacitación empresarial para la sostenibilidad en pequeñas y medianas empresas: Un enfoque práctico*. *Revista Iberoamericana de Negocios*, 10(1), 18-30.
- Martínez-Ferrero, J., y García-Sánchez, I. M. (2022). *The impact of leadership on corporate sustainability practices: A multi-sector analysis*. *Journal of Business Ethics*, 179(2), 301-320.
- ONU. (2021). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Transformando nuestro mundo*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2023). *Clean Technologies for Industrial Development*. Viena: ONUDI.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2022). *El impacto de la formación en la sostenibilidad empresarial*. <https://www.ilo.org>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). (2023). Innovación y sostenibilidad ambiental: una revisión. París: OCDE.*
- Pastuña Tipan M.Y. y Sevillano Bravo E. C., (2024); El liderazgo y su influencia en el desempeño laboral de las Pymes comerciales del cantón Valencia año 2024. UTC. La Maná. 89 p.*
- Pérez-Calderón, E., Piñeiro-Chousa, J. y Romero-Castro, NM (2021). Sostenibilidad corporativa y prácticas de responsabilidad social en mercados emergentes. Estrategia Empresarial y Medio Ambiente, 30 (1[https ://hacer.o/10.1002 /bse.2715](https://hacer.o/10.1002/bse.2715)*
- Quiceno Cadavid, M. A., y Meneses Avella, A. J. (2024). Implicaciones de aplicar estrategias de sostenibilidad en empresas medianas del sector agroindustrial.*
- Reyes Fajardo, N. E. (2019). Factores que mejoran el desempeño de los recursos humanos en la gestión administrativa de los gobiernos locales municipales en Lima metropolitana (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).*
- Rogers, EM (2003). Difusión de innovaciones (5a ed.). Nueva York: Prensa Libre.*
- Schein, EH (1985). Cultura organizacional y liderazgo. San Francisco: Jossey-Bass.*
- Schumpeter, JA (1934). La teoría del desarrollo económico. Cambridge: Prensa de la Universidad de Harvard.*
- Secretaría de Economía. (2023). Reporte sobre el estado de las MIPYMES en México. <https://www.economia.gob.mx>*
- Von Bertalanffy, L. (1968). Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Nueva York: Braziller.*
- Wong González, P., Flores, M., y Enrique, V. (2024). Nuevas dinámicas internacionales y reconfiguración regional del turismo.*

Capítulo XVII

VIABILIDAD DEL NEARSHORING EN LA ECONOMÍA DE TABASCO: UNA APROXIMACIÓN TEÓRICA

Concepción Cáceres Ruíz
Norma Angélica Hernández Gómez
Ricardo Amado Moheno Barrueta

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como propósito identificar la viabilidad que tiene el estado de Tabasco para aprovechar el Nearshoring como una oportunidad geopolítica y económica para el desarrollo empresarial en nuestra entidad. En la actualidad el nearshoring o también conocido como relocalización de empresas, es una actividad empresarial con el propósito de acercar la producción al mercado de consumo. Y el mayor territorio de consumo es Estados Unidos, que comparte 3,152 kilómetros de frontera con México. Es importante denotar que México está incorporado al TMEC tratado comercial con la región norte de América, específicamente con USA y Canadá, esta situación puede aligerar los aranceles debido a que alrededor del 80% de la producción industrial de México tiene como destino Estados Unidos, esta condición comercial y geopolítica es bastante atractiva económica y logísticamente para muchos países que desean aprovechar las condiciones de consumo de dicha zona. Recordemos que América del Norte es uno de los principales destinos del nearshoring. Otra característica para el nearshoring en México es que, al compartir zonas horarias, las compañías estadounidenses pueden coordinar sus operaciones en ambos territorios. La investigación propuesta es de tipo descriptivo y tiene como propósito valorar la viabilidad que tiene nuestra entidad Tabasco, para aprovechar este fenómeno económico de gran impacto para el desarrollo regional, se utilizará para realizar la viabilidad indicada el método de factores ponderados, también conocido como método de calificaciones ponderadas o método de ponderación de factores, es una herramienta de toma de decisiones utilizada para evaluar y seleccionar la mejor alternativa entre varias. Es útil cuando se consideran varios criterios (factores) y se asignan pesos a cada uno de ellos.

Palabras clave: Nearshoring, desarrollo, viabilidad.

Introducción

Los antecedentes del Nearshoring en la relación comercial entre México y Estados Unidos se remontan a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, que sentó las bases para una integración económica más estrecha entre ambos países y Canadá. Desde entonces, México ha emergido como un destino atractivo para las empresas estadounidenses en busca de ventajas competitivas, como costos laborales más bajos, proximidad geográfica y una sólida infraestructura logística (Tracer, 2024). La evolución del Nearshoring ha sido notable, especialmente en sectores como la manufactura, la tecnología de la información y los servicios empresariales. Empresas estadounidenses han establecido operaciones en México para aprovechar su mano de obra calificada, acceso a mercados globales a través de tratados comerciales y una creciente red de proveedores y socios estratégicos en diversos sectores. El objetivo de esta investigación es identificar la viabilidad que tiene el estado de Tabasco para aprovechar el Nearshoring como una oportunidad geopolítica y económica para el desarrollo empresarial en nuestra entidad. Lo anterior, a través de la evaluación de criterios muy específicos para identificar las condiciones de localización empresarial para ser partícipe de la relocalización empresarial de otros países del mundo en México.

Las oportunidades derivadas del Nearshoring en las relaciones comerciales entre México y Estados Unidos son significativas. Para México, representa la posibilidad de impulsar su economía mediante la atracción de inversiones extranjeras, la generación de empleo y el desarrollo de capacidades tecnológicas y de innovación. Asimismo, fortalece la integración de México en cadenas de valor globales y fomenta la transferencia de conocimientos y mejores prácticas empresariales.

Se estima que el Nearshoring entre México y Estados Unidos seguirá evolucionando de manera positiva en la próxima década. Factores como la digitalización de procesos, la automatización de tareas, la adopción de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el internet de las cosas, y la creciente demanda de productos y servicios personalizados, impulsarán aún más la colaboración y la inversión entre ambas naciones. Además, se espera que el enfoque en la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social corporativa juegue un papel crucial en las decisiones empresariales relacionadas con el Nearshoring, promoviendo prácticas comerciales más éticas, inclusivas y orientadas al desarrollo sostenible.

DESARROLLO

El origen del Nearshoring se remonta también a fines de la década de los setenta y principios de la década de los ochenta, cuando en el marco de la primera Reforma y Apertura de China en 1978, ante su oferta de una fuerza de trabajo de 900 millones de personas de bajo costo (30 centavos de dólar la hora), sin prestaciones sociales y sin sindicalización, las empresas occidentales, de manera especial las norteamericanas, no pudieron evitar la motivación de multiplicar su rendimiento a costa de la afectación de la seguridad social no solo de China, sino de la economía global en general.

El fenómeno del Nearshoring, en este sentido, tiene su primera explicación en un imperativo geopolítico y no económico, en el cual un Estados Unidos declinante respecto a una China en ascenso, encuentra un primer desfogue a través de una posición de Estado que decide no fortalecer más en lo tecnológico y económico a una nación que amenaza de manera creíble el liderazgo geopolítico que ha mantenido durante parte de los siglos XX y XXI.

Este cambio resulta en un crecimiento del PIB de china de 95 veces en 40 años en comparación de 8 veces de EEUU en el mismo periodo que la coloca a solo al 30% del nivel económico de EEUU. (Anguiano, 2020, como se cita en Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2024). De igual modo, al traducirse este incremento en ventajas para China en los ámbitos de endeudamiento público, previsiones de crecimiento, orden interno, educación, competitividad, comercio, producción económica, infraestructura de inversión, civismo, etc., que sumadas todas afectan los indicadores de conflictividad de los dos países, que de mantener una media de -0.4 hasta 2010, a 2020 se dispararon a +0.8.

Aún bajo la línea de que Estados Unidos registra un poder relativo hegemónico de 0.87, éste se ha mantenido los últimos años en una tendencia de descenso, mientras que China llega a niveles de 0.75 con una tendencia alcista (Dalio, *et al* 2021., como se cita en Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2024, p. 13). El Nearshoring de igual modo inicia cuando empresas occidentales empiezan a aceptar una composición accionaria compartida con empresas chinas, principalmente estatales, incluso en posiciones minoritarias. Cuando acceden, de manera importante, a la condición de compartir o ceder tecnología a cambio de tener participación en el mercado chino.

Da inicio, finalmente, cuando el liderazgo económico global de Occidente olvida que su competencia se da “con el jugador más grande en la historia de la humanidad”; que como prevenía Huntington “la

era que comenzó con las intrusiones occidentales entre 1840 y 1850 está llegando a su fin. China está volviendo a asumir su lugar como potencia hegemónica regional y Oriente está tomando posesión de lo suyo” (Huntington, Samuel, E., como se cita en (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2024) Choque de Civilizaciones, págs. 276, 285). En este sentido, el Nearshoring es un fenómeno del siglo XXI que encuentra sus mejores explicaciones en razones de seguridad y competencia de orden geopolítico que, traducidas al campo económico y tecnológico, se convierte en una política de contención y salvaguarda de todo aquello que fortalezca a la rivalidad asiática, al mismo tiempo que prioriza la propia.

Derivado de esta naturaleza geopolítica, el fenómeno de Nearshoring presenta tres características principales: Un primer elemento histórico que deriva de su propio origen de acumulación. El estallido de las contradicciones geopolíticas resulta del comportamiento de la acumulación económica que se sucede en un tiempo de 4 o 5 décadas, en las que el capital, la inversión, el traslado industrial, modernización tecnológica y la apropiación formal e informal de la propiedad intelectual poco a poco van tomando forma.

La intención de Estados Unidos de relocalizar (Inshoring, Nearshoring, Friendshoring, Allyshoring, Mexicanshoring, etc.) parte de sus intereses económicos hacia nuevas regiones, no será rápida ni fácil. Requerirá de un largo periodo de deslocalización que se irá dando de acuerdo con las condiciones de cada empresa, sector y mercado. Por ello el Nearshoring, como un proceso derivado de una voluntad y necesidad geopolítica de seguridad, mantendrá en un tiempo aproximado de dos o tres décadas un comportamiento de reubicación en ascenso que estará determinado por los apoyos que se le otorguen y la maduración de los planes de relocalización con las diversas empresas. No obstante, mientras dure el choque geopolítico de Estados Unidos con China por la primacía del siglo XXI, en cualquiera de sus definiciones, el Nearshoring se mantendrá como un fenómeno obligado. Quererlo reducir a la luz de una cifra mensual no será adecuado.

El segundo factor es el económico. Así como la precarización y el reporte anual a accionistas fue la prioridad del offshoring hacia China; la maximización de utilidades estará pasando a un segundo plano. La exacerbación de las utilidades estará dando un espacio a los términos de seguridad, proveeduría y resiliencia tanto por la exhortación política que ha hecho Estados Unidos a sus diferentes actores económicos, como por la línea de apoyos, sanciones y limitaciones que han estado acompañando este exhorto. La relocalización de América del norte en este sentido no estará

obedeciendo a los cánones globales de la tercera parte del siglo XX, y mantendrá un impulso en ascenso hacia regiones más seguras.

La tercera se refiere al cambio de las estrategias económicas. Es evidente que más de lo mismo no alcanza. Además del “descuido occidental” en no prever que el fortalecimiento del mercado asiático redundaría en su propio debilitamiento, resulta evidente que la estrategia del desarrollismo asiático, no solo de China sino de 10 o 15 naciones del este y sudeste asiático que han practicado en mayor o menor medida este modelo la última mitad de siglo, ha venido resultando más eficiente en términos económicos, sociales y geopolíticos que el practicado por Europa y los Estados Unidos.

El neoliberalismo generalizado, el congelamiento o supresión de la política industrial, el alejamiento del Estado como actor relevante del desarrollo, entre otros factores, son asignaturas que ya están siendo revisadas por Estados Unidos y Europa; lo cual está resultando en el revisionismo del neoliberalismo, del regreso de un Estado emprendedor, o el Estado Nacional, y de manera importante, de la reinstalación de la Política Industrial.

Como ejemplo de lo anterior apunta Bacevich: “¿Qué hemos conseguido en Oriente Medio en todas nuestras intervenciones desde la década de 1980? ¿Por qué no nos concentramos en México? Cuánto mas no hubiéramos prosperado de haber intervenido en México todo el dinero, experiencia, e innovación que destinamos a Irak y Afganistán” (Kaplan, (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2024) *La Venganza de la Geografía*, p. 399). Más allá de la propia voluntad de Estados Unidos, e incluso de la de México, el Nearshoring se presenta como un paréntesis de oportunidad para la región de América del norte con características históricas.

En esta síntesis de la renovación geopolítica, el papel de México de observador está cambiando rápidamente por el de actor económico relevante, ante las ventajas geográficas y económicas que presenta. No son nuevas, han estado ahí, pero para Estados Unidos nunca fueron suficientes para darle el lugar que ahora se pretende o para darle un mejor trato en lo que han sido las firmas de los tratados económicos de comercio de 1994 y 2020.

El Nearshoring es un concepto que puede ser definido de diferentes maneras. A continuación, se presenta algunas de ellas:

- Para Bailey., y De Propriis. L (2014) consiste en la relocalización de procesos productivos desde países lejanos hacia lugares cercanos para reducir costos y mejorar la eficiencia logística.
- Estrategia para mover actividades de manufactura o servicios desde ubicaciones lejanas a países cercanos para minimizar el riesgo y tiempo de entrega (Ellram, *et al*, 2013)
- Proceso de trasladar operaciones de manufactura de vuelta a países más cercanos al mercado de consumo principal, en lugar de mantenerlas en regiones lejanas (Fratocchi *et al.*, 2016)
- Cambio de la producción hacia ubicaciones cercanas al mercado doméstico, con el objetivo de mejorar la flexibilidad y respuesta al cliente (Kinkel, 2014)
- Transferencia de operaciones a países cercanos para aprovechar ventajas logísticas y reducir la exposición a riesgos en la cadena de suministro (Tate et al., 2014)
- Reubicación de actividades de producción a países geográficamente cercanos para reducir costos de transporte y mejorar la coordinación operativa (Ancarani, Di Mauro, y Mascali, F. 2015)
- Práctica de transferir actividades productivas a países cercanos en lugar de offshoring tradicional a ubicaciones más lejanas, con el fin de obtener beneficios logísticos y económicos (Stentoft, Mikkelsen, O.S., y Jensen, J.K. 2016).

Factores o elementos considerados para la relocalización de empresas en México.

- Costos laborales competitivos, incentivos fiscales, y acuerdos comerciales internacionales como el T-MEC (Domínguez, R y Brown, J. 2015).
- Infraestructura logística, proximidad al mercado estadounidense, y disponibilidad de mano de obra calificada (González et al., 2018).
- Infraestructura logística, proximidad al mercado estadounidense, y disponibilidad de mano de obra calificada (Fernández, L. y Ramírez, M. 2017).
- Riesgos de la cadena de suministro global, costos de transporte, y capacidad de la infraestructura para soportar operaciones (Martínez, J., y Pérez, A. 2019).
- Acceso a mercados internacionales a través de acuerdos comerciales, políticas laborales, y desarrollo de parques industriales (López, R. 2020).
- Factores culturales, idioma, y proximidad geográfica como ventajas para la comunicación y coordinación con clientes extranjeros, (Navarro, C. y Hernández, F. 2016).

- Innovación y adopción tecnológica en la manufactura, calidad de la infraestructura de transporte, y facilidad para exportar (Ríos et al. 2017).

Para efectos de esta investigación los factores considerados para la evaluación de la viabilidad del nearshoring son:

- Costos de energía, se refiera al costo de la energía eléctrica en México y esta depende de la tarifa y del consumo de kilowatts-hora (kWh) (CFE, 2024).
- Costos de transporte, se refieren a los costos de los fletes terrestres, estos dependen de muchas variables como los costos fijos, variables y la distancia por recorrer (Martínez, C. 2022).
- (European Business School, s.f). Infraestructura Carretera, se refiere a la RNC (Red Nacional de Caminos) que integra el total de la red pavimentada y la mayor parte de los caminos no pavimentados de México, las vialidades de las localidades urbanas y rurales con las que se conectan, vías fluviales y marítimas entre otros (INEGI, 2024).
- Infraestructura de Puertos. Incluye: obras de abrigo, ductos, plataformas, rompeolas, señalizaciones, esclusas, canales, zonas de aproximación, vías interiores y periféricas de circulación terrestre, zonas de carga y descarga ferrocarrilera. La infraestructura portuaria es fundamental para el transporte, ya que mejora la conectividad multimodal y fortalece el mercado interno (Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción [CMIC], 2022).
- Infraestructura de aeropuertos en México se conforma por: 78 aeropuertos, 1510 aeródromos, 551 helipuertos (Secretaría de Marina [SEMAR], s.f). La infraestructura básica incluye: pistas, pistas de carreteo, zona de aparcamiento de aviones, puentes de embarque, terminales de pasajeros y de carga, intercambios de transporte en tierra.
- Disponibilidad de parques industriales, actualmente de los 460 parques industriales en México, es decir, de los 80 millones de m², se tiene una disponibilidad del 2.2%, lo que significa que están ocupados casi el 98% (Escobar, S. 2023).

Por lo general las industrias tienden a asentarse en regiones en las que disponen de buenas vías de comunicación sean caminos, ferrocarriles, aeropuertos y puertos dependiendo del caso.

Beneficios del nearshoring

En esta investigación el nearshoring, se presenta como la reubicación de procesos productivos o servicios en países cercanos al mercado principal. La Tabla 1, presenta los principales beneficios para el país por región y sector

Tabla 1. *Beneficios del nearshoring en México.*

Región/Sector	Beneficios
Norte (Baja California, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila)	-Proximidad a Estados Unidos facilita comercio internacional y logística (Galván, 2023). -Alta especialización en manufactura avanzada y maquila. -Parques industriales consolidados (Bank of America, 2023).
Centro (Querétaro, Guanajuato, Estado de México)	-Crecimiento de industrias automotriz y aeroespacial. -Ubicación estratégica con acceso a mercados locales y norteamericanos (OECD, 2023). -Disponibilidad de universidades técnicas y talento especializado.
Sur y Sureste (Tabasco, Yucatán, Oaxaca)	-Incentivos fiscales para atraer inversión (SHCP, 2023). -Potencial en sectores agroindustrial y energético. -Cercanía con el Canal de Panamá, lo que facilita exportaciones a Sudamérica.
Sector Automotriz	-Alta integración en cadenas globales de suministro. -Exportaciones competitivas hacia América del Norte y Asia (AMIA, 2024). -Innovación en manufactura avanzada.
Sector Electrónico y Tecnología	-Incremento en IED para centros de diseño y manufactura de semiconductores. (Nearshoring: Transformación del mercado industrial y su impacto en la vivienda y el empleo, 2023). -Disponibilidad de zonas francas. -Oportunidades de desarrollo en IA y automatización.
Sector Agroindustrial	-Demanda internacional creciente de productos orgánicos y sostenibles. -Oportunidades en procesamiento y exportación. -Acceso a mercados de Norteamérica y Europa (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2023).
Sector Energético	-Desarrollo de energías renovables en solar y eólica. -Cercanía a grandes centros de consumo energético (CFE, 2023). -Potencial en exportación de energía.

Nota. Elaborada a partir de la revisión de la literatura (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz [AMIA], 2024); Bank of America. (2023); (Comisión Federal de Electricidad [CFE], (2023).

Ha ganado popularidad en México debido a la proximidad con Estados Unidos, las crecientes tensiones comerciales globales y la necesidad de reducir los riesgos en las cadenas de suministro. Aunque el nearshoring ha favorecido principalmente a regiones como el norte de México y el Bajío, el estado de Tabasco comienza a emerger como un destino potencial para esta estrategia.

En Tabasco

Ubicación estratégica y conectividad

Está situado en una posición geográfica que conecta el sureste de México con el centro del país, lo que lo convierte en un punto clave para el transporte de mercancías. La presencia del puerto de Dos Bocas y su conectividad con el Golfo de México ofrece un acceso estratégico para las operaciones comerciales que requieren envío marítimo, lo que puede ser aprovechado por empresas que buscan reducir costos logísticos (Gereffi, 2021).

Desarrollo de infraestructura energética

Estado líder en la producción de petróleo en México, con infraestructura energética bien desarrollada. Esto representa una ventaja competitiva para empresas que dependen del suministro energético constante y a costos competitivos. Además, el impulso del gobierno federal para desarrollar la refinería de Dos Bocas podría fortalecer aún más la capacidad energética del estado (Hanson, 2021).

Potencial de desarrollo económico y creación de empleo

El nearshoring puede ser un catalizador para el crecimiento económico en Tabasco, impulsando la inversión extranjera directa y creando nuevas oportunidades de empleo en la región. Esto puede contribuir a la diversificación de la economía, que ha dependido históricamente del sector petrolero, fomentando el desarrollo de la manufactura y servicios relacionados (Foley, 1996).

Incentivos gubernamentales y apoyo para el desarrollo regional

La entidad ha mostrado interés en atraer inversiones a través de incentivos fiscales y la creación de parques industriales. Estas políticas están diseñadas para facilitar la instalación de empresas en Tabasco y apoyar la expansión de las operaciones de las que ya están presentes (Wilson, 2020).

Desafíos del nearshoring en México

A continuación, se presentan los principales desafíos para el país por región y sector.

Tabla 2. *Desafíos del nearshoring en México*

Región/Sector	Desafíos
Norte (Baja California, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila)	<ul style="list-style-type: none"> -Saturación de infraestructura (aeropuertos, puertos y carreteras). -Incremento en costos laborales y de vivienda en ciudades industriales clave (Nearshoring: Transformación del mercado industrial y su impacto en la vivienda y el empleo, 2023)
Centro (Querétaro, Guanajuato, Estado de México)	<ul style="list-style-type: none"> -Problemas logísticos por saturación en puertos y carreteras clave. -Inseguridad en corredores industriales (INEGI, 2023). -Competencia por talento con otras regiones.
Sur y Sureste (Tabasco, Yucatán, Oaxaca)	<ul style="list-style-type: none"> -Infraestructura limitada para logística internacional. -Escasez de personal especializado. -Rezago económico y social en comparación con otras regiones (CEPAL, 2023).
Sector Automotriz	<ul style="list-style-type: none"> -Dependencia de insumos importados. -Altos costos energéticos. - Retos en cumplimiento de normativas ambientales internacionales.
Sector Electrónico y Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> -Escasez de ingenieros calificados en alta tecnología. - Competencia por inversiones con países de Asia como Vietnam y Tailandia (OECD, 2023).
Sector Agroindustrial	<ul style="list-style-type: none"> -Limitada modernización tecnológica en regiones rurales. -Infraestructura insuficiente para almacenamiento y transporte de productos perecederos.
Sector Energético	<ul style="list-style-type: none"> -Incertidumbre en regulaciones del sector energético. -Inversión insuficiente en infraestructura de transmisión. -Conflictos ambientales y sociales en algunos proyectos (Galván, 2023).

Nota. Elaborada a partir de la revisión de la literatura.

La reubicación de procesos, actividades comerciales y empresariales a través del nearshoring es un gran éxito, sin embargo, en 2025 México enfrentara desafíos que debe superar sin quiere seguir siendo un país fértil de inversión.

En 2023 México se posiciono en el lugar 9 a nivel mundial de países con mayor inversión extranjera directa, siendo el nearshoring el principal benefactor. ¿El Motivo? La estratégica ubicación

geográfica, la conectividad con Norteamérica, mano de obra barata y calificada y el T-MEC, principalmente.

Brasil y México son los únicos países de Latinoamérica en el top 10 con inversión extranjera directa según el reporte Worl Investment Report 2024 de la conferencia de las Naciones unidas sobre comercio y desarrollo, no obstante Brasil lidera el marcador en la posición cinco a pesar de los beneficios geográficos y económicos que goza México.

Estados Unidos como mediador

El termino nearshoring se popularizó por Joe Biden tras los altercados comerciales que en los últimos años ha enfrentado China y Estados Unidos. Derivado de estos conflictos, Estados Unidos busca nuevos socios comerciales confiables, y la histórica relación del T-MEC, anteriormente Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), deja a México en la delantera por demostrar una relación diplomática histórica y sólida (friendshoring). Sin embargo, para 2025 el nearshoring en México enfrenta una serie de desafíos que tendrá que resolver antes de que finalice el 2024. La renovación del T-MEC y los Conflictos de China y Estados Unidos son los principales motivos.

La idea central es que el nearshoring se extienda en toda Latinoamérica, así que México deberá tener un plan estratégico para ser un país que brinde todas las herramientas necesarias para las compañías quieran invertir en tierras aztecas. Mientras tanto, los retos que enfrentará el nearshoring en México para 2025 son:

Renovación del T-MEC

- El artículo 34.7 del T-MEC, titulado: "Revisión y extensión de la vigencia", menciona que el acuerdo durará 16 años desde su entrada en vigor, y en el sexto aniversario, la comisión se reunirá para llevar a cabo un análisis conjunto de su funcionamiento, considerando las recomendaciones de las partes y decidiendo sobre las medidas apropiadas.
- El próximo julio de 2026 se celebrará el aniversario número 6, y los expertos apuntan a que las discusiones se centrarán en las incidencias del comercio chino en el mercado mexicano.

- El endurecimiento de las exportaciones mexicanas a Estados Unidos y el fortalecimiento de las reglas de origen son de las sanciones más temidas, lo que podrán afectar el flujo del nearshoring en México y la llegada de inversión extranjera directa.
- El sector automotriz es de los mercados más temidos por tres factores: el auge de las empresas chinas en el norte del país, incluidos los vehículos eléctricos, las históricas discusiones llevadas a cabo en el pasado durante la era del TLCAN y los aranceles del 100% a los automóviles chinos.
- El resurgimiento económico estadounidense tras la crisis de 2008 y el crecimiento económico de China impulsó un auge sin precedentes en el intercambio comercial bilateral. Sin embargo, la armonía comercial se fracturó bajo la administración Trump, dando paso a una guerra arancelaria que asfixió la relación.
- Las crecientes barreras comerciales, impulsada por la rivalidad geopolítica y económica, se extendió al campo tecnológico, sembrando la semilla de la desconfianza.
- A su vez, la era del llamado "desacople" se instaló, marcando el inicio de la separación de sus sectores tecnológicos y la fragmentación de la confianza mutua. Hasta hoy en día, los altos niveles arancelarios y los bloqueos tecnológicos siguen siendo los temas del día.
- El boom del nearshoring puso a tierras aztecas como mediador de esta rivalidad arancelaria, dando como efecto que las exportaciones mexicanas reportaran récords históricos: top 18 global y top 1 de EUA.
- No obstante, el gobierno de Estados Unidos tiene identificado sus principales factores de riesgo tras las extensas relaciones comerciales de México con China.
- En la Cumbre Anual de Índices y ETFs en México 2024 de la Bolsa Mexicana de Valores, los expertos apuntaron que el nearshoring mexicano debe seguir las políticas de Estados Unidos o corre el riesgo de un enfrentamiento económico y arancelario con la principal potencia mundial.

Riesgos comerciales

- Las empresas mexicanas que exportan e importan mercancías a todo el mundo tienen que identificar riesgos en sus rutas comerciales, principalmente los que mantienen relación con Estados Unidos y China ante los drásticos eventos políticos y económicos.

Desafíos del nearshoring en Tabasco:

- Infraestructura insuficiente y logística limitada

A pesar de sus ventajas estratégicas, Tabasco enfrenta desafíos significativos en términos de infraestructura. La calidad de las carreteras y las conexiones ferroviarias es deficiente en comparación con otras regiones del país que ya han adoptado ampliamente el nearshoring, como el norte de México (Zabludovsky, 2022).

- Seguridad y problemas sociales

La inseguridad y los problemas sociales en algunas áreas de Tabasco pueden afectar la percepción del estado como un destino seguro para la inversión. El crimen y la falta de seguridad pueden incrementar los costos operativos para las empresas, lo que podría disuadir la inversión (Gereffi, 2021).

- Dependencia del sector energético

Aunque la infraestructura energética es una ventaja, también representa un riesgo debido a la dependencia de Tabasco del sector petrolero. Las fluctuaciones en los precios del petróleo y los cambios en la política energética podrían afectar la estabilidad económica del estado. Para que el nearshoring sea sostenible a largo plazo, es necesario diversificar la economía y reducir la dependencia de una sola industria (Hanson, 2021).

- Limitación en la mano de obra calificada

Tabasco enfrenta desafíos en la disponibilidad de mano de obra calificada en sectores clave como la manufactura avanzada y la tecnología. Aunque la creación de empleos es un beneficio potencial, el estado debe invertir en la capacitación y formación de su fuerza laboral para satisfacer las necesidades de las empresas extranjeras que se establecen en la región (Foley, 1996).

MÉTODO

Para efecto de la investigación se ocupa una posición metodológica cuantitativa lo anterior teniendo como base lo mencionado en (Santander Open Academy, 2024) la investigación cuantitativa se usa para comprender frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, entender relaciones de causa y

efecto, hacer generalizaciones y probar o confirmar teorías, hipótesis o suposiciones mediante un análisis estadístico. De esta manera, los resultados se expresan en números o gráficos.

Derivado de la posición metodológica seleccionada se ocupó para tal efecto, el método de factores ponderados (Krajewski, Ritzman, y Malhotra, 2013). también conocido como método de calificaciones ponderadas o método de ponderación de factores, es una herramienta de toma de decisiones utilizada para evaluar y seleccionar la mejor alternativa entre varias. Es útil cuando se consideran varios criterios (factores) y se asignan pesos a cada uno de ellos.

Este método consiste en definir los principales factores determinantes de una localización, para asignarles valores ponderados de peso relativo, de acuerdo con la importancia que se les atribuye. Uno de los métodos más utilizados para el análisis de la ubicación es el método de calificación de factores. Este método implica la identificación de los factores relevantes que afectan la decisión de ubicación, como la disponibilidad de mano de obra, los costos de la tierra, los impuestos, la infraestructura, el acceso al mercado y la calidad de vida. La clasificación de factores de ubicación evalúa y compara diferentes factores entre diferentes sitios, y el método del centro de gravedad se basa en la ubicación de la base de clientes, (Render, y Heizer, 2014)

RESULTADOS

Procedimiento del método de factores ponderados

A continuación, según Chase, Jacobs, y Aquilano, (2006) se presentan los elementos que intervienen en el método de factores ponderados:

- *Definición del problema y alternativas.* Lo primero es identificar el problema o decisión que se debe tomar, su contexto y los objetivos que se persiguen. Después, se identifican las alternativas.
- *Criterios de evaluación.* Los criterios o factores deben cubrir todos los aspectos relevantes para la toma de decisiones.
- *Asignación de pesos a los criterios.* Se define una escala, por ejemplo, del 1 al 10, la importancia del criterio será mayor cuando el peso asignado sea mayor. Además, los pesos deben ser acordados por todos los involucrados en la toma de decisiones para reflejar las prioridades desde todas las perspectivas.

- *Evaluación de alternativas.* Los expertos asignan una calificación a cada alternativa para cada criterio utilizando una escala numérica, por ejemplo, del 1 al 5, donde 5 es excelente y 1 es deficiente.
- *Cálculo de las calificaciones ponderadas.* Se multiplica cada calificación por el peso del criterio correspondiente, enseguida, se suman las calificaciones de una de las alternativas para cada uno de los criterios, con ello, se obtiene una puntuación total para cada alternativa.
- *Selección de la mejor alternativa.* Se comparan las puntuaciones de las alternativas y se selecciona aquella con la puntuación más alta.

Tabla 1. *Evaluación ponderada por criterios por Zona en Tabasco*

Criterios	Peso	Zona Centro		Zona Chontalpa		Zona Ríos		Zona Sierra	
		Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación	Calificación	Puntuación
Costos de energía	0.15	8	1.2	8	1.2	8	1.2	8	1.2
Costos de transporte	0.1	9	0.9	8	0.8	8	0.8	7	0.7
Costos de producción	0.15	8	1.2	8	1.2	7	1.05	7	1.05
Infraestructura Carretera	0.15	8	1.2	7	1.05	7	1.05	7	1.05
Infraestructura de Puertos	0.1	7	0.7	7	0.7	7	0.7	7	0.7
Infraestructura de Aeropuertos	0.15	9	1.35	7	1.05	7	1.05	7	1.05
Disponibilidad de parques industriales	0.2	8	1.6	8	1.6	7	1.4	7	1.4
Calificación	1		8.15		7.6		7.25		7.15

Nota. Elaboración propia.

Casos de éxitos

México ha demostrado ser un destino exitoso para el nearshoring, atrayendo a empresas internacionales de diversos sectores. Estos casos de éxito resaltan el potencial del país como centro de operaciones cercano a los mercados de América del Norte. A continuación, se presentan algunos ejemplos notables de empresas que han optado por el nearshoring en México.

- *Inditex:* la matriz de Zara, una reconocida marca de moda a nivel mundial ha implementado exitosamente el nearshoring trasladando aproximadamente el 10% de su

producción a países como Marruecos y Turquía. Esta estrategia se alinea con la tendencia creciente en la industria de la moda, donde más del 20% de las compras se espera que se realicen mediante nearshoring para el año 2025, según el estudio (TIP México, 2024).

- *Whirlpool en México*: Empresa estadounidense de electrodomésticos para el hogar, ha logrado un caso de éxito al practicar el nearshoring. Desde 1987, trasladó parte de sus operaciones a México, exportando el 80% de sus electrodomésticos a Estados Unidos y Canadá. Este enfoque ha sido seguido por otras empresas electrónicas como Samsung y LG, estableciendo unidades de fabricación con éxito en México.
- *General Motors*: una destacada compañía automotriz con presencia global ha realizado actividades de nearshoring en México durante un extenso lapso. En la actualidad, el país se posiciona como uno de los centros primordiales para la producción y exportación de General Motors.
- *Boeing*: líder en la industria aeroespacial, ha externalizado con éxito la fabricación de cables a la multinacional francesa Safran mediante el nearshoring. Las operaciones se extienden hasta México, donde tienen presencia desde hace 25 años. La planta en Chihuahua, inaugurada el año pasado, produce el 95% del cableado del Boeing 787 Dreamliner, demostrando la efectividad continua del nearshoring en la industria aeroespacial.
- *Daikin*: uno de los principales fabricantes de aires acondicionados a nivel mundial, ha llevado a cabo una expansión significativa en México. La compañía ha establecido una planta de producción en San Luis Potosí, aprovechando la ubicación estratégica del país para abastecer al mercado de los Estados Unidos. Esta inversión demuestra el éxito del nearshoring en el sector manufacturero y cómo México puede ofrecer ventajas competitivas a las empresas internacionales.

CONCLUSIONES

México debe aprovechar esta oportunidad única. Todo está alineado para que sea una potencia industrial y en la medida que se pueda mejorar y flexibilizar los factores de riesgo se podrá captar más inversión nacional y extranjera, que beneficie al país y por supuesto al estado de Tabasco. Se

identificaron los factores para la valoración de las condiciones de viabilidad del Nearshoring en Tabasco siendo los siguientes: Costos de energía, producción, transporte, infraestructura de puerto, aeropuertos, carreteras y parques industriales.

Con base en el análisis de los resultados se identificó la zona centro como aquella que tiene las mejores condiciones de viabilidad, infraestructura, costos energéticos y logísticos necesarios para poder aprovechar esta oportunidad.

PROPUESTAS

A partir de la revisión de hallazgos se propone:

- La ampliación de infraestructura de parques industriales en las diferentes regiones de Tabasco.
- Generar programas profesionales con orientación a logística de transporte, ejecutivos aduanales, gestión comercial internacional.
- Generar proyectos orientados a mejora de infraestructura carretera, portuaria, ferroviaria y aérea en el estado de Tabasco.
- Fortalecer el sistema de seguridad pública en la entidad con el propósito de proteger las inversiones interesadas en el desarrollo de parques industriales.
- Difundir incentivos fiscales para generar oportunidades de inversión en el estado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ancarani, A., Di Mauro, C., y Mascali, F. (2015). *Backshoring strategy: A theoretical framework*. *Operations Management Research*, 8(3–4), 85–98.
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA). (2024). *Informe anual de la industria automotriz en México*. Recuperado de <https://www.amia.com.mx>.
- Bailey, D., y De Propris, L. (2014). *Reshoring and its limits: the UK automotive case*. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 7(3), 379–395. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu019>
- Bank of America. (2023). *Nearshoring in Mexico: Industrial Parks and Investment Opportunities*. Recuperado de <https://www.bankofamerica.com>.
- Bank of America. (2023). *Nearshoring and its economic impacts in Latin America*. Retrieved from <https://www.bofaml.com>
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC). (junio de 2022). www.cmic.org.mx. <https://shre.ink/bhJz>
- Chase, R.B., Jacobs, F.R. y Aquilano, N.J. (2006). *Operations management for competitive advantage*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2023). *Nearshoring en México: opciones diversas para el escalamiento industrial*. <https://repositorio.cepal.org>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2023). *Informe sobre desarrollo energético y nearshoring en México*. <https://www.cfe.mx>.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2024). *Tarifas eléctricas en México*. <https://www.cfe.mx>
- Domínguez, R., y Brown, J. (2015). *Factores de competitividad en la industria manufacturera mexicana*. *Revista Latinoamericana de Economía*, 36(2), 45–67.
- Ellram, L. M., Tate, W. L., y Petersen, K. J. (2013). *Offshoring and reshoring: An update on the manufacturing location decision*. *Journal of Supply Chain Management*, 49(2), 14–22. <https://doi.org/10.1111/jscm.12019>
- Escobar, S. (2023). *Disponibilidad de parques industriales en México*. *Informe Industrial*, 12(1), 5–12.
- European Business School. (s.f). *Costo de producción*. <https://www.ceupe.com/blog/costo-de-produccion.html>
- Fernández, L., y Ramírez, M. (2017). *Proximidad geográfica y ventajas competitivas en la industria mexicana*. *Estudios Económicos*, 32(1), 89–104.
- Foley, J. (1996). *Global logistics and supply chain management*. *Journal of Business Logistics*.

- Fratocchi, L., Ancarani, A., Barbieri, P., Di Mauro, C., Nassimbeni, G., Sartor, M., Vignoli, M., y Zaroni, A. (2016). Motivations of manufacturing reshoring: An interpretative framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(2), 98–127. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2014-0131>
- Galván, J. (2023). Beneficios del nearshoring en la región norte de México. *Revista de Comercio Internacional*, 45(3), 67–78.
- Gereffi, G. (2021). What does the COVID-19 pandemic teach us about global value chains? The case of medical supplies. *Journal of International Business Policy*.
- González, P., et al. (2018). Infraestructura logística y nearshoring en México. *Revista de Comercio Exterior*, 68(4), 23–35.
- Hanson, G. H. (2021). *The rise of nearshoring and reshoring in global value chains. Journal of Economic Perspectives*. McGraw-Hill Irwin. Eleventh edition.
- Huntington, S. P. (1997). *El choque de civilizaciones y la reconfiguración del orden mundial*. Barcelona: Ediciones Paidós. (Título original: *The Clash of Civilizations and the Remaking of World Order*, publicado en inglés en 1996 por Simon & Schuster).
- Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO]. (2023). *Nearshoring: Transformación del mercado industrial y su impacto en la vivienda y el empleo*. Informe especial. Recuperado de <https://imco.org.mx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). *Red Nacional de Caminos*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx>
- Kaplan, R. D. (2015). *La venganza de la geografía: Cómo los mapas condicionan el destino de las naciones*. Barcelona: RBA Libros.
- Kinkel, S. (2014). Future and impact of backshoring—Some conclusions from 15 years of research on German practices. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 63–65.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. y Malhotra, M.K. (2013). *Administración de operaciones. Procesos y cadena de suministro*. Pearson. Décima edición.
- López, R. (2020). Políticas laborales y desarrollo industrial en México. *Revista de Economía Aplicada*, 28(1), 101–118.
- Martínez, C. (2022). Costos de transporte terrestre en México. *Revista Transporte y Logística*, 15(2), 33–48.
- Martínez, J., y Pérez, A. (2019). Riesgos en la cadena de suministro global. *Logística y Negocios Internacionales*, 12(3), 55–72.
- Navarro, C., y Hernández, F. (2016). Factores culturales en la internacionalización de empresas mexicanas. *Revista de Negocios Internacionales*, 21(2), 77–90.

- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). *Harnessing nearshoring opportunities in Mexico by boosting productivity and fighting climate change*. <https://www.oecd.org>.
- Render, B., y Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones*. Pearson. Novena edición.
- Ríos, G., et al. (2017). *Innovación tecnológica y manufactura avanzada en México*. *Ingeniería Industrial*, 39(3), 145–160.
- Santander Open Academy. (2024). *Investigación cualitativa y cuantitativa: características, ventajas y limitaciones*. <https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/cualitativa-y-cuantitativa.html>.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2023). *Incentivos fiscales para la inversión en el sureste mexicano*. <http://www.gob.mx/shcp>.
- Secretaría de Marina (SEMAR). (s.f.). *Infraestructura aeroportuaria en México*.
- Secretaría de Marina (SEMAR). (s.f.). www.semar.gob.mx. <https://shre.ink/bhVt>
- Stentoft, J., Mikkelsen, O. S., y Jensen, J. K. (2016). *Flexicurity and relocation of manufacturing*. *Operations Management Research*, 9(3), 133–144
- Tate, W. L., Ellram, L. M., Schoenherr, T., y Petersen, K. J. (2014). *Global competitive conditions driving the manufacturing location decision*. *Business Horizons*, 57(3), 381–390.
- TIP México. (6 de mayo de 2024). <https://transportenearshoring.mx/casos-de-exito-del-nearshoring/>
- Tracer (2024). <https://www.tracer.mx/blog-legal/antecedentes-evolución-y-oportunidades-del-nearshoring-en-las-relaciones-comerciales-entre-méxico-y-estados-unidos>. [\[tracer.mx\]](https://www.tracer.mx)
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2024). *La Venganza de la Geografía*. Material académico.
- Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM]. (2024). www.unam.mx. Obtenido de <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/15/7437/2.pdf>
- Wilson, C. (2020). *US-Mexico economic relations: Trends, issues, and implications*. Congressional Research Service.
- Zabludovsky, K. (2022). *Nearshoring in Mexico: Opportunities and obstacles for sustainable development*. *Mexican Journal of Political Economy*.

Capítulo XVIII

GESTIÓN SOSTENIBLE DEL CAPITAL DE TRABAJO

Montserrat Romero Sánchez
Rosa Isela Solorzano Rivera
Norma Angélica Hernández Gómez

RESUMEN

La gestión sostenible del capital de trabajo es clave para que las empresas equilibren su eficiencia financiera con la responsabilidad ambiental y social. Este enfoque permite administrar activos y pasivos a corto plazo mediante prácticas responsables en el manejo de efectivo, inventarios, cuentas por cobrar y cuentas por pagar. Al adoptar esta estrategia, las empresas no solo incrementan su rentabilidad, sino que también responden a las demandas de mercados más conscientes de la sostenibilidad. El objetivo es analizar cómo las empresas pueden aplicar prácticas sostenibles en la gestión del capital de trabajo, optimizando recursos sin comprometer su impacto ambiental. La investigación, basada en una metodología documental y cualitativa, revisa literatura y estudios de caso sobre estrategias sostenibles en la administración de inventarios, mejora de la liquidez mediante relaciones éticas con los clientes y reducción de costos operativos a través de un uso eficiente del efectivo. Los resultados sugieren que implementar la economía circular reduce desperdicios y maximiza la reutilización de materiales. Además, las relaciones con clientes comprometidos con la sostenibilidad mejoran los plazos de pago, lo que incrementa la liquidez. El ahorro energético y la disminución de costos operativos aumentan los recursos financieros disponibles, abriendo oportunidades para financiamiento sostenible, como los bonos verdes. En conclusión, la gestión sostenible del capital de trabajo optimiza operaciones a corto plazo y posiciona a las empresas como líderes en sostenibilidad, reforzando su rentabilidad y compromiso social. Es necesario el uso de tecnologías limpias, la participación de todos los departamentos en el proceso de sostenibilidad, la capacitación del personal y priorizar a proveedores sostenibles, fortaleciendo la cadena de suministro.

Palabras clave: Gestión sostenible, Capital de trabajo, Sostenibilidad

Introducción

La gestión sostenible del capital de trabajo ha evolucionado en los últimos años, consolidándose como un enfoque integral que permite a las empresas optimizar sus finanzas a corto plazo sin comprometer sus valores de responsabilidad ambiental y social. Tradicionalmente, la gestión del capital de trabajo se ha centrado en asegurar la liquidez y rentabilidad mediante la administración de activos y pasivos corrientes, tales como el efectivo, los inventarios, las cuentas por cobrar y las cuentas por pagar. Sin embargo, la creciente conciencia social y ambiental, sumada a las regulaciones y expectativas del mercado, ha impulsado a las organizaciones a buscar soluciones que vayan más allá de la rentabilidad inmediata, promoviendo prácticas que reduzcan el impacto ambiental y fortalezcan su reputación en un mercado cada vez más comprometido con la sostenibilidad.

La sostenibilidad en el capital de trabajo significa, entre otras cosas, adoptar estrategias como la economía circular en la administración de inventarios, prácticas éticas en las relaciones comerciales y el uso eficiente de los recursos energéticos y financieros. Este enfoque innovador no solo contribuye a la reducción de costos y mejora de márgenes, sino que también permite a las empresas acceder a nuevas oportunidades de financiamiento, como los bonos verdes y otros recursos orientados a proyectos responsables (Martínez y Vargas, 2023). Esta investigación tiene como objetivo analizar cómo las empresas pueden aplicar prácticas sostenibles en la gestión del capital de trabajo, optimizando recursos sin comprometer su impacto ambiental.

En el marco de este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) analizar la aplicación de la economía circular en inventarios; (2) evaluar las relaciones éticas en cuentas por cobrar y pagar.; y (3) proponer estrategias de capacitación para prácticas sostenibles. Este estudio responde a la necesidad de adoptar una visión integral que combine eficiencia financiera y sostenibilidad, aportando valor tanto a las operaciones internas de las empresas como a su entorno social y ambiental. Al entender cómo la sostenibilidad puede integrarse en la gestión del capital de trabajo, las empresas tienen la oportunidad de innovar en sus procesos financieros, reducir su impacto ambiental y responder a las demandas de un mercado cada vez más consciente. Además, al comprometerse con la sostenibilidad en sus operaciones diarias, las organizaciones no solo mejoran sus indicadores financieros a corto plazo, sino que fortalecen su competitividad y resiliencia frente a cambios regulatorios y a la presión de los consumidores.

DESARROLLO

El capital de trabajo representa la capacidad de una empresa para operar en el corto plazo y cubrir sus obligaciones financieras de manera eficaz, y se calcula como la diferencia entre los activos circulantes (como efectivo, inventarios y cuentas por cobrar) y los pasivos circulantes (deudas a corto plazo y cuentas por pagar). Este indicador no solo refleja la liquidez de la empresa, sino también su habilidad para responder a cambios en la demanda y mantener la estabilidad financiera. Una gestión eficiente del capital de trabajo es esencial para evitar problemas de flujo de efectivo que puedan poner en riesgo la operación diaria o, incluso, la supervivencia de la empresa. La falta de capital de trabajo suficiente puede forzar a las empresas a buscar financiamiento externo de emergencia, lo cual puede aumentar sus costos y afectar su rentabilidad.

La sostenibilidad en el capital de trabajo implica no solo asegurar la liquidez y eficiencia financiera, sino también gestionar estos recursos de manera que se minimice el impacto negativo en el entorno y se promueva un desarrollo social positivo. Las prácticas sostenibles buscan reducir el consumo de recursos naturales, disminuir los desechos y fomentar el uso responsable de materiales, en especial en el manejo de inventarios y el ciclo de efectivo (Gómez y Hernández , 2021). De hecho, empresas que integran criterios de sostenibilidad en sus decisiones de capital de trabajo no solo aseguran su viabilidad a largo plazo, sino que también responden a las crecientes demandas de los consumidores y reguladores que prefieren organizaciones con una clara responsabilidad ambiental (López, 2019). La relevancia de este enfoque sostenible va en aumento debido a la escasez de recursos y al incremento de regulaciones ambientales que exigen que las empresas demuestren su compromiso con la sostenibilidad.

Una gestión del capital de trabajo que considere la sostenibilidad puede tener un impacto significativo en la eficiencia operativa de la empresa. En el manejo de inventarios, por ejemplo, implementar un sistema de economía circular que maximice la reutilización de materiales reduce tanto el costo de los inventarios como los residuos generados, lo que a su vez disminuye la huella ecológica de la empresa. La economía circular representa un cambio de paradigma que busca no solo el aprovechamiento total de los recursos, sino también la implementación de sistemas de reciclaje y recuperación de materiales. Las empresas que adoptan este enfoque pueden lograr una ventaja competitiva en sectores con alta competencia y regulación ambiental, dado que pueden optimizar sus operaciones y obtener mejores resultados financieros a través de prácticas sostenibles.

En cuanto a la administración del efectivo, la sostenibilidad también implica una gestión ética de las cuentas por cobrar y las relaciones con los clientes. Empresas que establecen términos de pago justos y flexibles suelen mejorar sus relaciones con los clientes, lo que se traduce en una mejora de la liquidez y un menor riesgo de incumplimiento de pagos (Martínez y García , 2020). Además, estas prácticas de transparencia y equidad fomentan una mayor confianza de los stakeholders y fortalecen la reputación corporativa. Esto es especialmente relevante en mercados donde los consumidores y los inversionistas buscan empresas comprometidas con la responsabilidad social y ambiental.

Las cuentas por pagar representan otra área clave en la gestión del capital de trabajo con impacto directo en la sostenibilidad. Una empresa que mantiene relaciones éticas con sus proveedores, comprometiéndose a pagar puntualmente y fomentando prácticas justas, puede fortalecer su cadena de suministro y contribuir a la estabilidad económica de sus socios comerciales (Gómez y Hernández, 2021). Al priorizar proveedores que compartan valores de sostenibilidad, la empresa fomenta un modelo de negocio colaborativo, donde cada eslabón de la cadena trabaja en conjunto para reducir el impacto ambiental. Por ejemplo, las empresas pueden buscar proveedores que minimicen su consumo de energía o utilicen materiales reciclados, promoviendo así una cadena de valor responsable y alineada con los principios de sostenibilidad (López, 2019).

La integración de sostenibilidad en las cuentas por pagar también beneficia la liquidez de la empresa, al permitir acuerdos que aseguren tanto la estabilidad financiera de la empresa como el bienestar de los proveedores. La creación de términos de pago justos y transparentes puede ayudar a mejorar la previsibilidad de flujos de efectivo y reducir las disputas comerciales, optimizando así la administración del capital de trabajo. Esto no solo mejora las relaciones con los proveedores, sino que también contribuye a la eficiencia de los procesos operativos de la empresa.

Incorporar sostenibilidad en el capital de trabajo no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también representa un valor agregado en el contexto social y ambiental. Estudios recientes han demostrado que las empresas que adoptan prácticas sostenibles, como el uso de tecnologías limpias y políticas de ahorro energético, pueden reducir significativamente sus costos operativos, lo que aumenta los recursos financieros disponibles para inversión en innovación (Martínez y García , 2020). Esto también se traduce en un menor impacto ambiental, lo cual es altamente valorado por los consumidores y la comunidad.

Otro de los beneficios notables es la mejora en la reputación y el atractivo de la empresa para inversionistas interesados en la sostenibilidad. Actualmente, existe una creciente demanda de bonos verdes y financiamiento sustentable que premia a las empresas que integran prácticas sostenibles en su operación. Al adoptar estrategias de sostenibilidad en el capital de trabajo, las empresas aumentan su capacidad para atraer financiamiento favorable y acceder a fondos que apoyen sus proyectos. Además, este enfoque sostenible fortalece la lealtad del cliente y genera una ventaja competitiva en el mercado, ya que muchos consumidores están dispuestos a elegir productos de empresas responsables con el medio ambiente (Rodríguez y Pérez, 2021).

A pesar de los beneficios, implementar prácticas sostenibles en la gestión del capital de trabajo también conlleva desafíos significativos, especialmente en términos de inversión inicial y adaptación organizativa. Para muchas empresas, el cambio hacia la sostenibilidad puede requerir la reestructuración de procesos y la capacitación de empleados para incorporar prácticas sostenibles en su rutina diaria (Gómez y Hernández, 2021). Sin embargo, estos desafíos pueden superarse mediante una planificación adecuada y el compromiso de todos los niveles de la organización.

La sostenibilidad se convierte así en un eje central de la estrategia empresarial, y su adopción exige no solo la implementación de políticas adecuadas, sino también el liderazgo para fomentar una cultura organizacional orientada al desarrollo sostenible.

En el futuro, se espera que la sostenibilidad sea cada vez más relevante en la gestión del capital de trabajo, debido al aumento de regulaciones ambientales y la mayor presión por parte de los inversionistas. Las empresas que logren integrar prácticas sostenibles de manera efectiva estarán mejor posicionadas para enfrentar los cambios en el entorno económico y las demandas de una sociedad que valora el compromiso social y ambiental. La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) como Pilar en la Gestión Sostenible del Capital de Trabajo. La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) se ha consolidado como un elemento fundamental para la sostenibilidad empresarial, impactando tanto la gestión del capital de trabajo como la relación con los distintos grupos de interés. Esta responsabilidad va más allá de las normativas tradicionales y se centra en el compromiso de las empresas con el bienestar social, económico y ambiental, influyendo de manera directa en el capital de trabajo al priorizar prácticas éticas y sostenibles en cada aspecto de la operación (Pérez y González, 2021). Este enfoque no solo fortalece la imagen y reputación de la

empresa, sino que también incrementa su atractivo ante clientes y proveedores que valoran el compromiso ético, contribuyendo a una mayor estabilidad y solidez financiera.

Integrar la RSC en la administración del capital de trabajo implica una revisión y optimización de los recursos que minimice el impacto negativo sobre el entorno. En términos de inventarios, una empresa socialmente responsable puede adoptar estrategias de economía circular que maximicen la reutilización de materiales, reduciendo los desperdicios y el impacto ambiental (Vázquez, 2019). Esta filosofía en la gestión de inventarios no solo permite una reducción en costos, sino que también potencia el ciclo de vida de los productos y materiales utilizados, lo que se traduce en una menor dependencia de recursos naturales y en una mejora de la relación con consumidores conscientes de la sostenibilidad.

La relación ética y responsable con los proveedores también es un aspecto crítico de la RSC en el capital de trabajo. Las empresas que eligen trabajar con proveedores comprometidos con prácticas sostenibles fomentan una cadena de suministro que respalda los valores de la empresa y fortalece la relación a largo plazo. Esta selección de proveedores responsables puede mejorar la previsibilidad de costos y asegurar un suministro estable, especialmente en tiempos de volatilidad económica y escasez de recursos.

Uno de los efectos más notorios de la RSC en el capital de trabajo es la mejora en la relación con los clientes, especialmente en las cuentas por cobrar. Las empresas que implementan políticas de responsabilidad social suelen desarrollar relaciones de confianza con sus clientes, lo cual puede traducirse en términos de pago más justos y flexibles. Este tipo de relación ética mejora la reputación de la empresa y refuerza la fidelidad del cliente, lo que reduce el riesgo de incumplimiento y contribuye a una mejor gestión de la liquidez. Una gestión de liquidez eficiente, basada en prácticas de RSC, no solo asegura la estabilidad financiera de la empresa, sino que también le permite enfrentar los desafíos del mercado de manera sostenible.

Además, la RSC promueve la implementación de prácticas transparentes y de responsabilidad en las cuentas por cobrar, fomentando que los clientes mantengan relaciones de colaboración a largo plazo. Estas relaciones son esenciales para mejorar la previsibilidad de los flujos de efectivo y permitir una planificación estratégica que apoye los objetivos financieros de la empresa sin comprometer su compromiso con la sostenibilidad.

Otro beneficio clave de integrar la RSC en la gestión del capital de trabajo es el acceso a financiamiento sostenible, como los bonos verdes y otros instrumentos financieros que premian a las empresas comprometidas con el medio ambiente y la sociedad. Este tipo de financiamiento suele ofrecer mejores condiciones para empresas que cumplen con estándares de sostenibilidad, permitiéndoles obtener capital a menores tasas de interés y con condiciones de pago favorables (Gómez, 2021). Al cumplir con estos criterios, las empresas incrementan su competitividad y optimizan sus recursos, ya que tienen acceso a fondos que respaldan proyectos de impacto social y ambiental positivo.

Esta ventaja competitiva es crucial en un mercado cada vez más regulado y con consumidores que valoran las prácticas responsables. Las empresas que logran acceso a estos financiamientos pueden invertir en tecnología, innovación y procesos sostenibles, creando un círculo virtuoso en el que la RSC y la sostenibilidad financiera se refuerzan mutuamente.

La Responsabilidad Social Corporativa se convierte en un pilar esencial en la gestión sostenible del capital de trabajo, impactando de manera positiva en la rentabilidad, la reputación y la eficiencia operativa de la empresa. Al implementar prácticas éticas y responsables, las empresas no solo aseguran una mejor relación con clientes y proveedores, sino que también se posicionan de manera competitiva en el mercado. La RSC permite que las empresas accedan a financiamiento sostenible, reduzcan sus costos y optimicen su capital de trabajo, contribuyendo al desarrollo de una economía más consciente y respetuosa con el entorno y la sociedad.

La Teoría de los Stakeholders en la Gestión del Capital de Trabajo Sostenible. La teoría de los stakeholders, también conocida como teoría de los grupos de interés, se enfoca en la relación que tiene una organización con todos los grupos que influyen o son afectados por sus decisiones y operaciones. Formulada inicialmente por Edward Freeman en la década de 1980, esta teoría argumenta que las empresas deben reconocer y gestionar los intereses de todos sus stakeholders, no solo los de los accionistas, para garantizar su éxito y sostenibilidad a largo plazo (Freeman, *et al.*, 2020).

En el contexto de la gestión del capital de trabajo sostenible, esta teoría adquiere gran relevancia, ya que proporciona un marco que fomenta prácticas empresariales éticas y responsables, promoviendo el equilibrio entre la eficiencia financiera y la sostenibilidad social y ambiental. Al integrar las

necesidades de distintos stakeholders, como clientes, proveedores, empleados y la comunidad en general, las empresas pueden mejorar su rendimiento y su impacto social, incrementando el valor a largo plazo de su capital de trabajo.

Uno de los primeros pasos en la aplicación de la teoría de los stakeholders es la identificación de estos grupos, que suelen incluir tanto actores internos (accionistas, empleados, directivos) como externos (clientes, proveedores, comunidad, reguladores). Cada grupo de stakeholders tiene intereses y expectativas distintas con respecto a la empresa, y sus demandas pueden afectar la gestión del capital de trabajo. Por ejemplo, los proveedores pueden esperar pagos justos y a tiempo, mientras que los clientes buscan productos y servicios de calidad que respeten criterios sostenibles. Las empresas que consideran estos intereses pueden establecer relaciones de mayor confianza y cooperación, lo cual contribuye a una mejor administración de recursos financieros y operativos (Jones, 2019).

Integrar los intereses de los stakeholders en la gestión del capital de trabajo permite a las empresas operar de manera más eficiente y sostenible. En el caso de los clientes, una relación sólida y ética puede mejorar los plazos de cobro, optimizando las cuentas por cobrar y la liquidez de la empresa. En cuanto a los proveedores, las empresas pueden negociar condiciones favorables que les permitan optimizar su inventario y garantizar el flujo de materiales de manera estable, sin interrupciones costosas. Este tipo de cooperación también reduce los riesgos y facilita la planificación financiera, aspectos críticos en la gestión de capital de trabajo (Carroll y Shabana, 2020).

La teoría de los stakeholders también impulsa la sostenibilidad ambiental en la gestión de capital de trabajo. Las empresas que operan en línea con las expectativas de grupos ambientalmente conscientes implementan políticas y prácticas sostenibles que minimizan el impacto ambiental, por ejemplo, mediante la reducción de desperdicios y la adopción de prácticas de economía circular. Así, la teoría de los stakeholders permite a las empresas alinear su capital de trabajo con los principios de sostenibilidad ambiental y responder a las demandas de la sociedad en su conjunto, especialmente en contextos de creciente sensibilización ecológica (Freeman, *et al.*, 2020).

Además de contribuir a una mejor gestión del capital de trabajo, la teoría de los stakeholders ofrece ventajas competitivas en términos de reputación y fidelización de clientes. Las empresas que se comprometen a satisfacer las expectativas de sus stakeholders no solo fortalecen sus relaciones

comerciales, sino que también ganan una ventaja significativa en mercados que valoran la responsabilidad social y ambiental. Esta ventaja reputacional se traduce en un mayor atractivo para inversionistas, acceso a financiamiento sostenible y la posibilidad de establecer relaciones comerciales a largo plazo, elementos cruciales para el capital de trabajo (Freeman, *et al.*, 2020).

La teoría de los stakeholders es un marco clave en la gestión sostenible del capital de trabajo, ya que permite a las empresas integrar las expectativas de los distintos grupos de interés en su operación diaria. Al equilibrar las demandas de estos grupos, las empresas no solo mejoran su desempeño financiero, sino que también incrementan su sostenibilidad y responsabilidad social, posicionándose de manera favorable en el mercado. En este sentido, la teoría de los stakeholders fomenta una gestión del capital de trabajo que responde a los desafíos actuales de sostenibilidad, mientras refuerza la competitividad y la reputación corporativa de las empresas.

Economía Circular y su Aplicación en la Gestión de Inventarios. La economía circular es un modelo económico diseñado para minimizar el desperdicio y maximizar la reutilización de materiales y productos a lo largo de su ciclo de vida, en contraste con el modelo lineal tradicional de “extraer, producir y desechar.” Este enfoque promueve la sostenibilidad mediante la prolongación de la vida útil de los productos, el reciclaje y la reutilización de recursos, y la reducción de residuos. En el ámbito empresarial, la economía circular se convierte en una estrategia de gran relevancia para la gestión del capital de trabajo, ya que permite optimizar los inventarios, reducir costos y, al mismo tiempo, disminuir el impacto ambiental de las operaciones.

La economía circular implica un rediseño fundamental de los procesos productivos y de la administración de recursos, centrándose en sistemas cerrados donde los productos y materiales se mantienen en uso el mayor tiempo posible. Al aplicar este concepto, las empresas buscan implementar prácticas sostenibles que no solo optimicen la eficiencia de los recursos, sino que también generen valor a largo plazo. En la gestión de inventarios, la economía circular ofrece ventajas significativas al permitir una planificación más estratégica y una reducción de la dependencia de nuevos materiales, especialmente en industrias donde los costos de los insumos pueden ser elevados (MacArthur, 2019).

La gestión de inventarios bajo un modelo de economía circular permite a las empresas reducir el volumen de inventario necesario mediante prácticas como el reciclaje, la reutilización de piezas y

componentes, y la optimización del ciclo de vida de los productos. Esto implica la implementación de técnicas como la remanufactura, donde los productos desechados son reacondicionados para su uso, y el rediseño de productos para facilitar su desensamblaje y posterior reutilización de partes. Al mantener un inventario basado en productos que pueden ser reintroducidos en el ciclo de producción, las empresas logran una reducción en los costos de almacenamiento y el espacio necesario para mantener sus existencias, al tiempo que disminuyen el impacto ambiental de la producción (Geissdoerfer, *et al.*, 2019).

Para aplicar los principios de economía circular en la gestión de inventarios, las empresas pueden implementar varias estrategias prácticas:

1. Reducción y minimización del desperdicio: Las empresas pueden priorizar el uso de materiales sostenibles o reutilizables y evitar el exceso de producción. Esto ayuda a reducir el desperdicio y a conservar recursos valiosos, impactando positivamente tanto en los costos como en la sostenibilidad del inventario (Lacy y Rutqvist, 2019).
2. Reciclaje y reutilización de materiales: Los materiales que han sido desechados o considerados como subproductos pueden ser reciclados o reutilizados en el proceso de fabricación. Esto no solo permite reducir costos, sino que también disminuye la dependencia de recursos nuevos, optimizando el inventario existente.
3. Remanufactura y reparación: Al remanufacturar o reparar productos existentes, las empresas pueden reducir la necesidad de producir nuevos bienes. En este proceso, productos o piezas desechadas son reacondicionadas para ser vendidas nuevamente, mejorando la eficiencia del inventario.
4. Colaboración con proveedores y clientes: La economía circular requiere una cadena de suministro colaborativa. Establecer relaciones con proveedores que compartan valores sostenibles y con clientes que acepten productos reacondicionados puede reducir el inventario necesario y apoyar el flujo de materiales dentro de un sistema circular.

Beneficios Financieros y Operativos de la Economía Circular en la Gestión de Inventarios. Implementar un modelo de economía circular en la gestión de inventarios permite a las empresas beneficiarse de múltiples maneras:

1. Reducción de costos: Al reutilizar materiales y reducir la dependencia de insumos nuevos, las empresas logran reducir significativamente sus costos de producción e inventario. Esto no solo permite optimizar el capital de trabajo, sino que también mejora la competitividad de la empresa al ofrecer productos sostenibles a un costo menor.
2. Mejora en la eficiencia de recursos: La economía circular maximiza la vida útil de los productos y minimiza el desperdicio. Esto lleva a una gestión de inventarios más eficiente, donde se necesita menos espacio y menos materiales para mantener las operaciones.
3. Posicionamiento en el mercado: Las empresas que implementan prácticas de economía circular en sus inventarios se posicionan favorablemente en mercados donde los consumidores valoran la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental. Esta ventaja competitiva atrae tanto a clientes conscientes de la sostenibilidad como a inversionistas interesados en prácticas responsables.

A pesar de sus numerosos beneficios, la adopción de un modelo de economía circular en la gestión de inventarios presenta ciertos desafíos. Entre estos, se incluyen los costos iniciales de implementación, la necesidad de rediseñar productos y procesos, y la coordinación con una cadena de suministro circular que respalde estas prácticas. Además, es crucial que las empresas mantengan un enfoque flexible y que ajusten sus estrategias de inventario a las condiciones de mercado y a las necesidades de sus stakeholders.

La economía circular representa un modelo innovador y sostenible que ofrece a las empresas una nueva perspectiva sobre la gestión de inventarios. Al adoptar prácticas de reutilización, reciclaje y reducción de desperdicios, las empresas no solo optimizan sus recursos financieros, sino que también responden a las crecientes demandas de responsabilidad ambiental y social. Esta estrategia convierte a la gestión de inventarios en un componente clave para la sostenibilidad y el capital de trabajo, y proporciona una base sólida para construir una operación eficiente y resiliente en el largo plazo.

MÉTODO

Este estudio emplea una metodología documental y cualitativa orientada a analizar cómo las prácticas de sostenibilidad impactan la gestión del capital de trabajo, con un enfoque específico en áreas como el manejo de inventarios, cuentas por cobrar, cuentas por pagar y el flujo de efectivo. Al tratarse de un tema que abarca aspectos financieros, sociales y ambientales, el método cualitativo permite un análisis profundo de literatura y datos relevantes, lo cual facilita identificar tendencias, beneficios, y desafíos de la implementación de estrategias sostenibles en el contexto de la economía circular y la responsabilidad social corporativa. El estudio utilizó una investigación documental basada en fuentes secundarias, como artículos académicos y estudios de caso, para analizar la relación entre sostenibilidad y capital de trabajo en el contexto de la economía circular y la teoría de los stakeholders. Se seleccionaron fuentes actuales (2019-2024) revisadas por pares y de organizaciones reconocidas. La recopilación de datos se realizó en bases académicas con términos clave específicos.

El análisis cualitativo identificó temas recurrentes, como la gestión ética de cuentas por cobrar y la reducción de desperdicios, evaluando su impacto en la eficiencia financiera y sostenibilidad a largo plazo. Para validar los resultados, se contrastaron con ejemplos reales, aunque el estudio tiene la limitación de depender de fuentes secundarias. La metodología cumple con estándares éticos y contribuye a comprender cómo integrar la sostenibilidad en la gestión del capital de trabajo, destacando tanto los beneficios como los desafíos de este enfoque.

RESULTADOS

La gestión sostenible de inventarios implica prácticas que minimizan el impacto ambiental y promueven la eficiencia económica. Las estrategias incluyen la economía circular, que reduce desperdicios y optimiza niveles de inventario, la trazabilidad de productos para transparencia en la cadena de suministro, y la colaboración con proveedores sostenibles. Estas prácticas no solo mejoran la rentabilidad, sino que también aumentan la lealtad del cliente y ayudan a cumplir normativas de sostenibilidad.

La gestión ética de cuentas por cobrar mejora la lealtad del cliente y la liquidez, y reduce riesgos legales. En cuentas por pagar, fortalece las relaciones con proveedores y alinea a la empresa con la

responsabilidad social, lo que facilita el acceso a financiamiento sostenible. Estrategias clave incluyen la comunicación transparente, la capacitación del personal y políticas claras de gestión.

Ambos enfoques permiten a las empresas optimizar su capital de trabajo mientras refuerzan su compromiso ético y sostenibilidad, posicionándolas como líderes responsables en el mercado.

CONCLUSIONES

La gestión sostenible del capital de trabajo se ha consolidado como una estrategia fundamental para las empresas en un entorno cada vez más consciente de la importancia de la sostenibilidad. A lo largo de este análisis, se ha evidenciado que, al integrar prácticas sostenibles en la administración de activos y pasivos a corto plazo, las organizaciones no solo pueden optimizar su rendimiento financiero, sino también contribuir a un desarrollo más responsable y ético en el contexto económico, social y ambiental.

Los beneficios obtenidos a través de la gestión sostenible del capital de trabajo son significativos y abarcan tanto aspectos financieros como no financieros. Desde la reducción de costos operativos y la mejora en la liquidez hasta la mejora de la reputación corporativa y la satisfacción de los empleados, las empresas que adoptan un enfoque sostenible están mejor posicionadas para enfrentar los retos del futuro. Este compromiso no solo les permite cumplir con las expectativas de un mercado más exigente, sino que también les proporciona una ventaja competitiva en un mundo donde la sostenibilidad es cada vez más valorada.

Asimismo, se ha destacado la importancia de implementar tecnologías limpias, establecer relaciones éticas en la gestión de cuentas por cobrar y pagar, y promover la economía circular en la administración de inventarios. Estas prácticas no solo ayudan a minimizar el impacto ambiental, sino que también fomentan una cultura de responsabilidad y compromiso social dentro de la organización. En conclusión, la gestión sostenible del capital de trabajo no es simplemente una tendencia pasajera, sino una necesidad imperante para las empresas que buscan prosperar en el siglo XXI. A medida que el panorama empresarial evoluciona, las organizaciones que reconozcan y actúen sobre la interconexión entre la sostenibilidad y su modelo de negocio estarán mejor preparadas para garantizar su éxito a largo plazo. Por lo tanto, se recomienda que las empresas sigan explorando e implementando prácticas sostenibles en todas sus operaciones, asegurando así un futuro más próspero y responsable tanto para sí mismas como para la sociedad en general.

PROPUESTAS

1. *Inversión en tecnologías limpias:* Es clave que las empresas adopten tecnologías que reduzcan el consumo energético y optimicen la administración de recursos, como la digitalización de procesos contables y el uso de software de gestión de inventarios.
2. *Relaciones éticas en cuentas por cobrar y pagar:* Fomentar relaciones justas con clientes y proveedores optimiza la liquidez y genera confianza en el mercado. Priorizar proveedores sostenibles refuerza una cadena de suministro responsable.
3. *Economía circular en inventarios:* Adoptar principios de economía circular, como el reciclaje y la reutilización, reduce costos y contribuye a la sostenibilidad. Monitorear estos procesos permite evaluar su impacto.
4. *Capacitación del personal:* Formar al personal en prácticas sostenibles crea una cultura organizacional alineada con objetivos de sostenibilidad, incrementando el compromiso de todos los empleados.
5. *Métricas de sostenibilidad:* Integrar indicadores ambientales y sociales en las decisiones financieras, como el índice de huella de carbono y eficiencia energética, permite una visión integral del desempeño.

Actividades futuras

1. *Desarrollar una estrategia de sostenibilidad:* Implementar una estrategia de cinco a diez años, revisándola anualmente para adaptar prácticas sostenibles al contexto empresarial.
2. *Auditorías de sostenibilidad:* Realizar auditorías periódicas para identificar oportunidades de mejora y ajustar prácticas.
3. *Investigación de nuevas tecnologías:* Monitorear tecnologías emergentes que faciliten la sostenibilidad y evaluar su implementación.
4. *Alianzas estratégicas:* Colaborar con otras organizaciones y entidades gubernamentales para fortalecer el compromiso con la sostenibilidad y acceder a recursos y conocimientos clave.

Estas recomendaciones y actividades futuras permiten a las empresas alcanzar un equilibrio entre rentabilidad y sostenibilidad, garantizando su competitividad en el mercado a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carroll, A., y Shabana, K. (2020). *The business case for corporate social responsibility: A review of concepts, research and practice. International Journal of Management Reviews*, 85-105.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, y Hultink, E. J. (2019). *The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production*, 757-768.
- Freeman, R., Harrison, J., y Wicks, A. (2020). *Gestión para los stakeholders: Supervivencia, reputación y éxito. Yale University Press*.
- Gómez, A. (2021). *Reconstrucción de la gestión del conocimiento en el campo educativo. Revista Electrónica Educare*, 1-20.
- Gómez, J., y Hernández, P. (2021). *La familia: sujeto y objeto del cambio social. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357616330_La_familia_sujeto_y_objeto_del_cambio_social*
- Jones, T. (2019). *ERIN: un método práctico para evaluar el riesgo de desórdenes musculoesqueléticos. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/359221007_ERIN_un_metodo_practico_para_evaluar_el_riesgo_de_desordenes_musculoesqueleticos*
- Lacy, P., y Rutqvist, J. (2019). *De desecho a riqueza: La ventaja de la economía circular. Palgrave Macmillan*.
- López, M. (2019). *Responsabilidad social y ética en la gestión financiera. Editorial Profesional Contable*.
- MacArthur, E. (2019). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation*.
- Martínez, R., y García, L. (2020). *La sostenibilidad en la gestión del capital de trabajo. Revista de Finanzas Corporativas*, 44-65.
- Martínez, R., y Vargas, C. (2023). *La sostenibilidad como ventaja competitiva en la administración del capital de trabajo. Finanzas Sostenibles*, 214-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rfs.2023.214>
- Pérez, M., y González, S. (2021). *Impacto de las plataformas digitales en el aprendizaje colaborativo: análisis de casos y prácticas exitosas. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*.

Rodríguez, Y., y Pérez, E. (2021). Ergonomic Intervention in a Colombian Manufacturing Company: Successes and Failures. Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021), 273-280.

Vázquez, R. (2019). Abordaje del trabajo social en violencia de género. Revista Científica Multidisciplinar Generando, 45-60.

Capítulo XIX

LA CONTABILIDAD GUBERNAMENTAL EN MÉXICO Y TABASCO COMO INSTRUMENTO DE SOSTENIBILIDAD: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PERSPECTIVAS REGIONALES

Ricardo Maglioni Montalvo
Luis Arturo Vázquez Cuj

RESUMEN

La contabilidad gubernamental es clave para promover la transparencia, la rendición de cuentas y la sostenibilidad en la gestión de los recursos públicos. Este trabajo realiza una revisión bibliográfica sobre la implementación de la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) en México, con un enfoque particular en el estado de Tabasco. A través del análisis de literatura académica y normativa, se identifican avances en la armonización contable, así como los retos persistentes en los niveles estatal y municipal. El estudio destaca la relevancia de adoptar sistemas de información homogéneos y de fortalecer la profesionalización para consolidar la sostenibilidad financiera y mejorar la rendición de cuentas. Finalmente, se proponen estrategias que integran tecnología y normativas internacionales para abordar las limitaciones actuales y promover un desarrollo regional sostenible.

Palabras clave: Contabilidad gubernamental, rendición de cuentas, transparencia.

Introducción

La contabilidad gubernamental es mucho más que un sistema técnico de registros; es un mecanismo esencial para garantizar la transparencia, la rendición de cuentas y el uso eficiente de los recursos públicos. En una sociedad donde la confianza en las instituciones es fundamental, contar con sistemas financieros sólidos y transparentes es un requisito

indispensable. En México, la aprobación de la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) en 2008 representó un paso significativo hacia la armonización y modernización de los procedimientos contables en los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal. Esta ley busca establecer un marco común que facilite la homogeneidad en la presentación de informes financieros, permitiendo no solo evaluar el desempeño gubernamental, sino también fortalecer la participación ciudadana en la supervisión del uso de los recursos públicos (Sour, 2011; Montijo, 2018).

La contabilidad gubernamental, definida como el conjunto de registros, procedimientos y principios técnicos destinados a captar, clasificar e interpretar las transacciones financieras de los entes públicos, no opera de manera aislada. Su implementación está alineada con tendencias internacionales promovidas por organismos como la Federación Internacional de Contadores (IFAC) y las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS), que buscan establecer estándares globales para garantizar la transparencia y la eficiencia en la gestión pública (Gámez et al., 2015; Saeteros-Molina et al., 2020; Santini, 2023;). Estas normas, al promover la estandarización de la información financiera, son clave para construir la confianza ciudadana y fortalecer la gobernanza.

En el contexto mexicano, el Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC) desempeña un papel estratégico en la implementación de la LGCG. Este organismo establece lineamientos y plazos específicos para asegurar que las entidades gubernamentales, independientemente de su nivel o ubicación, cumplan con los estándares contables establecidos. Sin embargo, la diversidad administrativa y las limitaciones presupuestarias han generado brechas significativas en la implementación de la LGCG, especialmente en municipios pequeños y zonas rurales, donde la falta de personal capacitado y herramientas tecnológicas dificulta la adopción de estos estándares (Plata Sandoval, 2016; Santini, 2023;).

Por otro lado, la contabilidad gubernamental trasciende el ámbito financiero al ser una herramienta clave para promover la sostenibilidad. Una gestión adecuada de los recursos públicos, respaldada por principios contables armonizados, permite identificar áreas críticas en la asignación y uso de fondos. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también minimiza riesgos de corrupción y fomenta la confianza ciudadana. Según Mancilla y

Plascencia (2014), la existencia de datos claros y precisos es fundamental para la planeación estratégica de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible, especialmente en contextos donde los recursos son limitados y las demandas sociales son crecientes.

DESARROLLO

El estado de Tabasco, conocido por su riqueza natural y su dependencia económica del sector petrolero, representa un caso especial en el que la contabilidad gubernamental puede convertirse en un catalizador de cambio. Enfrentando desafíos económicos y sociales significativos, la implementación efectiva de la LGCG puede ser clave para diversificar su economía y garantizar una gestión más transparente y equitativa de los recursos. Asimismo, estados como Sonora han demostrado que la aplicación rigurosa de principios contables puede traducirse en avances significativos en la transparencia y eficiencia operativa, aunque también han revelado desafíos inherentes a la falta de recursos en municipios pequeños (Santini, 2023).

En este capítulo se analizan los avances alcanzados, los desafíos pendientes y las oportunidades para fortalecer la contabilidad gubernamental en México, con un enfoque particular en los estados de Tabasco y Sonora. A través de una revisión bibliográfica, se busca ofrecer una perspectiva integral sobre el impacto de la armonización contable en la sostenibilidad financiera y la transparencia gubernamental. Además, se presentan recomendaciones prácticas que abordan las necesidades específicas de las regiones analizadas, subrayando la importancia de la capacitación continua, la modernización tecnológica y la adopción de estándares internacionales como las IPSAS.

MÉTODO

Este trabajo se desarrolló a través de una metodología cualitativa basada en la revisión documental de fuentes primarias y secundarias. Se analizaron los marcos normativos clave, como la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG), las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS) y los lineamientos emitidos por el Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC). Estas fuentes permitieron comprender el

contexto normativo y los estándares globales en los que se enmarca la contabilidad gubernamental.

Además, se incluyeron estudios empíricos que analizan la implementación de la LGCG en entidades estatales y municipales, con un enfoque particular en los estados de Tabasco y Sonora. Se recopilaron informes, resultados financieros y artículos académicos publicados en los últimos diez años. Estos documentos permitieron identificar patrones, retos y oportunidades comunes en la aplicación de los estándares contables en contextos locales.

El enfoque comparativo fue de gran ayuda para contrastar la situación en Tabasco y Sonora, dos regiones con características socioeconómicas distintas. Mientras que Tabasco enfrenta desafíos relacionados con su dependencia del sector petrolero y la necesidad de diversificación económica, Sonora ha mostrado avances importantes en municipios medianos y grandes, aunque persisten rezagos en áreas rurales (Santini, 2023). Este análisis permitió no solo evaluar el grado de cumplimiento de las disposiciones normativas, sino también explorar estrategias efectivas para superar las limitaciones identificadas.

La metodología aplicada se fundamenta en enfoques cualitativos descritos por Creswell (2014), quienes destacan la relevancia de combinar análisis documental con estudios de caso para obtener una visión holística. Esto permitió construir una base sólida para proponer recomendaciones orientadas a mejorar la implementación de la LGCG y su alineación con estándares internacionales.

La relevancia de la contabilidad gubernamental y las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS)

La contabilidad gubernamental representa un pilar fundamental en la construcción de sistemas gubernamentales transparentes y responsables. Este enfoque no solo facilita la rendición de cuentas ante los ciudadanos, sino que también fortalece la legitimidad de las instituciones públicas al garantizar que los recursos sean utilizados de manera eficiente y orientados hacia el desarrollo sostenible.

La adopción de las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS) ha tenido un impacto significativo en la evolución de la contabilidad gubernamental a nivel global. Estas normas, promovidas por la Federación Internacional de Contadores (IFAC), han establecido un marco común para la presentación y evaluación de la información financiera en el sector público, permitiendo una mayor comparabilidad entre países y regiones. Según Sour (2015), las IPSAS han mejorado notablemente la calidad de los informes financieros, proporcionando a los tomadores de decisiones datos más precisos y oportunos para planificar políticas públicas y gestionar recursos con un enfoque de sostenibilidad. Asimismo, su implementación promueve la confianza de los organismos internacionales y de los ciudadanos al mostrar un compromiso con la transparencia y la rendición de cuentas.

En el contexto de países como México, la adopción de estas normas representa un desafío y una oportunidad. Por un lado, su implementación exige la modernización de los sistemas contables y la capacitación del personal en los diferentes niveles de gobierno. Por otro lado, ofrece una guía clave para la estandarización de procesos, lo que resulta esencial para armonizar las prácticas contables entre entidades federativas y municipios.

El Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC) y la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG)

En México, la creación del Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC) y la promulgación de la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) han sido fundamentales para avanzar en la armonización de la contabilidad gubernamental, el CONAC actúa como el principal organismo encargado de establecer los lineamientos técnicos y plazos específicos que guían la implementación de la LGCG. Entre sus objetivos principales se encuentran garantizar la comparabilidad de la información financiera entre los tres niveles de gobierno (federal, estatal y municipal) y facilitar la integración de la contabilidad gubernamental mexicana con los estándares internacionales.

Sin embargo, la efectividad del CONAC depende en gran medida de los recursos técnicos y humanos disponibles en cada entidad gubernamental. Santini (2023) subraya que, aunque se han logrado avances significativos en la armonización contable, persisten desafíos

relacionados con la falta de capacitación del personal y la infraestructura tecnológica adecuada, especialmente en municipios pequeños y zonas rurales. Esta disparidad limita la capacidad de las entidades gubernamentales para cumplir plenamente con los lineamientos establecidos por la LGCG y para adoptar las mejores prácticas contables promovidas por las IPSAS.

A pesar de estos desafíos, el papel del CONAC sigue siendo decisivo para promover la modernización de los sistemas contables y la consolidación de una cultura de transparencia. Iniciativas como la capacitación del personal gubernamental, la promoción de la tecnología y la creación de sistemas de monitoreo y evaluación han demostrado ser estrategias efectivas para abordar las limitaciones actuales.

En conclusión, la contabilidad gubernamental y las IPSAS son herramientas indispensables para fortalecer la transparencia, la rendición de cuentas y la sostenibilidad en el sector público. Aunque su implementación enfrenta retos significativos, los avances logrados en México gracias al CONAC y la LGCG demuestran que es posible construir sistemas contables más robustos y alineados con estándares internacionales. Con un compromiso continuo hacia la mejora de la capacidad técnica y la modernización tecnológica, estas herramientas pueden contribuir significativamente al desarrollo económico y social del país.

Desafíos y oportunidades en la implementación de la LGCG

A pesar de los avances logrados en la armonización contable mediante la Ley General de Contabilidad Gubernamental, su implementación enfrenta desafíos significativos que limitan su efectividad y alcance, estos retos no solo afectan la capacidad de las instituciones gubernamentales para cumplir con los estándares establecidos, sino que también generan brechas en la transparencia y la rendición de cuentas.

Gestión de la deuda pública

Un desafío crítico en la implementación de la LGCG es la gestión de la deuda pública, en estados como Baja California Sur, se ha identificado que la información financiera relacionada con el endeudamiento no siempre es precisa ni transparente, lo que complica la rendición de cuentas y dificulta la toma de decisiones financieras responsables (Mancilla y

Plascencia, 2014). La falta de datos claros sobre la deuda pública no solo debilita la confianza ciudadana, sino que también aumenta el riesgo de crisis financieras en las entidades que carecen de controles efectivos sobre el gasto público y los préstamos.

Capacitación del personal

La insuficiencia de personal capacitado es un obstáculo recurrente para la correcta implementación de la LGCG. Montijo (2018) señalan que, en muchos casos, los servidores públicos encargados de la gestión contable carecen de conocimientos técnicos actualizados o especializados en los lineamientos de la ley, además, la falta de programas de capacitación estructurados y la escasa coordinación entre los organismos gubernamentales agravan este problema, dejando a las entidades vulnerables a errores administrativos y al incumplimiento de los estándares contables.

Desigualdad en la implementación de la LGCG

Un problema recurrente en la implementación de la LGCG es la disparidad en su aplicación entre los diferentes niveles de gobierno, mientras que las entidades federales y estatales suelen contar con más recursos para modernizar sus sistemas contables, los municipios enfrentan mayores dificultades. Según Santini (2023), los municipios pequeños, en particular, sufren de limitaciones presupuestarias y administrativas, lo que retrasa la adopción de las normas contables y genera inconsistencias en la información financiera a nivel nacional.

Oportunidades para fortalecer la armonización contable

Aunque los desafíos son significativos, también existen oportunidades importantes que pueden ser aprovechadas para superar estas barreras y fortalecer la implementación de la LGCG:

Uso de tecnología avanzada

La tecnología desempeña un papel crucial en la mejora de los procesos contables. Sour (2011) destaca que la automatización de los sistemas de registro contable no solo aumenta la

eficiencia en el procesamiento de datos, sino que también mejora la precisión y confiabilidad de los informes financieros. La implementación de software especializado y plataformas pueden facilitar el cumplimiento de la LGCG y reducir la carga administrativa, especialmente en municipios con recursos limitados.

Adopción de las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público (IPSAS)

Las IPSAS representan un marco global que puede servir como guía para mejorar la calidad y comparabilidad de la información financiera en México. Estas normas no solo permiten estandarizar los procesos contables, sino que también fomentan la transparencia y la rendición de cuentas al proporcionar datos claros y consistentes (Sour, 2015). Además, su implementación puede fortalecer la confianza en las instituciones públicas al alinearlas con las mejores prácticas internacionales.

Fortalecimiento de la capacitación y la profesionalización

Invertir en la formación y profesionalización del personal gubernamental es una de las estrategias más efectivas para garantizar el cumplimiento de la LGCG. Programas de capacitación continua, respaldados por instituciones educativas y organismos internacionales, pueden cerrar la brecha de habilidades técnicas y promover una cultura de excelencia en la gestión contable. Según Montijo (2018), la profesionalización del personal es esencial para enfrentar los retos de la armonización contable, especialmente en municipios pequeños que carecen de recursos técnicos y humanos adecuados.

Promoción de la colaboración interinstitucional

Fomentar la cooperación entre los diferentes niveles de gobierno es esencial para reducir las desigualdades en la implementación de la LGCG. La creación de redes de apoyo técnico y administrativo puede ayudar a los municipios con menos recursos a adoptar las mejores prácticas contables. Además, el fortalecimiento del Consejo Nacional de Armonización Contable (CONAC) como ente coordinador puede facilitar la supervisión y asistencia técnica a las entidades más rezagadas.

Si bien los desafíos en la implementación de la LGCG han sido complejos, las oportunidades que ofrecen la tecnología, las normas internacionales, la capacitación y la colaboración interinstitucional representan un camino viable para avanzar hacia una contabilidad gubernamental más eficiente y transparente. Al aprovechar estas herramientas y estrategias, México puede no solo fortalecer la confianza en sus instituciones públicas, sino también sentar las bases para un desarrollo económico y social sostenible.

Caso de Estudio: Tabasco y Sonora

La implementación de la Ley General de Contabilidad Gubernamental en México presenta resultados heterogéneos dependiendo de las características socioeconómicas y administrativas de cada estado. Los casos de Tabasco y Sonora ilustran las oportunidades y desafíos en la adopción de estos lineamientos en contextos regionales específicos.

En Sonora, un estado con una economía diversificada que incluye actividades industriales, agrícolas y de servicios, se han observado avances significativos en la implementación de la LGCG. Un estudio comparativo realizado en 15 municipios identificó progresos en municipios medianos y grandes, donde se han logrado mejoras en la calidad y la uniformidad de los informes financieros gracias a la capacitación del personal administrativo y la modernización de los sistemas contables (Santini, 2023). Estas mejoras han permitido una mayor transparencia y rendición de cuentas, lo que refuerza la confianza ciudadana en las instituciones públicas.

Sin embargo, no todos los municipios han logrado los mismos niveles de avance, los municipios pequeños enfrentan rezagos significativos debido a la falta de recursos financieros y técnicos, lo que dificulta la adquisición de software especializado y la contratación de personal capacitado. Estas limitaciones generan disparidades en la calidad de los datos financieros y obstaculizan el cumplimiento de los estándares establecidos por la LGCG, la falta de coordinación interinstitucional también representa un desafío, ya que limita el acceso a programas de capacitación y asistencia técnica que podrían mejorar la armonización contable a nivel municipal.

Por su parte, Tabasco, un estado históricamente dependiente del sector petrolero, enfrenta retos específicos en la implementación de la LGCG, su economía, marcada por la fluctuación de los ingresos derivados del petróleo, representa un desafío en la planeación presupuestal y en la gestión del gasto público. Mancilla y Plascencia (2014) señalan que la falta de una planificación financiera integral y de sistemas de información dificulta la evaluación del impacto del gasto público y genera ineficiencias en la asignación de recursos.

Tabasco al igual que otros estados del país, presentan desafíos en términos de transparencia y rendición de cuentas, en específico en los municipios. Aunque la implementación de la LGCG ha promovido avances en la estandarización de los informes financieros, todavía persisten problemas relacionados con la falta de capacitación del personal y la infraestructura tecnológica insuficiente. Los ayuntamientos más pequeños enfrentan barreras similares a las de Sonora, con limitaciones en la adopción de tecnologías modernas.

Ambos casos subrayan la importancia de desarrollar estrategias diferenciadas para abordar los retos en la implementación de la LGCG. Por ejemplo, los municipios más pequeños podrían beneficiarse de un mayor apoyo técnico y financiero por parte del gobierno federal y estatal que faciliten la capacitación del personal y el acceso a tecnología moderna.

Los casos de Sonora y Tabasco ponen de manifiesto que la implementación efectiva de la LGCG requiere una comprensión profunda de los contextos locales. Aunque la ley establece un marco normativo uniforme, su éxito depende de la capacidad de las entidades gubernamentales para adaptarse a las demandas específicas de su entorno. Al combinar la modernización tecnológica, la capacitación continua y el fortalecimiento de la coordinación interinstitucional, los estados pueden superar los desafíos actuales y avanzar hacia una contabilidad gubernamental más transparente, eficiente y alineada con estándares internacionales.

CONCLUSIONES

La contabilidad gubernamental en México enfrenta retos significativos que requieren soluciones concretas y adaptadas a los diferentes niveles de gobierno. Para fortalecer su

implementación y garantizar que cumpla con su objetivo de promover la transparencia y la rendición de cuentas, se proponen las siguientes estrategias:

Capacitación continua: Es fundamental desarrollar programas de formación permanentes que fortalezcan las competencias del personal gubernamental en todos los niveles. Estos programas deben incluir capacitaciones sobre el uso de tecnologías avanzadas, interpretación de las Normas Internacionales de Contabilidad del Sector Público y actualizaciones normativas.

Modernización tecnológica: Invertir en sistemas automatizados de registro y análisis contable es una prioridad. La adopción de herramientas tecnológicas modernas permitirá mejorar la precisión y confiabilidad de la información financiera, al tiempo que reducirá la carga administrativa en los municipios más pequeños.

Fortalecer la supervisión: Vigilancia el cumplimiento de la LGCG mediante auditorías independientes y sistemas de monitoreo permanentes garantizará que las entidades gubernamentales cumplan con los estándares establecidos, la supervisión también debe estar acompañada de mecanismos de retroalimentación que permitan corregir desviaciones y mejorar los procesos.

En conclusión, aunque se han logrado avances significativos en la armonización contable en México, persisten retos importantes que requieren atención inmediata, la implementación efectiva de la LGCG es crucial para garantizar la transparencia y la rendición de cuentas, fomentar la confianza pública y promover un uso eficiente de los recursos públicos.

A través de la combinación de capacitación, uso de la tecnología, armonización internacional y supervisión efectiva, México puede consolidar un sistema contable que impulse el desarrollo sostenible y fortalezca la gobernanza en todos los niveles de gobierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Gámez, L., Joya, R., y Ortiz, M. (2015). Una mirada a la Ley General de Contabilidad Gubernamental Mexicana. *Revista Retos de la Dirección*, 9(2), 35-48. <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v9n2/rdir03215.pdf>
- Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG). (2008). *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre de 2008. Disponible en: <http://www.dof.gob.mx>.
- Mancilla Rendón, M. E., y Plascencia Cuevas, T. N. (2014). La contabilidad gubernamental y la rendición de cuentas del endeudamiento en el estado de Baja California Sur, México. *Lúmina*, 15, 56-70. <https://doi.org/10.30554/lumina.15.1073.2014>
- Montijo Esparza, D. M. (2018). Aplicación y evolución de la armonización contable gubernamental. *Trascender, contabilidad y gestión*, 9, 43-56. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i9.36>
- Plata Sandoval, J. A. (2016). Implementación de la armonización contable gubernamental en México. *El cotidiano*, 198, 27-30. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32546809004.pdf>
- Saeteros-Molina, A. B., Narváez-Zurita, C. I., y Erazo-Álvarez, J. C. (2020). La contabilidad gubernamental como herramienta de gestión de las instituciones públicas no financieras. *Koinonía*, 5(10), 225-247. <https://doi.org/10.35381/r.k.v5i10.694>
- Santini, F. J. (2023). Implementación de la Ley General de Contabilidad Gubernamental (LGCG) en los municipios de Sonora. *Biolex Revista Jurídica del Departamento de Derecho*, 15, 15(26). <https://doi.org/10.36796/biolex.v15i26.317>
- Sour, L. (2011). El Sistema de Contabilidad Gubernamental que mejorará la transparencia y la rendición de cuentas en México. *Revista mexicana de acceso a la información y protección de datos*, 1, 34-57. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/50457/1/MPRA_paper_50457.pdf
- Sour, L. (2015). Avances en la calidad de la información financiera del sector público en México a raíz de la LGCG. *Contaduría y Administración*, 62(3), 419-441. <https://www.cya.unam.mx>.

Capítulo XX

LA INCLUSIÓN FINANCIERA COMO HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN MÉXICO

Verónica Ramírez Cortés
Sandy Janet Sandoval Trujillo
Blanca Estela Hernández Bonilla

RESUMEN

En este trabajo se analiza el papel de la inclusión financiera como herramienta para el desarrollo sostenible en México, evaluando su impacto en el acceso a servicios financieros, la reducción de desigualdades de género y el fortalecimiento de las capacidades financieras de la población. Se empleó un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo, basado en el análisis de fuentes secundarias, incluyendo informes de organismos internacionales y nacionales.

Los resultados indican que, si bien ha habido avances en la bancarización y el acceso a productos financieros para mujeres, persisten brechas de género significativas. En 2022, la brecha en cuentas de captación favoreció a las mujeres, sin embargo, el acceso al crédito empresarial y a productos financieros especializados sigue estando dominado por los hombres. La digitalización financiera y las plataformas Fintech han demostrado ser herramientas eficaces para incluir a sectores vulnerables, aunque la educación financiera sigue siendo una barrera clave.

El estudio concluye que, para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS], particularmente el ODS 5 (igualdad de género) y el ODS 10 (reducción de desigualdades), es necesario fortalecer políticas de inclusión financiera con enfoque de género. Se recomienda ampliar los programas de educación financiera, adaptar productos a las necesidades de las mujeres y expandir la cobertura de instituciones financieras en comunidades marginadas y a pymes. Estas acciones pueden mejorar la equidad financiera y fomentar un desarrollo económico más inclusivo y sostenible en México.

Palabras clave: Desarrollo Sostenible, Equidad de género, Inclusión financiera, México.

Introducción

La dificultad del acceso a los servicios financieros en México ha sido una barrera para el crecimiento y desarrollo equitativo, afectando a los sectores vulnerables como las micro, pequeñas y medianas empresas (pymes), población rural, mujeres y personas de bajos ingresos considerándose incluso, un problema estructural. Según el Banco Mundial (2017), alrededor de la mitad de los adultos no bancarizados a nivel mundial son mujeres en pobreza que viven en zonas rurales o que se encuentran fuera de la fuerza laboral. En México, el 67% de las mujeres no tiene una cuenta en una institución financiera, y esta cifra es aún mayor entre aquellas que residen en áreas rurales (López-Rodríguez, 2021).

La inclusión financiera se ha convertido en un eje fundamental para el desarrollo económico y social, no solo a nivel nacional sino también global. El Banco Mundial (2022) refiere que es el acceso que tienen las personas y empresas a los productos y servicios financieros que cubren sus necesidades accediendo de forma responsable y sostenible sin importar su nivel de ingresos. Con base al Consejo Nacional para la Inclusión Financiera (CONAIF, 2016), la inclusión financiera hace referencia al acceso y uso de servicios financieros regulados con la normatividad vigente que garantizan y promueven la protección al consumidor.

Dicha institución reguladora destaca que la inclusión financiera contribuye al crecimiento económico y al bienestar, ya que dota a los involucrados de herramientas para mejorar la liquidez, prepararse y superar emergencias económicas, metas financieras y aprovechar oportunidades logrando una mejor salud financiera a través de la Política Nacional de Inclusión Financiera [PNIF] coordinada por el Consejo Nacional de Inclusión Financiera [CONAIF] y el Comité de Educación Financiera [CEF] y su relevante vínculo con el Plan Nacional de Desarrollo (CONAIF y CEF, 2020).

DESARROLLO

La adopción e implementación de esta política ha estado marcada por una combinación de estrategias regulatorias, digitales y de educación financiera, dirigidas a reducir la exclusión de sectores tradicionalmente marginados del sistema financiero. La creación del Consejo Nacional de Inclusión Financiera [CONAIF] en octubre de 2011 por Acuerdo Presidencial, fue incorporado a la Ley para Regular las Agrupaciones Financieras en 2014, encargado de coordinar políticas interinstitucionales para mejorar el acceso a servicios financieros fue la primera institución creada para este propósito (CNBV, 2016). En 2018, se promulgó la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera, conocida como la Ley Fintech, que sentó las bases para la digitalización de los servicios financieros y la regulación de empresas que ofrecen pagos electrónicos, financiamiento y crowdfunding (DOF, 2018).

Para junio 2015, CONAIF aprobó por primera vez la Política Nacional de Inclusión Financiera [PNIF] con el fin de fortalecer la salud financiera de los mexicanos mediante el acceso y uso eficiente del sistema financiero, así como, el acceso a la educación financiera para una toma de decisiones más informada. Entre los diversos objetivos específicos, se destaca el de promover la inclusión financiera de las personas en situación de vulnerabilidad, como mujeres, migrantes, personas adultas mayores, indígenas y población rural, garantizando su acceso a servicios financieros adecuados que contribuyan a su bienestar económico, con la visión de lograr que los mexicanos sean partícipes de los beneficios que generan el sistema financiero.

En este sentido, la Estrategia Nacional de Inclusión Financiera [ENIF] tiene como propósito cerrar las brechas de acceso a servicios financieros entre diferentes segmentos de la población; alineándose con ocho de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles aprobados en septiembre 2015 por la Organización de las Naciones Unidas para contribuir en la mitigación de la pobreza, la paz y la sostenibilidad, problemas considerados estructurales para la economía mexicana.

Figura 1. *Objetivos de Desarrollo Sostenibles impactados por la inclusión financiera en México.*



Nota: La figura destaca los ODS 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9 y 10 en los que impactan los resultados derivados de la inclusión financiera; e obtiene del documento en extenso de la Política Nacional de Inclusión Financiera.

Como se muestra en la Figura 1, la correcta ejecución de la política de inclusión financiera puede influir positivamente en problemas como la pobreza y de hambruna focalizados en mayor medida en zonas vulnerables de México. El correcto uso de servicios financieros a través de la educación impactará en la generación de trabajo, fortalecimiento del sector empresarial detonando crecimiento y desarrollo que impactará en la calidad de vida de la población.

A pesar de los estudios focalizados en materia de inclusión financiera es prioritario particularizar el análisis bajo una mirada desde las desigualdades revalorando su aportación en el cumplimiento de los ODS, específicamente el 5 y 10 en búsqueda de la reducción de las desigualdades, a casi una década de la aprobación de la PNIF y de la operación de la Agenda 2030. Derivado de lo anterior, el presente documento plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo puede la inclusión financiera contribuir al desarrollo sostenible en México, considerando su impacto en la reducción de las desigualdades de género para fomentar un crecimiento y desarrollo? El objetivo general es analizar el papel de la inclusión financiera como herramienta para el desarrollo sostenible en México, evaluando su impacto en el acceso a servicios financieros, la reducción de desigualdades de género y el fortalecimiento de las capacidades financieras de la población.

La equidad de género entendida como la justicia en el tratamiento de mujeres y hombres, de acuerdo con sus respectivas necesidades, para garantizar la igualdad de oportunidades y derechos en todos los ámbitos, incluyendo el económico y financiero. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015) destaca que, no solo es un derecho humano fundamental, sino también un pilar esencial para el desarrollo sostenible. En el contexto de la inclusión financiera, la equidad de género implica garantizar que tanto mujeres como hombres tengan igual acceso y uso de servicios financieros, lo que es crucial para su empoderamiento económico y social (Banco Mundial, 2022).

Para el Banco Mundial (2021), la inclusión financiera es un medio para reducir la pobreza y promover la igualdad de oportunidades, sin embargo, en México y a nivel internacional, las mujeres enfrentan barreras significativas para acceder a estos servicios, ya sea por restricciones culturales, falta de acceso a tecnología o la brecha digital, y condiciones socioeconómicas desiguales.

Al respecto, Roa (2020) citado por la Comisión Económica para América Latina (2022) señala que, la falta de autonomía para la toma de decisiones sobre sus ingresos y gastos, menores oportunidades laborales y salariales, actividades domésticas no remuneradas limitan el acceso para que las mujeres accedan o participen en los productos o servicios financieros. Demirgüç-Kunt, Klapper y Singer (2013) citados por CEPAL (2022) refieren en cuanto a la elegibilidad, que las mujeres tienen menos posibilidades para conseguir una identificación oficial, son discriminadas en la institución financiera, no tienen colaterales o no los pueden utilizar ya que necesitan la autorización del esposo o familiar para acceder a un producto financiero reduciendo estos ejemplos a las normas sociales impuestas por un arraigo familiar o sociocultural que preservan las brechas de género.

Diversos estudios han identificado el impacto positivo al propiciar escenarios de inclusión a los diversos temas financieros. Destaca el estudio del Banco Mundial, Global Findex Database el cual refiere que el acceso a cuentas bancarias y servicios de crédito formales mejora la capacidad de las familias mexicanas para afrontar emergencias económicas, emprender actividades productivas, educación y salud, reduciendo su dependencia a prestamistas informales que suelen cobrar tasas de interés elevadas (Demirgüç-Kunt *et al.* 2018).

Al respecto, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (2020) refiere que el ahorro y crédito formal a través de plataformas Fintech han incrementado la inclusión a pequeños comercios y a poblaciones excluidas del sistema financiero formal sobre todo a mujeres que viven en zonas marginadas una vez que fueron capacitados sobre el uso de estas plataformas. De igual forma, López-Rodríguez (2021) destaca que en regiones rurales de México la inclusión financiera, a través de la digitalización de pagos y la expansión de corresponsales bancarios ha transformado la dinámica económica local, empoderando a las comunidades y reduciendo su dependencia de prestamistas informales.

MÉTODO

Esta aportación se sustentó en un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo a fin de examinar el estado actual de la inclusión financiera en México y su relación con los objetivos del desarrollo sostenible específicamente relacionados a las inequidades de género. Se emplearon fuentes secundarias, como informes de organismos internacionales como el Banco Mundial, Fondo Monetario Internacional y el Banco Interamericano de Desarrollo, estudios de organismos gubernamentales como la CNBV, Banxico, CONDUSEF y artículos científicos que sustentan los avances y limitantes del tema. Taylor, *et al* (2015) señalan que el análisis descriptivo se centra en comprender las experiencias de los sujetos o en documentar políticas e iniciativas con base en la interpretación de datos, textos y discursos.

Los datos se obtienen a través del Panorama Anual de Inclusión Financiera ya que ofrece información detallada sobre el uso de servicios financieros en México. Esta encuesta, llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] y la Comisión Nacional Bancaria y de Valores [CNBV] la cual permite un análisis de los factores que influyen en la inclusión financiera, incluyendo género, nivel educativo, ubicación geográfica y nivel socioeconómico.

Se buscan hallazgos que permitan valorar la pertinencia de las estrategias, acciones y metas alcanzadas y su impacto en el cumplimiento de los ODS de la Agenda 2030.

RESULTADOS

Con relación al comportamiento que han tenido las cuentas de captación, la cual, es un instrumento financiero diseñado para que las personas puedan depositar y resguardar su dinero en una institución financiera formal; además de que permiten a los usuarios acceder a otros servicios como transferencias, pagos, y en algunos casos, créditos y seguros.

Tabla 1. *Evolución de las cuentas de captación desagregadas por sexo.*

Año	Mujeres	Hombres	Brecha (pp)
2018	58,153,388	59,631,058	1.3
2019	64,387,753	58,411,990	-4.9
2020	65,885,252	62,471,205	-2.7
2021	67,023,620	65,037,124	-1.5
2022	73,461,611	67,876,340	-4.0

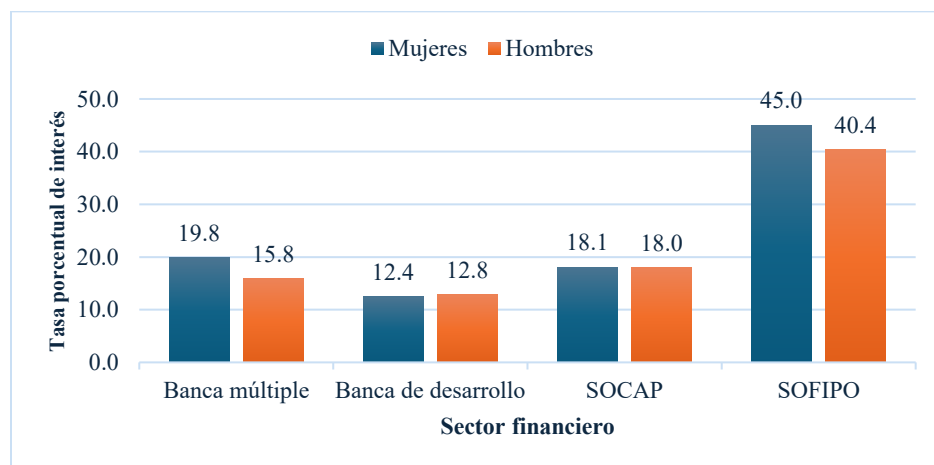
Nota: Esta tabla muestra la brecha de género sobre de las cuentas de captación del sistema financiero reportadas por la CNBV (2018-2022).

En la tabla anterior, se muestra en 2022 una brecha del cuatro por ciento a favor de las mujeres, visualizando durante el 2019 una brecha mayor de casi el cinco por ciento. Este comportamiento promedio porcentual a favor las mujeres, también se presenta en la cartera de créditos con cuatro puntos porcentuales, sin embargo, por el tipo de institución que lo otorga, se identifica que por cada 100 créditos que otorga la banca de desarrollo, 72 de ellos, los otorgaron a hombres.

No obstante, en 2022 la tasa de interés que ofrece el sector de la banca de desarrollo y las SOFIPOS a las mujeres es 4 puntos base mayor con relación a los hombres a diferencia del resto de instituciones que muestran una diferencia mínima en la tasa de interés como se observa en la Figura 2, destacando las altas tasas que cobran las Sociedades Financieras Populares, instituciones creadas a raíz de la política de inclusión financiera. Un dato importante a mencionar es que solo se incluyeron en el análisis, créditos ABCD, de automóvil, grupal, de nómina, personal y de vivienda para el sector de la banca y para las entidades de ahorro y crédito popular se consideraron los

créditos de consumo y vivienda debido a la diversificación de servicios financieros que prestan las instituciones.

Figura 2. Tasa de interés promedio ponderada por el saldo de los créditos por sector y sexo, 2022



Nota: Muestra la brecha de género sobre las tasas de interés reportadas por la CNBV (2022).

Con relación al tipo de cuentas que apertura tanto hombres como mujeres, se identifican brechas que es importante destacar, el tipo N1 orientada a personas que buscan una cuenta de uso sencillo, clientes que no realizan transacciones bancarias, el N2 es para clientes que deseen tener mayores beneficios financieros incluidos con su cuenta bancaria, el tipo N3 la ofrecen a personas con mayor poder adquisitivo que buscan una cuenta con beneficios adicionales por su alto volumen de transacciones bancarias. Como se muestra en la Figura 3, existe una diversificación entre el tipo de cuenta de cada 100 cuentas tipo N1, en promedio 60 de ellas corresponden a mujeres, mientras que del tipo N3 el comportamiento es contrario, es decir corresponden a hombres.

Se destaca un incremento de participación de las mujeres en la apertura de cuentas bancarias, sin embargo, a medida que cuentas más especializadas, de inversión o de plazo disminuye su participación. Con relación al saldo en las cuentas de igual forma se observa un comportamiento similar, en las cuentas básicas las mujeres tienen a tener un saldo promedio mayor, mientras que, en las cuentas de plazo, los hombres tienen una diferencia significativa en su saldo.

Tabla 2. Comportamiento de apertura de cuentas en banca múltiple por sexo, 2021- 2022

Tipo	Número de cuentas			Saldo promedio de cuentas			
	Año	% Mujeres	% Hombres	Brecha	Mujeres	Hombres	Brecha
Tradicionales	2021	49.6	50.4	0.7 pp	23,157	26,850	3,693
	2022	49.8	50.2	0.4 pp	23,828	28,090	4,261
N1	2021	59.4	40.6	-18.9 pp	811	895	84
	2022	60.8	39.2	-21.6 pp	902	3,634	2,732
N2	2021	48.8	51.2	2.4 pp	1,628	1,679	51
	2022	53.3	46.7	-6.6 pp	2,256	2,091	-166
N3	2021	46.4	53.6	7.1 pp	11,774	9,897	-1,877
	2022	37.7	62.3	24.5 pp	6,018	3,990	-2,027
Plazo	2021	59.0	41.0	-18.1 pp	317,214	441,201	123,986
	2022	58.2	41.8	-16.3 pp	401,849	558,044	156,195
Ahorro	2021	48.3	51.7	3.4 pp	30,073	26,136	-3,937
	2022	47.9	52.1	4.2 pp	27,805	24,080	-3,725

Nota: Esta tabla muestra la brecha de género sobre los tipos de cuentas en el sistema financiero formal por la CNBV (2021 - 2022).

Con relación a la banca de desarrollo durante el 2022, el 84 por ciento de cuentas de ahorro las abrieron mujeres, no obstante, el 75 por ciento de las cuentas de plazo corresponden a hombres, mientras que, en las Sociedades cooperativas de ahorro y crédito popular y las Sociedades financieras comunitarias durante el 2021 y 2022 reportan mayor apertura de cuentas para mujeres, en promedio, de cada 1000 cuentas, 550 son para mujeres y el resto para hombres esto dato refleja un resultado importante como parte de las estrategias de inclusión financiera para mujeres y en áreas vulnerables destacando los municipios de Santa Cruz Quilehtla, Tlaxcala, Santa Apolonia Teacalco, Tlaxcala, Coacoatzintla, Veracruz, San Pedro, Comitancillo, Oaxaca y San Andrés Duraznal, Chiapas.

Tabla 3. Comportamiento de los tipos de créditos de banca múltiple y por sexo, 2021- 2022

Tipo	Año	Número de créditos			Índice de cartera vencida (%)		Tasa promedio ponderada		Diferencia (pp)
		% Mujeres	% Hombres	Brecha	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	
Hipotecario	2021	38.8	61.2	22.5 pp	2.5	3.6	9.4	9.4	0.0
	2022	37.4	62.6	25.2 pp	2.5	2.7	9.8	9.7	0.0
Personal	2021	51.9	48.1	-3.7 pp	5.9	5.7	42.6	34.4	-8.2
	2022	52.1	47.9	-4.1 pp	5.1	4.7	44.3	36.6	-7.7
Nómina	2021	43.2	56.8	13.6 pp	1.7	2.5	26.2	26.7	0.5
	2022	43.6	56.4	12.9 pp	2.1	3.1	26.7	27.4	0.7
ABCD	2021	50.4	49.6	-0.7 pp	6.2	5.9	48.0	47.8	-0.2
	2022	50.8	49.2	-1.5 pp	5.1	4.7	48.6	48.5	-0.2
Automotriz	2021	45.0	55.0	10.0 pp	2.0	2.2	13.5	13.3	-0.1
	2022	44.8	55.2	10.4 pp	1.3	1.5	13.4	13.4	0.0
Grupal	2021	90.2	9.8	-80.5 pp	2.3	4.2	75.3	81.4	6.1
	2022	89.8	10.2	-79.6 pp	2.6	4.6	72.1	78.5	6.5

Nota: Esta tabla muestra la brecha de género según los tipos de créditos otorgados el sistema financiero formal por la CNBV (2021 - 2022).

Con base a los tipos de créditos como se muestra en la Figura 4, se identifica claramente que 9 de cada 10 mujeres se ven beneficiadas por un crédito grupo durante el periodo 2021 y 2022 específicamente de las instituciones de banca múltiple, esto ha beneficiado e impactado incluso en el tema de emprendimiento empresarial tanto de zonas urbanas como de zonas rurales a diferencia del otorgamiento de créditos sea hipotecario, de nómina o automotriz, donde en promedio 40 de cada 100 son otorgados a mujeres. Un aspecto destacado en esta tabla es el índice de cartera vencida, el cual se mantiene en niveles significativamente bajos, lo que sugiere que la estrategia de educación financiera aplicada a los créditos ha tenido un impacto positivo tanto en hombres como en mujeres. No obstante, aún existen áreas de oportunidad para las instituciones de este sector bancario, especialmente en la estructuración de tasas promedio ponderadas según el tipo de crédito y el género, donde se observan tasas significativamente más altas en los créditos personales y grupales para las mujeres.

Con relación al otorgamiento de tarjetas sea de crédito o de débito existe una brecha mínima entre hombres y mujeres en el mismo periodo. Sin embargo, este comportamiento no se presenta cuando se analiza al personal contratado por la banca múltiple y de desarrollo, solo 28 de cada 100 mujeres ocupan puestos de alta dirección, destaca la institución de banca múltiple Pagatodo, PG Morgan, Bank of América, y BBVA por reclutar en estos puestos de liderazgo a mujeres.

En 2022 la distribución de institución que otorgan créditos es altamente especializada, el 89 de cada 100 créditos son otorgados por la banca múltiple, 5 por una Sociedad Financiera popular, 4 por las Sociedades cooperativas de ahorro y préstamo y uno por la Banca de desarrollo, visualizando que la diversificación de las instituciones a casi 10 años de la PNIF es aún lenta para los desafíos existentes en la sociedad mexicana. Las instituciones que liderean el otorgamiento de crédito son Banco Azteca (25.62 por ciento), BBVA (19.27 por ciento), Citibanamex (15.03 por ciento).

Finalmente, con relación a los créditos empresariales otorgados por las instituciones de la banca múltiple en el cuarto trimestre de 2018 a 2022, se identificó que, en 2018 de cada 100 créditos otorgados, 66 los otorgaron a pymes y el resto a grandes empresas mientras que, en 2022, disminuyó a 38 a pymes y 62 créditos otorgados a grandes empresas. La tendencia observada sugiere una posible reasignación de crédito desde las pymes hacia las grandes empresas, posiblemente debido a un mayor riesgo financiero derivado de los efectos económicos por la pandemia por COVID 19 y las diferentes opciones de crédito que poco a poco se aperturan en el sistema financiero mexicano. Desde 2019, este sector bancario ha concentrado más recursos en las grandes empresas, probablemente debido a su menor riesgo crediticio y a mejores condiciones económicas, no obstante, la caída en el financiamiento a las pymes puede afectar su capacidad de crecimiento, inversión y generación de empleo, impactando en su competitividad y permanencia en el mercado.

CONCLUSIONES

Aunque estos indicadores muestran mejoras generales en la inclusión financiera a favor de las mujeres durante el 2021 y 2022, la persistencia de la brecha de género sugiere la necesidad de mayores esfuerzos y políticas focalizadas en áreas específicas. La equidad de género en el acceso

y uso de servicios financieros continúa siendo un desafío, particularmente, en el acceso a créditos formales, el ahorro y el uso de tecnologías digitales. La brecha en zonas rurales es particularmente notable sobre todo en algunos municipios de Oaxaca y Puebla, lo que subraya la importancia de desarrollar estrategias específicas para estas regiones.

Estos indicadores son fundamentales para evaluar el progreso hacia el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 5, que promueve la igualdad de género, y el ODS 10, que busca reducir las desigualdades. La inclusión financiera no solo facilita el acceso de las mujeres a los servicios financieros, sino que también las empodera económicamente, permitiéndoles tener mayor control sobre sus recursos y participar activamente en la economía formal.

PROPUESTAS

Para finalizar se presentan algunas recomendaciones para continuar fortaleciendo los resultados de la inclusión financiera en la equidad de género en México.

- Ampliar la cobertura de programas de educación financiera con enfoque de género para incrementar las iniciativas de educación financiera que estén adaptadas a las necesidades de las mujeres, particularmente en áreas rurales. Estas iniciativas deben ser accesibles, utilizar un lenguaje sencillo, y promover el uso de servicios financieros formales, incluidas cuentas de captación, crédito y ahorro.
- Fortalecer el acceso a servicios financieros digitales es crucial para mejorar la accesibilidad y capacitación en esta área. El aumento en el uso de plataformas móviles para servicios financieros puede ser una herramienta clave para reducir la brecha de género en zonas rurales y urbanas.
- Adaptar los productos financieros a las necesidades específicas de las mujeres para responder a las necesidades particulares de las mujeres, quienes a menudo tienen ingresos fluctuantes y realizan actividades económicas informales. Las instituciones financieras pueden diseñar productos más flexibles y accesibles, como cuentas sin requisitos elevados de apertura y créditos adaptados a pequeños negocios o emprendimientos liderados por mujeres.

- Aumentar la cobertura y penetración de las cooperativas de ahorro y crédito popular ya que juegan un papel fundamental en la inclusión financiera, especialmente en áreas donde las instituciones bancarias tradicionales no tienen presencia. Se recomienda ampliar la red de estas cooperativas y ofrecer productos financieros orientados al ahorro, el crédito y la inversión para mujeres cuidando las tasas de interés y otro tipo de comisiones.
- Continuar evaluando el impacto de las políticas de inclusión financiera en las mujeres a través de sistemas de monitoreo y evaluación para medir el impacto de la política de inclusión financiera con perspectiva de género.
- Es necesario establecer garantías que reduzcan el riesgo percibido por las instituciones financieras y otorguen créditos en condiciones favorables, inclusivas y equitativas, fomentando programas de financiamiento con tasas de interés competitivas y fortaleciendo una educación financiera que permita una mejor administración del crédito para los diferentes agentes económicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial (2017). *Panorama general de la inclusión financiera*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/financialinclusion/overview>
- Banco Mundial. (2022). *Women, Business and the Law 2022*. Washington D.C.: Banco Mundial. <https://hdl.handle.net/10986/36945>
- Comisión Nacional Bancario y de Valores [CNBV], (2016). *Consejo Nacional de Inclusión Financiera*. Recuperado en Consejo Nacional de Inclusión Financiera
- Comisión Nacional Bancaria y de Valores [CNBV], (2020). *Impactos de la inclusión financiera: ¿Cuáles son los impactos de la inclusión financiera en las personas y las empresas?* Recuperado de https://www.findevgateway.org/sites/default/files/publications/2020/es_estudio%20mexico.pdf
- Comisión Económica para América Latina [CEPAL], (2022). “La brecha estructural de inclusión financiera en México: una perspectiva territorial y del impacto de las normas sociales de género”, de Romero, I; López J.A. y Hess, S. Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/154/-*LC/MEX/TS.2022/22/*), Ciudad de México. Recuperado en <https://hdl.handle.net/11362/48262>
- Consejo Nacional de Inclusión Financiera [CONAIF], (2016). *Política Nacional de Inclusión Financiera*. PNIF 2016-2019
- Consejo Nacional de Inclusión Financiera [CONAIF] y Comité de Educación Financiera [CEF], (2020). *Política Nacional de Inclusión financiera*. Política Nacional de Inclusión Financiera
- Demirguc-Kunt, A., Klapper, L., Singer, D., Ansar, S., y Hess, J. R. (2018). *The Global Findex Database 2017 Measuring Financial Inclusion and the Fintech Revolution*. Washington, D.C. Banco Mundial. Recuperado en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/332881525873182837/The-Global-Findex-Database-2017-Measuring-Financial-Inclusion-and-the-Fintech-Revolution>
- Diario Oficial de la Federación (2018). *Ley para regular las instituciones de tecnología financiera*. DOF - Diario Oficial de la Federación
- López-Rodríguez, P. (2021). *La brecha de género en la inclusión financiera en México (Documento de trabajo No. 09/2021)*. Centro de Estudios Espinosa Yglesias. <https://ceey.org.mx/wp-content/uploads/2021/11/09-L%C3%B3pez-Rodr%C3%ADguez-2021.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: ONU. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible | Agenda 2030 | Gobierno | gob.mx* (www.gob.mx)

Política Nacional de Inclusión Financiera (2020).

Taylor, S. J., Bogdan, R., y DeVault, M. L. (2015). Introduction to Qualitative Research Methods: A Guidebook and Resource (4th ed.). Wiley. Introduction to Qualitative Research Methods | Wiley Online Books

Capítulo XXI

LAS MIPYMES: MOTOR DE LA ECONOMÍA MEXICANA

Ana Ruth Ulloa Pimienta
Rosa del Carmen Sánchez Trinidad
Aurora Ramírez Meneses

RESUMEN

Las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) son un grupo de empresas que integra más del 99.5 % de las constituidas en el país. representan las cualidades socioculturales y económicas de México, muestran al mundo un mosaico conformado por empresas familiares dedicadas a oficios ancestrales como tejidos de hilo, cerámica, talabartería, orfebrería, así como empresas productoras, de servicios turísticos, medicina alternativa, proveedoras, exportadoras y aquellas de industrias especializadas. contribuyen al fortalecimiento económico, promueven el desarrollo regional e impactan positivamente en la vida social. el presente estudio tiene por objetivo analizar las mipymes como motor de la economía mexicana, sustentado bajo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo a partir de una revisión documental e informes estadísticos del año 2020 - 2024. de los resultados se destacan la importancia de las empresas en sus diferentes tamaños y el valor que aportan al país, resaltando la participación de las mujeres propietarias y las acciones que se realizan de manera coordinada con los agentes público y privado para promover su crecimiento. dentro de los desafíos y oportunidades de estas unidades económicas se identificó la digitalización para optimizar el área comercial a través de la transformación tecnológica, estos medios digitales de ventas han desplazado a los tradicionales, situación que les favorece pues les abre una ventana para posicionar más productos en el mercado mismo que se han convertido en una necesidad para estas empresas que buscan ser competitivas y adaptarse a los constantes cambios y las demandas del mercado: local, regional y nacional

Palabras clave: Desafíos y Oportunidades, Economía mexicana, Productividad

Introducción

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) son un pilar fundamental de la economía mexicana. Representan alrededor del 99 % de todas las empresas en el país y generan aproximadamente el 72% de los empleos, lo que las convierte en un motor clave para el desarrollo económico y social.

Históricamente, las mipymes han enfrentado diversos desafíos, como el acceso limitado a financiamiento, la competencia con grandes corporaciones y la falta de capacitación. Sin embargo, su capacidad de adaptación y su cercanía a las comunidades les permiten jugar un papel crucial en la generación de empleo y en la promoción de la innovación. En el caso de México, este tipo de empresas contribuyen con el 52% del PIB y representan una parte significativa del tejido empresarial, desempeñando un papel crucial en la generación de empleo y la dinamización de los mercados.

Durante más de dos décadas se ha enfatizado la importancia de las mipymes como actores fundamentales en la economía mexicana. Según datos del INEGI (2020), estas empresas emplean alrededor de 27 millones de personas, lo que equivale al 68.4% del total de colaboradores del sector empresarial del país y las convierte en una fuente importante de empleo que contribuye de manera significativa al crecimiento económico.

La presente investigación tiene por objetivo analizar las mipymes como motor de la economía mexicana debido a ello su importancia radica en primer lugar a que estas empresas mexicanas no solo contribuyen a la generación significativa de empleos y a la generación de Producto Interno Bruto (PIB), sino también representa un papel fundamental en la diversificación de la economía y en la promoción del desarrollo regional. Al comprender su funcionamiento, se pueden identificar oportunidades para mejorar su productividad y, por ende, su capacidad para crear más empleos. Por ello fomentar su crecimiento y sostenibilidad es esencial para lograr un desarrollo económico más inclusivo y equitativo en México.

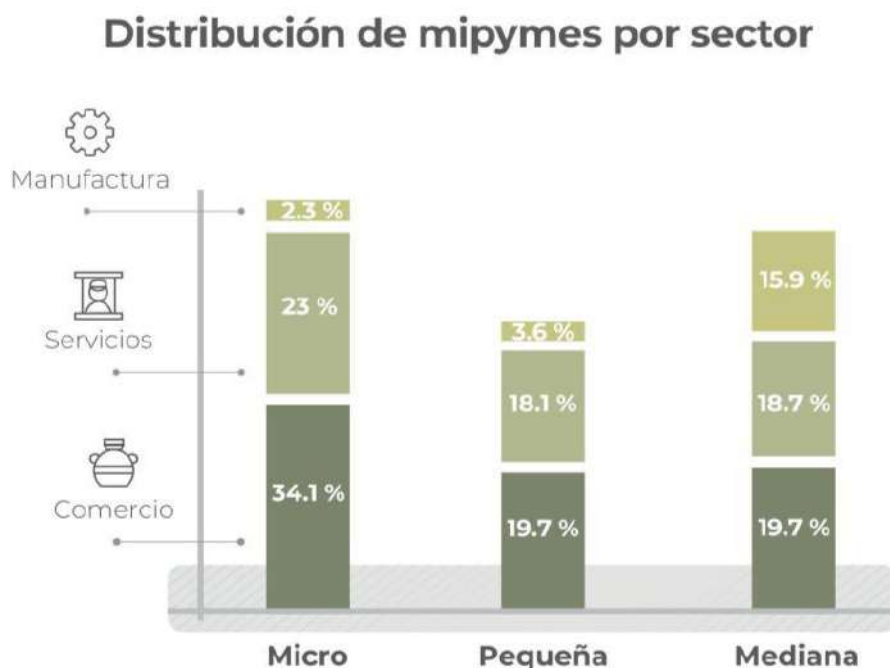
DESARROLLO

Las matrices empresariales de América Latina y el Caribe cuentan con una alta representatividad de micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes), tal como ocurre también en otras regiones del planeta. No obstante, estas empresas de escala reducida enfrentan una serie de retos para incrementar su productividad y competitividad. Por mipymes se puede entender como las micro, pequeñas y medianas empresas, un universo de por sí heterogéneo, no sólo por las diferencias de tamaño, sino porque se engloban en ellas los más variados rubros y actividades de la industria, el comercio, los servicios, la producción primaria y la producción de alto valor agregado (López, et al., 2014).

Las mipymes se vinculan con la gran empresa tanto en la producción como en la distribución de manera más eficiente, con una fuerza de trabajo intensiva, con menores costos laborales, en tanto las grandes empresas incorporan la innovación y el desarrollo tecnológico para aumentar la productividad, ser más competitivas y ampliar los mercados externos. Este tipo de empresas junto a los trabajadores constituyen el 98% de la población activa de las sociedades. Su ubicación, generalmente periférica, hace que contribuyan a la democratización de la economía, promoviendo el desarrollo de las comunidades y zonas alejadas. Además, son las micro, pequeñas y medianas empresas las que producen la mayor rentabilidad e ingresos del país.

México es una de las economías más grandes e importantes de América Latina. Entre los años 2013 y 2018, la cantidad de empresas, especialmente de pymes, aumentó significativamente en los 3 sectores más importantes de su economía: comercio, manufactura, servicios (Ver Figura 1). Es por ello que en América Latina las microempresas cumplen un rol fundamental para la población empresarial el cual genera estimaciones aproximadas del 24,98% de plazas de empleos formales, mientras que la desventaja que tienen las microempresas es, que se constituyen de forma informal, ligadas a la supervivencia, con poco conocimiento tributario, e incluso pueden estar sujetas a declives de flujo de efectivo o simplemente no son reconocidas públicamente (Boada et al., 2021, pág. 906).

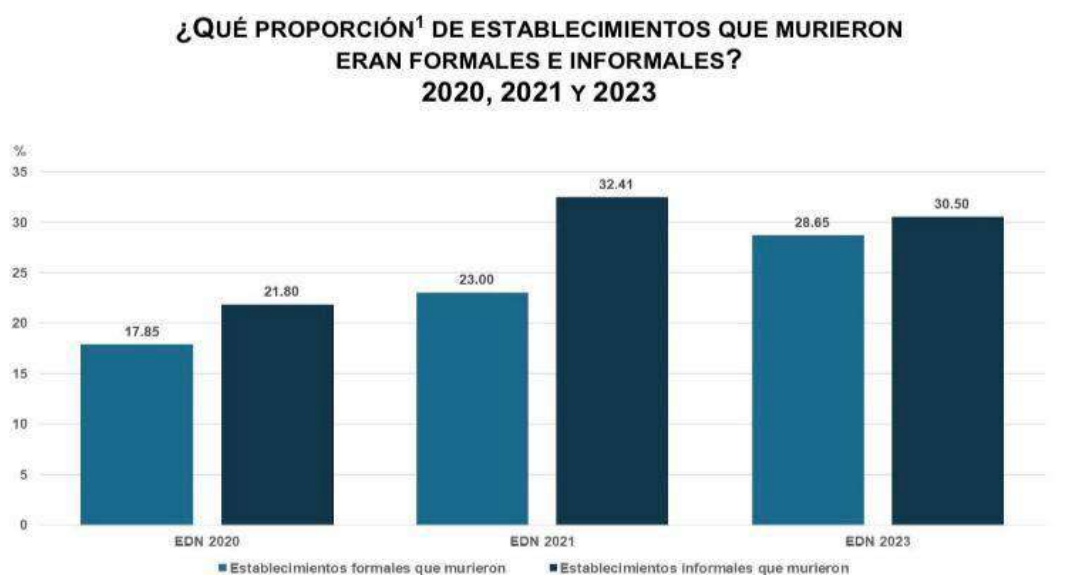
Figura 1. Sectores de mipymes en México.



Nota: con información del Censo Económico (2019).

La diversidad de las mipymes en México es notable, abarcando sectores como el comercio, los servicios y la manufactura. Es importante destacar que, al menos el 90% son de carácter familiar, lo que refleja la importancia de la tradición empresarial de generación en generación. Sin embargo, muchas mipymes tienen desafíos significativos que limitan su desarrollo y crecimiento. Uno de los principales desafíos que enfrentan estas empresas en México es la alta tasa de mortalidad empresarial. Se estima que, aproximadamente, el 52% de las mipymes no logran superar los dos años de vida, (COPARMEX, 2024).

En el gráfico 1, se observa cómo la proporción de muertes entre empresas informales fue menor de 2019 a 2023 que de 2019 a 2021. En los establecimientos formales, la proporción de muerte empresarial mantuvo un incremento.

Gráfico 1. *Mortalidad de las mipymes en México.*

Nota:

1 Las proporciones se calculan respecto a la población inicial que incluye a los establecimientos mipymes que reportaron los CE 2019, para los grandes sectores de manufacturas, comercio y servicios privados no financieros.

INEGI. EDN, 2020, 2021 y 2024.

Esta situación se debe a diversos factores, como la falta de acceso a financiamiento, la escasa capacitación empresarial, el rezago tecnológico y la limitada participación en mercados internacionales. Detrás de cada mipyme hay una historia de esfuerzo, dedicación y pasión. Son muchos los emprendedores mexicanos que, a pesar de los obstáculos, han logrado construir negocios exitosos y sostenibles, demostrando que la creatividad y la perseverancia son fundamentales para alcanzar el éxito empresarial. Uno de los retos primordiales para estas en el mercado actual es centrar sus esfuerzos en la productividad y competitividad, pretendiendo alcanzar las mejores posiciones en el mercado, marcando la diferencia ante la competencia, a través de una estrategia sólida y objetiva, con la combinación óptima de los recursos y capacidades para asegurar el logro de altos niveles de productividad (Saavedra et al., 2013).

Para Baraei y Mirzaei (2018) la productividad en las empresas, es un fenómeno que ha evolucionado en las últimas décadas, convirtiéndose en la actualidad en un factor importante en los países desarrollados o en desarrollo, consideran que una organización productiva es aquella que logra sus objetivos lo antes posible y con el menor costo, conduce a una mayor tasa de crecimiento económico y estilos de vida más altos para una sociedad, permite desarrollar su ventaja competitiva (Hakmani y Bashir, 2014).

Se puede entender a la productividad como la medida en que cada factor de producción se emplea adecuadamente, en el enfoque de ciencias económicas, la productividad incluye el uso eficaz y eficiente de las fuentes disponibles en el proceso de fabricación, con el objetivo que la economía de una sociedad alcance su máximo potencial de rendimiento (Rojas et al., 2018).

Dentro de estas aproximaciones, se deriva que, las organizaciones pueden producir de acuerdo con sus insumos disponibles y sus capacidades, si utiliza todos los recursos que dispone y obtiene un buen desempeño, está alcanzando la productividad. Tal como mencionan Fontalvo et al. (2017), la productividad está orientada a la forma en que se transforman los factores de producción de los bienes y servicios, pretende alcanzar la satisfacción total de los consumidores buscando altos estándares de productividad.

De acuerdo al INEGI (2015) con base a los índices de productividad obtenidos en la encuesta nacional sobre productividad y competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas realizada, describe que es la medida de la eficiencia utilizada para realizar una combinación de los factores productivos y los insumos para producir cierta cantidad de bienes y servicios, es decir, un incremento de la productividad, implica producir más con la misma cantidad de recursos para producir un volumen similar del producto (Sánchez et al., 2020).

Figura 2. *Mipymes mexicanas.*



Nota: datos aproximados con información del Censo Económico 2019, considerando unidades económicas.

En segundo lugar, las mipymes son esenciales para la diversificación de la economía. Al operar en diversos sectores, desde la manufactura hasta los servicios, contribuyen a la resiliencia económica y a la reducción de la dependencia de grandes industrias. Analizar su impacto permite a los formuladores de políticas diseñar estrategias que fomenten su crecimiento y sostenibilidad.

Además, estas empresas son un vehículo importante para la innovación y el emprendimiento. Al estudiar sus dinámicas, se pueden descubrir nuevas tendencias y oportunidades de mercado que beneficien tanto a los emprendedores como a los consumidores. Esto es especialmente relevante en un mundo en constante cambio, donde la adaptabilidad es clave para el éxito.

Por último, entender el papel de las mipymes en la economía mexicana también ayuda a abordar desigualdades regionales y sociales. Muchas de estas empresas están ubicadas en áreas rurales o en comunidades marginadas, y su fortalecimiento puede contribuir al desarrollo local y a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. Sin duda este tipo de empresa enfrentan desafíos y oportunidades en su permanencia en el mercado.

Tradicionalmente las mipymes enfrentan algunos desafíos adicionales en comparación con las grandes empresas para mantener sus operaciones, particularmente, debido a que tienen mayores costos operativos y menor flexibilidad financiera (Kottika et al., 2020). Las pymes se enfrentan a la responsabilidad de la pequeñez. Significa que cuanto más pequeña es la empresa, menos recursos controla típicamente, lo que la hace más vulnerable a eventos internos y externos, como la renuncia de un empleado eficiente a su trabajo, una disminución de las opciones de financiamiento, una reducción de la demanda debido a un competidor que ingresa al mercado o, una crisis que golpea la economía global (Eggers, 2020).

Desde una perspectiva financiera, diversos autores relacionan la poca solidez y perdurabilidad que presentan las Mipymes como consecuencia de su tamaño y estructura de propiedad, por lo que se vuelven particularmente vulnerables a los choques externos (Cowling et al., 2020).

Desafíos de las mipymes:

Falta de acceso a financiamiento: a menudo encuentran dificultades para obtener financiamiento debido a la falta de historial crediticio o garantías. Además, las instituciones

financieras tradicionales rechazan 6 de cada 10 solicitudes por la misma razón.

Competencia con grandes empresas: en comparación con las grandes corporaciones, pueden tener limitaciones en términos de producción, distribución y capacidad de negociación con proveedores. Además, a la hora de construir una reputación e imagen, las pequeñas y medianas empresas cuentan con menores recursos, por lo que competir en términos de publicidad se convierte en algo más complejo.

Burocracia y regulaciones: las regulaciones y procesos burocráticos pueden ser abrumadores, especialmente para las Mipymes con recursos limitados. Los requisitos para realizar ciertas transacciones o modificaciones al negocio, así como las cuestiones fiscales pueden convertirse en un verdadero dolor de cabeza, pero no por eso una situación insuperable.

Tecnología y Transformación Digital: la incorporación de tecnologías y procesos digitales puede ser lenta, lo que deja a algunas de estas empresas rezagadas en un entorno empresarial cada vez más digitalizado. Por esta razón, es vital que las mipymes cuenten con un mayor acceso a financiamiento, de esta forma se crea un círculo virtuoso: entre más recursos, más tecnología, entre más tecnología, más producción y por lo tanto mayores recursos.

Reformas laborales: si bien las empresas están conscientes de que en el centro de su operación residen sus trabajadores, debido a que ellos le otorgan vida al negocio, en 2024 se enfrentaron a algunos retos debido al cambio en la Ley Federal del Trabajo, entre los cuales se encuentran:

Alza en el salario mínimo. A partir del 01 de enero de 2024, el salario mínimo en México incrementó en 20%, por lo que en el centro del país este se coloca en 248.93 pesos diarios y en la frontera norte en 374.89 pesos diarios.

Oportunidades de las mipymes

Incentivos gubernamentales: el gobierno mexicano ha implementado diversos programas de financiamiento y apoyo para Pymes, proporcionando acceso a recursos que de otra manera podrían ser inalcanzables.

Mercado en Crecimiento: el mercado mexicano ofrece una demanda sostenida para una amplia gama de productos y servicios, proporcionando oportunidades para el crecimiento empresarial.

Colaboración con otras empresas: crear alianzas estratégicas permite la colaboración con otros negocios, al tiempo que puede ofrecer oportunidades para la expansión y el acceso a recursos y mercados más amplios.

Formación y desarrollo: la inversión en la capacitación y desarrollo de talento puede mejorar la productividad y la competitividad de estas empresas. Puedes crear programas de incentivos para la capacitación de tus empleados, al tiempo que los profesionalizas. También puedes recurrir a la contratación de talento extranjero a la distancia.

Diferenciación Competitiva: la implementación de prácticas empresariales socialmente responsables puede diferenciar a las Pymes y ganar la lealtad de los consumidores conscientes.

Las micro, pequeñas y medianas empresas desempeñan un papel crucial en la economía de México, contribuyendo significativamente al empleo y al crecimiento económico.

Los desafíos a los que se enfrentan pueden obstaculizar su desarrollo, sin embargo, existen oportunidades valiosas que, si se aprovechan adecuadamente, pueden impulsar el éxito y la sostenibilidad de las Pymes en el mercado mexicano.

MÉTODO

La investigación se realizó siguiendo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y documental. Bonilla y Rodríguez (2005) definen que el método cualitativo se orienta profundizar casos específicos y no a generalizar. Su preocupación no es prioritariamente medir, sino cualificar y describir el fenómeno social a partir de los rasgos determinantes, según sean percibidos por los elementos mismos que están dentro de la situación estudiada.

El alcance del estudio es de tipo descriptivo estos estudios tienen como principal función especificar las propiedades, características, perfiles, de grupos, comunidades, objeto o cualquier fenómeno. Se recolectan datos de la variable de estudio y se miden (Hernández et al. 2018).

A partir de una revisión documental e informes estadísticos del año 2020 – 2024, se recolectaron los datos en plataformas con INEGI, página del gobierno mexicano, COPARMEX, diarios periodísticos, y artículos científicos de bases de datos.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que las mipymes es la columna vertebral de la económica mexicana, aunque a primera vista estas empresas puedan parecer simples y pequeños establecimientos, su gran representación en el total de establecimientos del país demuestra su gran peso en todos los sectores. Es fundamental reconocer que no solo generan empleos, crean ingresos, contribuyen al PIB del país, sino que contribuyen al desarrollo y crecimiento de la nación mexicana. Al reconocer el papel vital de las mipymes en conjunto, es posible trabajar para eliminar los desafíos estructurales que limitan su crecimiento, como la baja productividad, falta de financiamiento y excesiva burocracia, así como impulsar el progreso social en el país, asegurando empleos formales, capacitación y condiciones laborales seguras para los trabajadores.

PROPUESTAS

Es imprescindible promover la creación y consolidación de las micro, pequeñas y medianas empresas, a nivel social, financiero y gubernamental para alcanzar un desarrollo económico nacional a través del fortalecimiento y mayor participación de las mipymes en el mercado interno y el comercio exterior mediante una inclusión institucional, inclusión digital, inclusión financiera y finalmente una inclusión comercial. Con ello se fijará un tejido empresarial más dinámico y resiliente en el nuevo contexto del momento mexicano detonado por las grandes inversiones que están llegando a México y por su posición como la doceava economía más rica del mundo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baraei, E., y Mirzaei, M. (2018). *Identification of factors affecting on organizational agility and its impact on productivity The purpose of recent research is to investigate the relationship between. UCT Journal of Management Adn Accounting Studies*, 6(4), 13-19.
- Boada, G., Vergara, N., y Concha, J. (2021). *Impacto tributario provocado por el régimen impositivo para microempresas del sector comercial en el Ecuador. Polo del Conocimiento*, VI (6), 903-922.
- Bonilla, E. y Rodríguez, P. (2005). *Más allá del dilema de los métodos*. Bogotá, Colombia: Nomos.
- COPARMEX. (2024). *Mipymes: impulso vital para la economía nacional*.
<https://coparmex.org.mx/mipymes-impulso-vital-para-la-economia-nacional/>.
- Cowling, M., Brown, R. y Rocha, A. (2020). *Did you save some cash for a rainy COVID-19 day? The crisis and SMEs. International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 38(7), 593-604.
- Eggers, F. (2020). *¿Masters of disasters? Challenges and opportunities for SMEs in times of crisis. Journal of Business Research*, 116, 199-208.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.025>
- Fontalvo, T., De la Hoz, E., y Morelos, J. (2017). *Productivity and its factors: impact on organizational improvement. Dimensión Empresarial*, 16(1), 47-60.
<https://doi.org/10.15665/dem.v16i1.1897>
- Hakmani, K. Al, y Bashir, H. (2014). *Investigation into Issues Related to the Productivity of Employees in an Oil and Gas Industry. Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1699-1706.
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education. ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Encuesta nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas. In Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enaproce/2015/doc/ENAPROCE_15.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Estudio sobre la demografía de los negocios (EDN)*.

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/EDN2020.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). Estudio sobre la demografía de los negocios (EDN).

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/EDN/EDN2023.pdf>

Kottika, E., Özsoy, A., Rydén, P., Theodorakis, I. G., Kaminakis, K., Kottikas, K. G. y Stathakopoulos, V. (2020). We survived this! What managers could learn from SMEs who successfully navigated the Greek economic crisis. *Industrial Marketing Management*, 88, 352-365. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.05.021>

López, A., Blanco, M., Blanco, G., Rodríguez, A., Barrera, E., González, C., & Wulf, E. (2014). Herramientas para la competitividad de la pequeña empresa en América Latina. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2014/1389/index.htm>

Rojas, M., Jaimes, L., y Valencia, M. (2018). Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo. *Espacios*, 39(6). <http://www.revistaespacios.com/a18v39n06/a18v39n06p11.pdf>

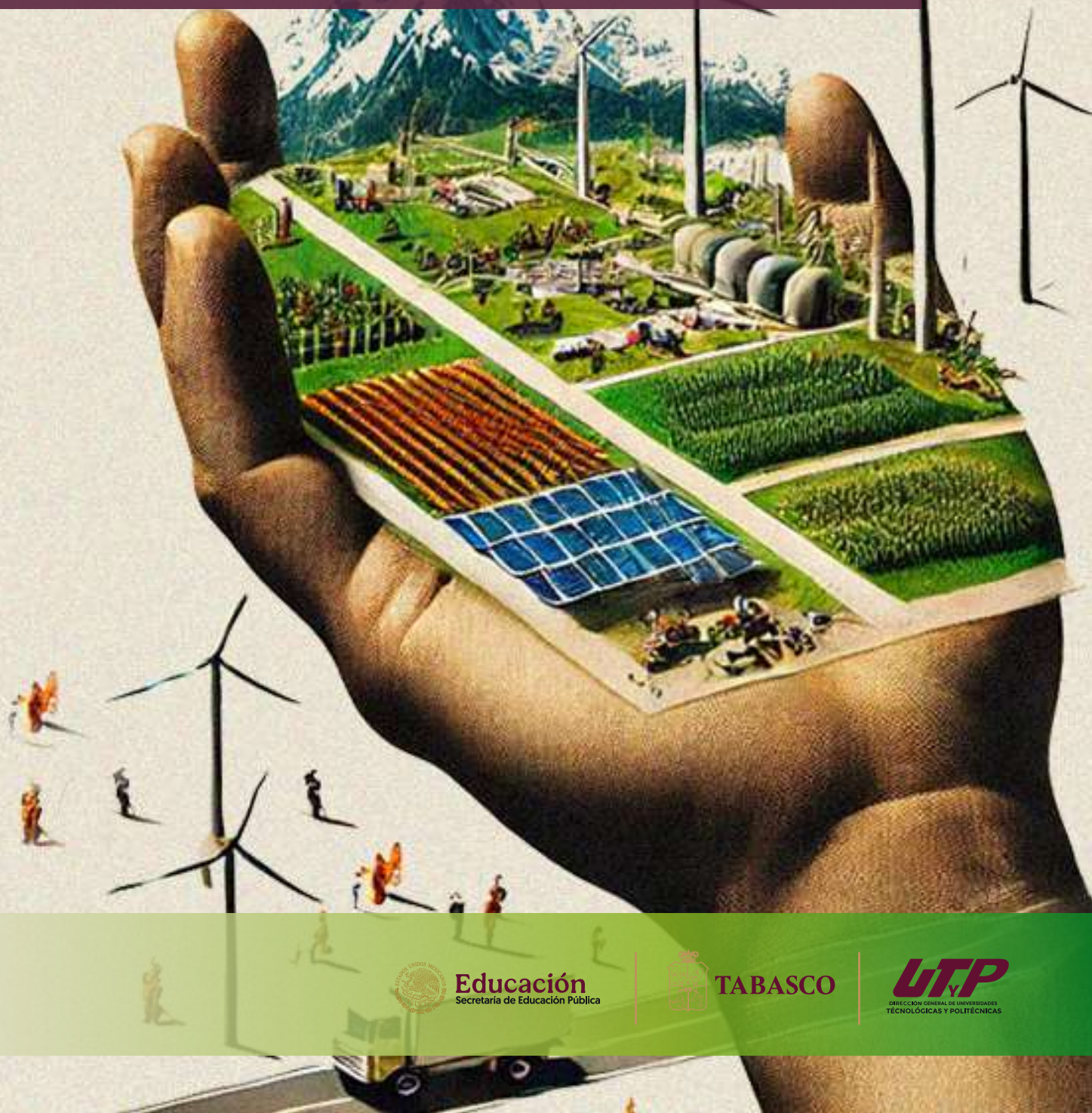
Saavedra, M., Milla, S., y Tapia, B. (2013). Determinación de la competitividad de la PYME en el nivel micro: El caso de del Distrito Federal, México. *Faepyme International Review*, 2(4), 18-32. <https://doi.org/10.15558/fir.v2i4.38>

Sánchez, M., Hernández, J., Molina, H., y García, M. (2020). Colaboradores satisfechos - productividad empresarial. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 7(14), 4-9. <https://doi.org/10.29057/esat.v7i14.6034>

Esta obra se terminó de editar el 08 de diciembre de 2025, en la Universidad Tecnológica de Tabasco, ubicada en Carretera, Villahermosa-Teapa, Km. 14.6, Parrilla II, Tabasco. C.P. 86288, Villahermosa, Centro, Tabasco. El cuidado estuvo a cargo de los autores, coordinadores, revisores y editores, así como el Departamento Editorial de la UTTAB.



¡Excelencia académica,
innovación con sentido social!



Educación
Secretaría de Educación Pública



TABASCO

UTP
DIRECCIÓN GENERAL DE UNIVERSIDADES
TECNOLÓGICAS Y POLITÉCNICAS