



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Ava Cient

ISSN: 2992-8567

Instituto Tecnológico de Chetumal

Formación Integral, Científica, Tecnológica y Humanista

2024

Año 2

Vol. III

Núm. 1

ENERO - JUNIO

Órgano Informativo de Difusión Científica, Tecnológica, Académica e Innovación

Indizado en:



OAJI Open Academic
Journals Index

LatinREV

**Academic
Resource
Index**
ResearchBib

Google
Scholar

Internet web

Enfoque y alcance:

La Revista AvaCient editada por el Tecnológico Nacional de México, tiene por interés proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, documentales, tecnológicas y de innovación, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales e informática, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico administrativas, a la docencia y a las ciencias naturales.

El contenido de los artículos es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

La Reserva de Derechos al Uso Exclusivo 04-2023-052309402000-102. Con ISSN electrónico 2992-8567. Frecuencia de publicación: semestral. Los artículos se publican en idioma español o en inglés.

AvaCient incluye temáticas multidisciplinarias relacionadas con la ingeniería: bioquímica, civil, eléctrica, sistemas computacionales, tecnologías de la información y comunicaciones, así como los temas relacionados con la arquitectura, biología, a la docencia y las ciencias económico administrativas.

Políticas de selección:

Tipos de manuscritos a considerar su publicación:

Artículo de investigación científica y/o tecnológica. Es un documento en donde el objetivo principal es dar a conocer de manera evidente y concreta los resultados originales de una investigación efectuada sobre un tema específico. Es la culminación de la presentación de un documento elaborado con un pensamiento crítico y analítico, considerando una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de investigación documental. La investigación documental es un proceso científico, sistemático y de búsqueda, recopilación, organización, análisis y compresión de información en torno a un tema específico. Como toda investigación debe de estar orientada a la generación del conocimiento, que implica la descripción y cuantificación de un problema específico, con una extensión máxima de 20 cuartillas.

Artículo de divulgación. El objetivo primordial de este tipo de documento es hacer llegar información fidedigna sobre cualquier tema en general para el público en común. Esta temática deberá dirigir sus esfuerzos en adaptar el lenguaje especializado a la comunicación coloquial, su extensión no debe exceder 10 cuartillas.

El mismo artículo no debe ser enviado simultáneamente a otras revistas o congresos para su aceptación y/o divulgación impresa, electrónica o por cualquier otro medio.

Para mayores detalles y especificaciones, consultar la **guía para autores 2024**.

Proceso de revisión:

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Tiempo estimado para la evaluación:

Con el objetivo de garantizar un correcto y riguroso proceso de evaluación en cada una de sus fases, se estima un promedio de entrega de dictámenes de 60 días. Se garantiza una comunicación constante y asertiva sobre el envío y avances del proceso editorial. El porcentaje de artículos publicados para 2024 es del 40%.

AvaCient mantiene una convocatoria abierta durante todo el año para la recepción de artículos, con cierres semestrales para la selección de documentos por edición. El(Los) autor(es) entiende(n) que el hecho de someter su artículo a la revista no genera ningún tipo de compromiso de publicación hasta surtir con éxito todo el proceso editorial.

Indización:

AvaCient, cuenta con los siguientes índices:



Código de ética:

Véase el apartado respectivo en las siguientes páginas, declaratoria de ética y buenas prácticas, AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidos por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*.

Cuenta con la herramienta para detectar similitud *Turnitin*, con un máximo de similitud del 20%.

El Consejo Editorial se reserva el derecho de realizar cambios o introducir modificaciones en el texto en aras de una mejor presentación y comprensión de éste, sin que de ello derive un cambio de su contenido.

Política de acceso abierto:

La Revista AvaCient es de acceso abierto y no cobra por el envío de los artículos, el proceso editorial y la publicación. Puede ser consultada libremente, sin requerimiento de registro, suscripción o pago. Se permite al autor y a terceros leer, descargar, copiar, reproducir, distribuir, comunicar y crear a partir del artículo, siempre y cuando se atribuya el crédito al (a los) autor(es), se reconozca la publicación inicial en la Revista AvaCient y sea para fines no comerciales. Provee acceso libre a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente la investigación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global.

Contacto:

Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chetumal.

Departamento de Comunicación y Difusión. Oficina de la editorial.

Tel: 9838322330, 9838321019

Email: avacient@itchetumal.edu.mx

avacient@chetumal.tecnm.mx

<https://www.facebook.com/avacient>

Disponible en Internet:

<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>



Directorio

Tecnológico Nacional de México
Director General
Mtro. Ramón Jiménez López
Instituto Tecnológico de Chetumal
Director
Mtro. Mario Vicente González Robles
Subdirectora Académica
M.T.I. María de los Ángeles Navarrete Marneou
Subdirectora de Planeación y Vinculación
Mtra. Dulce Yolanda Garrido López
Subdirector de Servicios Administrativos
Ing. Rafael Olvera Rodríguez

Consejo Editorial

Subdirectora de Planeación y Vinculación
(TecNM/ITChetumal)
Mtra. Dulce Yolanda Garrido López
Jefe del Depto. de Comunicación y Difusión
(TecNM/ITChetumal)
Mtro. José Pedro Villalobos Puga
Jefe del Centro de Información (TecNM/ITChetumal)
Lic. Esteban Magaña Pérez
Jefa de la División de Estudios Profesionales
(TecNM/ITChetumal)
Mtra. Cecilia Loría Tzab
Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
(TecNM/ITChetumal)
Dra. Alicia Carrillo Basto
Jefe del Departamento de Recursos Materiales y Servicios
(TecNM/ITChetumal)
Ing. Rodrigo Salazar García
Jefe de la oficina Editorial (TecNM/ITChetumal)
Dr. Robert Beltrán López

AVACIENT, Año 2, Vol. III, Núm. 1, enero - junio 2024, es una publicación semestral, editada por el Tecnológico Nacional de México, Avenida Universidad 1200, Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03330, teléfono 5536002511 Ext. 65092, correo d_vinculacion05@tecnm.mx, a través del Instituto Tecnológico de Chetumal, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Contacto: 9838322330, avacient@chetumal.tecnm.mx, <http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista/indexEditor> Responsable: Robert Beltrán López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-052309402000-102, ISSN: 2992-8567, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Comunicación y Difusión, José Luis Moctezuma Tejeda, Avenida Insurgentes No. 330, Esq. Andrés Quintana Roo, Colonia David Gustavo Gutiérrez, Apdo. Postal 267 C.P. 77013, Chetumal, Quintana Roo, México. Fecha de última modificación 30 de junio de 2024.

Objetivo de la revista, es proporcionar a los investigadores, docentes, alumnos y público interesado, un medio para publicar los resultados de investigaciones científicas, tecnológicas, documentales, educativas y de divulgación, afines a la arquitectura, ingeniería eléctrica y electrónica, ingeniería en química y biología, ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en ciencias de la tierra, a las ciencias económico-administrativas, a la docencia y a las ciencias naturales.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje, el proceso de evaluación del artículo guardará estrictamente el anonimato, utilizando el sistema doble ciego, cada artículo a evaluar será enviado a dos pares externos, como mínimo, cuando exista división de opinión se consultará un tercero o cuarto revisor.

El contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Es estrictamente original, de carácter inédito, es importante y claro, a su vez, es pertinente para el área de interés de la revista.

AvaCient provee acceso libre inmediato bajo el principio de hacer disponible abiertamente su publicación al público, lo cual fomenta un mayor intercambio de conocimiento global e impide la obsolescencia de su investigación. Sin embargo, cada autor podrá efectuar la gestión de su publicación por iniciativa propia a través de repositorios institucionales, índices, colectivos o temáticos. La revista apoya las iniciativas de acceso abierto.

Queda autorizada la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, a condición de que se cite la fuente completa y se incorpore un enlace <http://chetumal.tecnm.mx/avacient/index.php/revista/index>

AvaCient es una revista científica arbitrada, indizada, multidisciplinaria.

Soporte técnico OJS: Mtro. José Luis Moctezuma Tejeda. Cel. 2291521713. jmoctezuma@itchetumal.edu.mx
Corrección y Estilo: C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver.
Créditos de la foto de portada y contraportada:
C.P. Yasmin Del Ruby Tziu Peñalver. Biólogo Iván Castellanos-Osorio.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas

AvaCient previene el plagio y las prácticas de publicaciones depredadoras. Para ello, presenta la declaratoria de ética editorial que se fundamenta en los principios establecidos por el *Committee on Publication Ethics (COPE)*:

Responsabilidades del Comité Editorial

- La descripción de los procesos de revisión por pares es definido y dado a conocer por el Comité Editorial con el fin de que los autores conozcan cuáles son los criterios de evaluación. El Comité Editorial está siempre dispuesto a justificar cualquier controversia en el proceso de evaluación.

Responsabilidades del Editor

- El editor se responsabiliza por todo lo publicado en la revista, esforzándose por satisfacer las necesidades de los lectores y autores; por mejorar constantemente la revista; por asegurar la calidad del material que publica; por impulsar los estándares académicos y científicos.
- La decisión del editor de aceptar o rechazar un texto para su publicación estará basada únicamente en la importancia del artículo, la originalidad, la claridad y la pertinencia que éste represente para la revista.
- El editor se compromete a garantizar la confidencialidad del proceso de evaluación, no podrá revelar a los revisores la identidad de los autores. Tampoco podrá revelar la identidad de los revisores en ningún momento.
- El editor asume la responsabilidad de informar debidamente al autor la fase del proceso editorial en que se encuentra el texto enviado, así como de las resoluciones del dictamen.
- El editor evalúa los manuscritos y su contenido intelectual sin distinción de raza, género, orientación sexual, creencias religiosas, origen étnico, nacionalidad, o la filosofía política de los autores.

Responsabilidades de los autores

- Los autores deben garantizar que sus manuscritos son producto de su trabajo original y que los datos han sido obtenidos de manera ética. Además, deben garantizar que sus trabajos no han sido previamente publicados o que no están siendo considerados en otra publicación. Se considerará un trabajo como previamente publicado cuando ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:
 1. Cuando el texto completo haya sido publicado.
 2. Cuando fragmentos extensos de materiales previamente publicados formen parte del texto enviado a la Revista AvaCient y no existan cambios sustanciales en las aportaciones del mismo.
 3. Cuando el trabajo sometido a la Revista esté contenido en memorias publicadas in extenso.
 4. Estos criterios se refieren a publicaciones previas en forma impresa o electrónica, y en cualquier idioma.
- Para la publicación de sus trabajos, los autores deben seguir estrictamente la guía para autores definida en AvaCient.
- Los autores de los artículos deben presentar una descripción precisa de la investigación realizada, así como una discusión objetiva de su importancia. Un documento debe contener suficiente detalle y referencias para permitir a otros utilizar el trabajo. Declaraciones fraudulentas o deliberadamente inexactas constituyen un comportamiento poco ético y son inaceptables.
- Los autores deben garantizar que han escrito en su totalidad las obras originales, y si los autores han utilizado el trabajo y/o palabras de otro(s) tiene(n) que ser debidamente citado(s). El plagio en todas sus formas constituye una conducta no ética editorial y es inaceptable. En consecuencia, cualquier manuscrito que incurra en plagio será eliminado y no considerado para su publicación.
- Un autor no debería, en general, publicar artículos que describen esencialmente la misma investigación en más de una revista o publicación primaria. La presentación del mismo manuscrito a más de una revista constituye un comportamiento poco ético y la publicación es inaceptable.
- Se deben de reconocer las fuentes adecuadamente. Los autores deben citar las publicaciones que han sido influyentes en la naturaleza del trabajo presentado.
- La autoría debe limitarse a aquellos que han hecho una contribución significativa a la concepción, diseño, ejecución o interpretación del estudio. Todos aquellos que han hecho contribuciones significativas deben aparecer como coautores. El o los autores principales deben asegurar que todos los coautores se incluyen en el artículo, y que todos han visto y aprobado la versión final del documento y han acordado su presentación para su publicación desde el principio del proceso.
- Todos los autores deben revelar en su manuscrito cualquier conflicto financiero o de otro tipo que pudiera influir en los resultados o interpretación de su manuscrito. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser revelados.

Responsabilidades de los revisores

- Los revisores se comprometen a notificar sobre cualquier conducta no ética por parte de los autores y señalar toda la información que pueda ser motivo para rechazar la publicación de los artículos. Además, deben comprometerse a mantener de manera confidencial la información relacionada con los manuscritos que evalúan.
- Para la revisión de los trabajos, los revisores deben contar con las normas para realizar esta tarea. Dichas normas deben ser proporcionadas por la Revista y son las que deben de considerar para la evaluación.
- Todo revisor seleccionado debe notificar en el tiempo establecido al editor de la Revista si está calificado para llevar a cabo la revisión del trabajo o si no está en la posibilidad de hacerlo.
- Cualquier manuscrito recibido para su revisión debe ser tratado como documento confidencial. No se debe mostrar o discutir con otros expertos, excepto con autorización del editor.
- Los revisores se deben conducir de manera objetiva. Toda crítica personal al autor es inapropiada. Los revisores deben expresar sus puntos de vista con claridad y con argumentos válidos.

AvaCient tiene la intención de adherirse a estándares éticos, con el propósito de orientar a los autores, revisores y editor en el desempeño de sus funciones.

Tabla de contenido

Presentación de la revista.

Directorio y cintillo.

Declaratoria de ética de publicación y buenas prácticas.

Comité Editorial Científico.

Caracterización fisicoquímica del almidón de trigo como agente en la formación de biopelículas. **1**

Erika Merari Aviña González. Alondra Marian Vargas García.

José Pablo Iglesias Regalado. Verónica Graciela García Cano. Juan Carlos Bustillos Rodríguez.

Elaboración de ensilaje a base de nopal (*Opuntia SPP*), Alternativa forrajera para la alimentación de ganado. **10**

Jimena Veleta Cruz. Wendy Enríquez Murillo. Magali Ordóñez García.

Laura Gabriela Villanueva Romero. Juan Carlos Bustillos Rodríguez.

Evaluación de la capacidad antimicrobiana de extractos de *Moringa Oleifera* y *Artemisia Ludoviciana* contra *Escherichia Coli*. **18**

Brian Vázquez Almanza. Danna Maribel Rodríguez Rentería. Erika Baray.

Olalla Sánchez Ortíz. Juan Carlos Bustillos Rodríguez.

El metabolismo urbano de los asentamientos irregulares de Chetumal. **27**

Laura Isabel Guarneros Urbina. Herlinda del Socorro Silva Poot.

Ricardo Enrique Vega Azamar.

Optimización de la energía de Helmholtz mediante inteligencia artificial. **33**

Elsa Ortega de Ávila. Luis Ángel Correa García. Juan Carlos Pino Acevedo.

José Martín Barajas Guerrero. Miguel Ramírez Sotelo.

Efectividad de políticas públicas en movilidad urbana no motorizada: un análisis integral. **44**

Sergio Manuel Sosa Sánchez. Pedro Citlac Chargoy Loustaunau.



La escasez de la producción y su efecto en la cadena de suministro e inflación. Carlos Antonio Moo Novelo. Helbert Elí Gazca Santos.	58
Técnicas de cocción y factores que afectan la calidad de la carne de cerdo. Carlos Daniel Basto-Us. Fidel Morales-Couoh. Orlando Adrián Chan-May. Lilian Viviana Catzin-Navarrete.	74
Germinación de semillas de orquídeas y especies arbóreas mediante escarificación. Adrián Alejandro Ruiz-Sierra. Arturo Alvarado-Segura. Orlando Adrián Chan-May. Pedro Rogelio Catzim-Navarrete.	85
Rediseño de poka-yoke para mejorar producción en cajoneras de tocadores en muebles industria nueva Puruándiro. Cristian Alexis Villegas Bedolla. Lilian de Lourdes García Duarte. Lizeth Medina Magaña. Oscar Pérez Andrade.	98
Inclusión financiera de las mujeres en México: un análisis a través de un modelo econométrico. Anahí Oviedo Rivas. Juana Edith Navarrete Marneou. Robert Beltrán López.	114
Modelo de gestión de participación social para el desarrollo sustentable en zonas vulnerables. Carlos Eliézer Tello Moguel. Daniel García Urquidez. Diana Cecilia Escobedo Urías. Raúl Portillo Molina. Rosa María Longoria Espinoza.	123
Percepción de estudiantes respecto a la elaboración y consumo de productos agroalimentarios locales en Toluca México. Dixan Pozo-Leyva. Víctor Francisco Díaz-Echeverría. Amelia Cen-Hoy. Candita del Carmen Kim-Barrera. Ismael Pat-Aké.	143

Comité Editorial Científico, participando en este ejemplar:

Instituto Tecnológico de Chetumal (México)

Dr. Julio César Cruz Argüello (SNII)

Mtra. Claudia Beatriz Rodríguez Poot

Dr. Luis Felipe Jiménez Torrez (SNII)

Mtro. Enrique Alpuche Pérez

Dr. Leopoldo Querubin Cutz Pool

Dra. Alicia Carrillo Bastos

Mtra. María Josefina Aguilar Leo

Dr. Eustacio Díaz Rodríguez (SNII)

Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo (SNII)

Dr. Robert Beltrán López (SNII)

Dra. Blandy Berenice Pamplona Solís (SNII)

Dr. Ricardo Enrique Vega Azamar (SNII)

Dra. Herlinda del Socorro Silva Poot (SNII)

Universidad de Quintana Roo (México)

Dr. Edgar Alfonso Sansores Guerrero (SNII)

Dra. Juana Edith Navarrete Marneou (SNII)

Dra. Luz Margarita González López

Dr. Ángel Aarón Rosado Varela

Universidad Politécnica de Bacalar (México)

Mtra. María Antonia de los Ángeles Díaz Martín

Universidad Autónoma de Sinaloa (México)

Dra. Ana María López Carmona

Universidad Autónoma de Aguascalientes (México)

Dr. Miguel Ángel Oropeza Tagle (SNII)

Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo (México)

Dra. Valeria Betzabé Cuevas Albarrán (SNII)

Instituto Tecnológico Superior de San Martín

Texmelucan (México)

Dra. Esmeralda Aguilar Pérez (SNII)

Universidad de Piura (Perú)

Dr. Luis Gerardo Gómez Jacinto

Instituto Tecnológico de Comitán (México)

Dr. Francisco Gabriel Yáñez Domínguez

Universidad Autónoma de Yucatán (México)

Dra. Elizabeth del Rosario Vázquez Borges

Universidad Tecnológica de Chetumal (México)

Dr. Martín Antonio Santos Romero (SNII)

Universidad Veracruzana (México)

Dr. Saulo Sinforoso Martínez (SNII)

Dr. Oscar Yahevh Carrera Mora (SNII)

Universidad de Oriente campus Puebla (México)

Dr. Carlos Alberto Lobato Tapia

Instituto Tecnológico de Celaya (México)

Dr. J. Jesús Villegas Saucillo

Red de Investigadores de la Transcomplejidad
(Venezuela)

Dra. Crisálida Villegas González

Instituto Tecnológico de Iguala (México)

Mtro. Jorge Eduardo Ortega López

Instituto Tecnológico de Chilpancingo (México)

Mtro. Sergio Ricardo Zagal Barrera

Instituto Tecnológico de Sonora (México)

Mtro. Ciriaco Jesús Manuel Valenzuela Romero

Universidad Autónoma de Tlaxcala (México)

Dra. María Mercedes Rodríguez Palma

Universidad del Mar (México)

Dr. Eduardo Jiménez Hidalgo (SNII)

Instituto Tecnológico de la Zona Maya (México)

Dr. Fernando Casanova Lugo (SNI)

Universidad de Guadalajara (México)

Dr. Rogelio Rivera Fernández (SNII)

Dr. Francisco Javier Moscoso Sánchez (SNII)

Dra. Adriana Hernández García (SNII)

Universidad del Valle de Atemajac (México)

Dr. Evelio Gerónimo Bautista (SNII)

Ecosur (México)

Dra. Carla Beatriz Zamora Lomelí (SNII)

Universidad de Sonora (México)

Dr. José Christian Arias-Herrera (SNII)

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos
(México)

Mtra. Karla Margarita Castilla Acosta

Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Hidalgo
(México)

Dra. Susana Reyes Vázquez

Universidad ESAN (Perú)

Dr. Edmundo R. Lizaraburu Bolaños

Universidad del Caribe (México)

Dr. Miguel Ángel Olivares Urbina (SNII)

SFAI México (México)

Mtro. Miguel Chamlaty Toledo

Instituto Tecnológico de Morelia (México)

Mtra. Melina Velasco Plascencia

Dr. Mario Misael Machado López (SNII)

Universidad de las Américas (Venezuela)

Dra. Franyelit María Suárez Carreño

Universidad Nacional de Huancavelica (Perú)

Dr. Edwin Julio Cóndor Salvatierra

Universidad de Ciego de Ávila (Cuba)

Mtro. Esteban Rodríguez Torres

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN DE TRIGO COMO AGENTE EN LA FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS

Erika Merari Aviña González¹, Alondra Marian Vargas García²,
José Pablo Iglesias Regalado³, Verónica Graciela García Cano⁴, Juan Carlos Bustillos Rodríguez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICO

Recibido: 19/01/2023 Aceptado: 29/11/2023

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a1>

Resumen.- La presente investigación tuvo como finalidad la extracción y caracterización fisicoquímica de almidón de trigo (*Triticum aestivum* L.), para evaluar su funcionalidad como agente en la formación de biopelículas comestibles. El proceso de extracción se llevó a cabo mediante vía húmeda y por sedimentación natural. Así mismo, se lleva a cabo la elaboración de una biopelícula con la finalidad de ser utilizada posteriormente como recubrimiento comestible de alimentos. Se obtuvo un rendimiento de almidón del 43 %. Dicho polisacárido se caracterizó fisicoquímicamente presentando los siguientes valores: humedad 7%, cenizas 0.82%, proteínas 1.94 %, grasas 1.8 %, actividad de agua 0.19 % y una pureza de almidón 89.16 %. El tamaño promedio de los gránulos del almidón fue de 27.8 µm, los gránulos presentaron una mezcla de formas redondeadas y angulosas. A partir del almidón de trigo, se obtuvo una biopelícula que exhibió una textura lisa, translúcida sin burbujas, además mantuvo flexibilidad y resistencia, lo que la hace idónea para ser aplicada como recubrimiento de múltiples productos, especialmente alimentos.

Palabras Clave: Alimentos; biodegradable; cereal; funcional; polisacárido.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF WHEAT STARCH AS AGENT IN THE FORMATION OF BIOFILMS

Abstract.- The purpose of this research was the extraction and physicochemical characterization of wheat starch (*Triticum aestivum* L.), to evaluate its functionality as an agent in the formation of edible biofilms. The extraction process was carried out by wet method and by natural sedimentation. Likewise, the elaboration of a biofilm is carried out with the purpose of being used later as an edible coating for food. A starch yield of 43 % was obtained. The starch was characterized physiochemically presenting the following values: moisture 7 %, ash 0.82 %, protein 1.94 %, fat 1.8 %, water activity 0.19 % and starch purity 89.16 %. The average size of the starch granules was 27.8 µm, the granules presented a mixture of rounded and angular shapes. From wheat starch, a biofilm was obtained that exhibited a smooth, translucent texture without bubbles, also maintained flexibility and resistance, which makes it ideal to be applied as a coating for multiple products, especially foods.

Keywords: Foods, biodegradable, cereal, functional, polysaccharide.

Introducción

El trigo (*Triticum*) es un cereal que se cultiva en todo el mundo, ocupa el tercer lugar en producción de cereales, solo detrás del maíz y el arroz, y se utilizado en la elaboración de una gran variedad de alimentos con la finalidad de proporcionar nutrición tanto a la raza humana, así como fuente de alimento para el ganado, todo esto desde el comienzo de la civilización (Golfam et al., 2021; Zhao et al., 2019). El trigo se cultiva ampliamente en los cinco continentes y en unos 108 países, y es el principal cereal producido, consumido y comercializado en el mundo en la actualidad, donde la utilización del trigo se puede dividir en cuatro categorías de acuerdo a los fines que se le da a la semilla:

¹ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0002-4852-6784> erikaavi2001@gmail.com

² Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0007-9210-0293> marianvargas8@hotmail.com

³ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0001-1262-6647> josepablo000817@outlook.com

⁴ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-9075-787X> vgarcia@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-5485-8323> jbustillos@itcdcuauhtemoc.edu.mx (**Autor correspondiente**).

alimentos, piensos para ganado, semillas e industrial (Baranzelli et al., 2019; Maningat et al., 2009). La harina de trigo es uno de los productos de cereales procesados más consumidos a nivel mundial, donde sus principales componentes macromoleculares son el almidón y el gluten (Wang et al., 2021).

En lo que se refiere al almidón, es el principal componente del endospermo de trigo (65-70 % del peso seco), desempeña un papel importante en la nutrición humana, ya que contribuye a más del 50 % de la ingesta calórica en el mundo occidental y hasta el 90 % en los países en desarrollo, dicho polisacárido juega un papel trascendental en la definición de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y de cocción de los diversos productos derivados de este cereal, como por ejemplo, en productos de panificación, la pasta, y el arroz, estas características son atribuidas al alto peso molecular del polímero, además de su conformación (amilosa lineal y amilopectina ramificada), resaltando que no es alergénico, no tóxico, generalmente es reconocido como seguro (GRAS, siglas en inglés), abundante y económico (Mello-El Halal et al., 2019; Shevkani et al., 2017; Zi et al., 2019; Zu, 2019). A la fecha, el almidón de trigo se produce por separación física de los constituyentes no amiláceos, para lo cual, se han desarrollado varios procesos de molienda húmeda del grano de trigo para la producción de almidón (Shevkani et al., 2017). Aunque es difícil determinar con certeza cuándo se reconoció por primera vez el almidón como una sustancia distinta, el primer almidón aislado fue, sin duda, el almidón de trigo; se cree que la fabricación de almidón a partir del trigo comenzó en el antiguo Egipto y Grecia (Maningat et al., 2009).

Los almidones de diferentes fuentes varían en su funcionalidad como resultado de las diferencias en su estructura granular, contenido de amilosa y distribución de la longitud de las cadenas tanto de amilosa como de amilopectina que lo conforman (Chinma et al., 2013). En el caso del almidón de trigo, se compone de aproximadamente un 25 % de amilosa y un 75 % de amilopectina (Malalgoda et al., 2020). En este mismo sentido, se ha visto que las posibles aplicaciones y la funcionalidad del almidón dependen de sus propiedades, por lo que resulta de suma importancia realizar una caracterización de las mismas (Bustillos-Rodríguez et al., 2019). El almidón de trigo tiene una ventaja sobre otros almidones (maíz, papa, yuca, entre otros) debido a que presenta ciertas características peculiares como lo es una apariencia más brillante y un sabor más suave, a menudo se usa como ingrediente en varios alimentos formulados para mejorar la textura y la sensación en la boca, además, funciona como ablandador en pasteles, donas, galletas y quesos análogos, también se incorpora a helados, sopas, salsas, entre otros alimentos, para proporcionar adherencia, estructura, control de humedad y espesamiento (Shevkani et al., 2017).

Por otra parte, este biopolímero resulta ampliamente disponible, biodegradable, comestible, insípido, incoloro y fácil de colorear o agregar sabores y otros componentes, lo que lo convierten en un excelente candidato para la elaboración de biocompuestos como recubrimientos y películas comestibles y/o biodegradables, resultando una excelente alternativa al uso de plásticos y otros materiales comúnmente utilizados en la industria de alimentos (Basiak et al., 2015). De hecho, el almidón es quizás el polisacárido vegetal más popular para la formación de bioplásticos debido a su abundancia, rentabilidad y excelente capacidad de formación de películas (Thakur et al., 2019).

Los biopolímeros, polímeros de base biológica, polímeros biodegradables y bioplásticos se usan como sinónimos en contextos específicos, estos son materiales son producidos a partir de recursos naturales como plantas, animales y microorganismos que pueden ser biodegradables, por ejemplo, el almidón (Kumar et al., 2022). La tendencia a utilizar polímeros naturales y renovables en varios campos está creciendo para que puedan reemplazar las películas de embalaje sintéticas y con ello mitigar las afectaciones ambientales causadas por estos empaques, especialmente aquellos derivados de los hidrocarburos (Molavi et al., 2021). Los materiales biocompuestos crean una gran oportunidad para un entorno saludable y seguro al reemplazar el plástico y los materiales artificiales con ingredientes naturales en una variedad de aplicaciones, los ingredientes de los materiales biocompuestos se extraen de varios tipos de cultivos agrícolas, como trigo, maíz, mandioca, cáñamo, yute y otros cultivos (Mohammed et al., 2021).

Un recubrimiento comestible generalmente es una capa delgada de material comestible recubierta directamente sobre la superficie de un producto, aplicada en forma líquida (solución/dispersión formadora de película) sobre el alimento, generalmente por inmersión o rociado, el uso de recubrimientos comestibles se ha convertido en una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente para extender la vida útil de diferentes productos, así como para protegerlos de efectos ambientales nocivos, como la degradación por las condiciones ambientales presentes o por el ataque de microorganismos (Sapper y Chiralt, 2018). Desde las últimas décadas, se han realizado y centrado muchos intentos en injertar o mezclar materiales plásticos con biopolímeros naturales baratos y biodegradables, como almidón, celulosa, quitina, entre otros, para crear nuevos materiales con las propiedades deseadas de acuerdo a la demanda creciente del mercado (Šárka et al., 2011). Aunque el proceso de producción de películas de almidón es relativamente sencillo,

numerosos factores, incluida la fuente de almidón, el método de extracción, la formulación de la película, los métodos de procesamiento y los procedimientos de curado, afectan drásticamente las propiedades finales del material (Lauer y Smith, 2020).

En lo que se refiere al almidón de trigo, este es uno de los polímeros vegetales más abundantes y es una opción atractiva para fabricar biopelículas y recubrimientos para envases de alimentos debido principalmente a su bajo costo. Además, este tipo de biopolímeros presentan una serie de ventajas como por ejemplo producen menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero durante su obtención y elaboración de los recubrimientos, son biodegradables, requieren menos energía para su fabricación, ofrecen nuevas oportunidades de negocio y tienen un menor impacto ambiental en comparación con los plásticos convencionales utilizados como empaques de diferentes productos, especialmente alimenticios (Kumar et al., 2022).

Dentro de las ventajas de aplicar una biopelícula a un producto como lo es un alimento, destaca que el recubrimiento al estar en contacto directo con la superficie del alimento actúa como una barrera contra la humedad o gases y reduce la tasa de respiración al modificar la atmósfera exterior del producto, esto aumenta la vida útil del producto, con el consiguiente aumento de la calidad y los atributos sensoriales para una mejor aceptabilidad por parte del consumidor, además de evitar la degradación por microorganismos alterantes y pérdida de nutrientes por efecto de las condiciones a las que se expone el producto (Lai et al., 2018). Hoy en día, las preocupaciones ambientales mundiales en curso y los altos niveles de producción de materiales a partir de plásticos sintéticos han fomentado la investigación sobre el desarrollo de materiales ecológicos, biodegradables y sostenibles (Farahnaky et al., 2013). Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue obtener y caracterizar fisicoquímicamente un almidón de trigo con la finalidad de utilizarlo en la formación de biopelículas con propiedades antioxidantes y antimicrobianas para el recubrimiento de diversos alimentos.

Materiales y métodos

Selección de la materia prima

Se seleccionaron semillas de trigo de la variedad (*Triticum aestivum* L.), cultivada en la región agrícola de Cuauhtémoc, Chihuahua, México, durante el ciclo agrícola 2017-2018, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Bioquímica del Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc para su posterior utilización.

Extracción del almidón de trigo

La extracción de almidón se llevó a cabo según la metodología usada por Bustillos-Rodríguez et al., (2019), con algunas modificaciones. Para la extracción y purificación del almidón se, se utilizaron 500 g de semilla de trigo, a los cuales les retiró la materia extraña, para luego llevarlo a un lavado de 5 repeticiones con agua corriente limpia y dejarlo reposar en una solución desinfectante por 30 min con una concentración de 100 ppm de hipoclorito de sodio para evitar contaminaciones por presencia de microorganismos. Una vez transcurrido el tiempo, los granos de trigo fueron lavados por triplicado para retirar la solución desinfectante, para luego dejarlos reposar en una solución de hidróxido de sodio (concentración de 0.1 N) durante 48 h, esto con el objetivo de retirar pigmentos. Transcurrido este tiempo se filtró y se lavó 5 veces la semilla de trigo con agua destilada para retirar el hidróxido de sodio. Las semillas de trigo se trituraron con ayuda de una licuadora casera a máxima velocidad por 2 min. El resultado del licuado se filtró haciéndolo pasar a través de una tela de organza (3 capas de la misma), para retirar la mayor parte de fibra presente en la mezcla. Después del filtrado el almidón se llevó a la estufa de secado a 45 °C por 72 horas, esto con el fin de eliminar la humedad. Posteriormente, el almidón fue retirado de la estufa de secado para luego ser triturado con ayuda de un mortero y pistilo, el almidón en polvo se hizo pasar por un tamiz, luego fue colocado en bolsas plásticas con cierre hermético y almacenado a una temperatura de 25 °C para las posteriores determinaciones.

Rendimiento de almidón de trigo

El rendimiento del almidón se determinó de acuerdo a la fórmula propuesta por Avellán et al., (2020):

$$\text{Porcentaje de rendimiento} = \frac{(\text{Peso del almidón obtenido (g)})}{(\text{Peso de la fuente de obtención (g)})} \times 100$$

Análisis fisicoquímico del almidón de trigo

El análisis fisicoquímico se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC, comprendiendo los siguientes análisis: humedad (método 925.10), proteína cruda (método 991.20), grasa cruda (método 920.35), cenizas (método 923.03), acidez titulable (método 942.15).

Determinación de actividad de agua (aw) y pureza del almidón

La determinación de actividad de agua se realizó en un equipo AquaLab Serie 3, siguiendo las recomendaciones del fabricante. La determinación de la pureza del almidón, se realizó por diferencia del resto de los componentes, de acuerdo a la fórmula descrita por Meaño-Correa et al., (2014).

$$\text{Pureza del almidón} = 100 - \% \text{Humedad} - \% \text{Cenizas} - \% \text{Grasa} - \% \text{Proteína}$$

Microscopía óptica de los gránulos de almidón

Se estimó el tamaño de gránulo de almidón de acuerdo a la metodología descrita por Bustillos-Rodríguez et al., (2018), para lo cual, se prepararon suspensiones acuosas de almidón (2%, p/p), se colocó una alícuota de 25 µL de la suspensión en portaobjetos y cubreobjetos y se analizó inmediatamente por triplicado en un microscopio óptico (AxioScope.A1, Carl Zeiss, Jena, Alemania) equipado con una cámara AxioCam OCc1. Se tomaron medidas de 20 gránulos de almidón. El tamaño de los gránulos se estimó con el software ZEN lite. Asimismo, se tomaron micrografías a 100 y 400x magnificaciones con luz ordinaria y polarizada y se utilizaron para observar la estructura y morfología del almidón de trigo obtenido.

Formulación de la biopelícula

La formulación de la biopelícula se llevó a cabo según la metodología usada por Chapuel-Tarapuez et al., (2019), con algunas modificaciones. Se mezclaron 5 g almidón de trigo con 65 mL de agua destilada, 3.2 mL ácido acético (vinagre) (actúa como conservante) y 2 mL de glicerina pura (glicerol) en un vaso de precipitado de 250 mL, con agitación constante. La solución se expuso a un calentamiento con agitación constante, hasta alcanzar la temperatura de gelatinización de la mezcla, alrededor de 78 - 84 °C por 5 minutos para asegurar la completa gelatinización de los gránulos de almidón, luego se disminuyó la temperatura hasta 40 °C y se le adicionaron a la mezcla 0.1 g de tres aditivos: sorbato de potasio (actúa como conservante), ácido ascórbico y ácido cítrico (actúan como antioxidantes) con agitación constante. La mezcla se colocó en cajas Petri de 90 mm, extendiendo una capa fina a través de la superficie del contenedor, para pasar a una estufa de secado a 37 °C por 48 h. Una vez que las películas estuvieron secas se desmoldaron de manera manual con cuidado y se almacenaron en un lugar seco a 25 ± 2 °C para su posterior caracterización.

Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar con un mínimo de tres repeticiones. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza balanceado (ANDEVA) utilizando el software estadístico Statistical Analysis System (SAS versión 9.0).

Resultados y discusión

Extracción y rendimiento del almidón de trigo (*T. aestivum* L.)

El rendimiento de almidón fue del 43 % (Tabla 1). Resultados similares fueron reportados previamente por Morocho-Pilataxi et al., (2021), al señalar un rendimiento del 42,6 % de almidón de trigo. Pero inferior al reportado por Baranzelli et al., (2019) (50.20 %). Este rendimiento es atribuido principalmente al método de extracción utilizado, en este caso, la molienda húmeda se considera el método más eficaz para la extracción de almidón de trigo y presenta ventajas como el bajo costo y la ausencia de gránulos de almidón dañados (Mello-El Halal et al., 2019). Tal como se observó en los resultados encontrados en este estudio, el contenido de almidón está positivamente asociado con el rendimiento de grano, pero inversamente relacionado con el contenido de grasa y proteína (Maningat et al., 2009).

Así mismo, la cantidad de almidón presente en los granos de trigo está en función de las condiciones climatológicas a las que crece la planta, siendo el estrés por calor el factor ambiental que más afecta la presencia de este polisacárido, ya que temperaturas elevadas (>30 °C) por tiempos prolongados pueden causar el cese prematuro de la deposición de almidón en el endospermo incluso en cultivos bien regados (Zhao et al., 2008). En la región agrícola en la que se cultivó este cereal es comúnmente encontrar temperaturas cercanas o superiores a los 30 °C en la época de verano, por lo que es conveniente tomar en cuenta que dicho rendimiento también pudo estar influido por los factores agroclimáticos presentes en el área de cultivo.

Tabla 1. *Propiedades fisicoquímicas del almidón de trigo.*

Parámetro fisicoquímico	Resultado obtenido del almidón de trigo
Humedad (%)	7.00 ± 0.10
Cenizas (%)	0.82 ± 0.03
Proteínas (%)	1.94 ± 0.08
Grasas (%)	1.08 ± 0.10
Actividad de agua (a_w)	0.19 ± 0.01
*Pureza (%)	89.16
Tamaño del gránulo (μm)	27.8 ± 2.6

Nota: Valores expresados como la media aritmética de tres repeticiones ± error estándar. *La determinación de la pureza del almidón, se realizó por diferencia del resto de los componentes, de acuerdo a la fórmula descrita por Farahnaky et al., (2013).

Caracterización fisicoquímica del almidón

En la Tabla 1, se muestran los valores porcentuales para los diferentes parámetros fisicoquímicos evaluados en el almidón de trigo obtenido. El contenido de humedad fue de 7 %, este valor se encuentra dentro del rango aceptable de acuerdo a lo señalado por Meaño-Correa et al., (2014), quienes mencionan que el contenido de humedad de los almidones debe oscilar entre 6-12 %, y que contenidos superiores de humedad pueden conducir a la proliferación microbiana y subsecuente al deterioro de la calidad del almidón. Los contenidos encontrados en cuanto a grasa (1.08 %) y proteína (1.94 %) son relativamente bajos. De igual manera, se ha reportado que bajos contenidos de grasa y proteína indican alta pureza de almidones aislados (Tirado-Gallegos et al., 2016).

En este mismo sentido, las proteínas y los lípidos son componentes menores del almidón de trigo en la superficie y dentro de la estructura del gránulo, sin embargo, existen proteínas que están fuertemente unidas a las superficies o son componentes integrales de los gránulos de almidón, las cuales se definen generalmente como proteínas asociadas a los gránulos de almidón (Huang et al., 2022). El contenido de cenizas presente en el almidón es de 0.82 %, este representa la cantidad de minerales y sales remanentes que quedaron producto de la extracción y del contenido de minerales de la materia prima Meaño-Correa et al., (2014). Generalmente, la pureza del almidón se determina en función del contenido de proteínas y cenizas, lo cuales deben ser bajos para considerar una alta pureza del polisacárido (Baranzelli et al., 2019).

La pureza obtenida fue de 89.16 %, este parámetro es relevante, ya que las propiedades del almidón pueden verse afectadas por componentes presentes ajenos al almidón (grasa y proteína) (Araujo de Vizcarrondo et al., 2004). El contenido de actividad de agua mostró un valor de 0.19, lo que contribuye a minimizar las posibles reacciones de deterioro de origen químico o microbiano que deterioran la calidad física, química y sensorial del almidón (García et al., 2007). La composición química del almidón de trigo puede ser atribuida al origen genético y las condiciones ambientales a las que se desarrolla el cultivo, ya que el estrés ambiental al que pueden estar sometidas las plantas afecta la expresión génica, cambios en el metabolismo celular, cambios en la función, la tasa de crecimiento y por ende la composición nutricional del grano, lo que se ve reflejado en el contenido de almidón (Golfam et al., 2021; Mello-El Halal et al., 2019). Mientras que la pureza e integridad (propiedades estructurales) de los gránulos están estrechamente relacionadas con el proceso de obtención del almidón, ya que durante dichas etapas se retiran compuestos ajenos a este polisacárido (Teng et al., 2021).

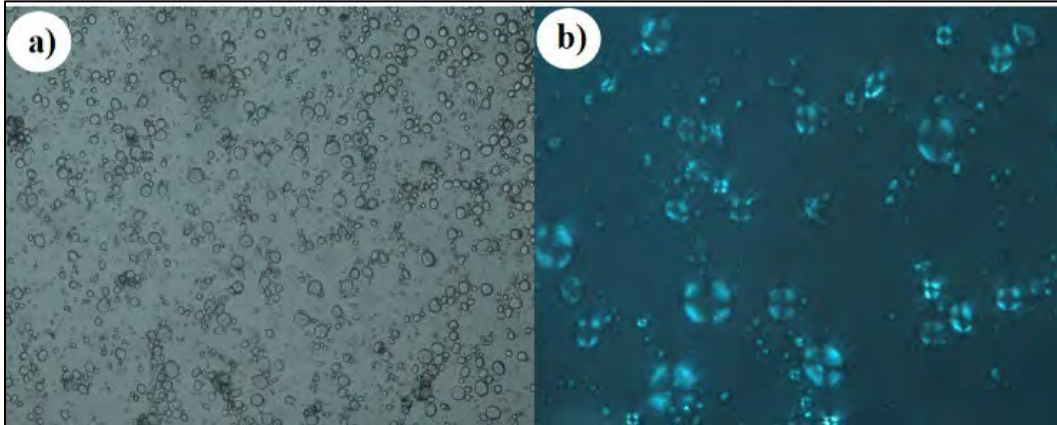
Tamaño y forma de los gránulos del almidón de trigo

El tamaño promedio de los gránulos del almidón de trigo fue de $27.8 \pm 2.6 \mu\text{m}$ (Tabla 1). Estos datos de medición concuerdan con lo reportado previamente para gránulos de variedades de trigo, los cuales se encuentran en un rango de 20 a 35 μm (Saeed et al., 2018). En este mismo sentido Baranzelli et al., (2019), mencionan que los gránulos de almidón de trigo exhiben características típicas como puede ser una distribución de tamaño bimodal (variación en el tamaño y la morfología) que puede ir desde 2 a 35 μm y formas variadas que pueden ser lenticular y esférica. El tamaño, la distribución y la forma de los gránulos de almidón dependen principalmente de la variedad, así como de los factores ambientales que rodean al cultivo (Bustillos-Rodríguez et al., 2018; Maningat et al., 2009). De igual manera, la distribución del tamaño de los gránulos del almidón de trigo es una característica importante que está relacionada con su composición química, que a su vez puede afectar su estabilidad y funcionalidad (Šárka et al., 2011).

Respecto a la morfología, se pudo observar que los gránulos del almidón de trigo presentaron una mezcla de formas redondeadas y angulosas sin daño aparente (Figura 1,a), por otra parte, en las imágenes obtenidas a través del

microscopio bajo luz polarizada se pueden observar hilios centrados y cruces de polarización (cruz de malta) (Figura 1,b), lo cual es indicativo de un orden dentro del gránulo, así como demuestra que durante el proceso de obtención del almidón no se vio afectada o comprometida la estructura del mismo, y que al mantener dicho orden el almidón conserva sus propiedades funcionales, incluyendo la capacidad de formación de películas mediante la gelatinización de este polisacárido (Bello-Pérez et al., 2005).

Figura 1. Micrografías de gránulos de almidón de trigo (*Triticum aestivum* L.). a) Gránulos observados bajo luz ordinaria 100x; b) Gránulos observados bajo polarizada 400x.



Nota: Imágenes tomadas con microscopio óptico (AxioScope.A1, Carl Zeiss, Jena, Alemania) equipado con una cámara AxioCam OCc1.

El tamaño de partícula de los gránulos de almidón se ha relacionado con las diversas aplicaciones que dicho almidón pudiera tener, por ejemplo, en la fabricación de ciertos productos alimenticios que pudieran presentar diferentes texturas, o bien, en la elaboración de películas biodegradables (Aprianita et al., 2014). En este mismo sentido, el comportamiento funcional del almidón y sus posibles aplicaciones están complejamente relacionadas con la estructura y morfología que puede llegar a presentar (Golfam et al., 2021). Los parámetros en cuanto a la morfología granular, el tamaño de los gránulos y la distribución del tamaño de los gránulos pueden tener impactos consecuentes en las propiedades de la película, por lo que es relevante su estudio y consideración al momento de la elaboración del recubrimiento (Lauer y Smith, 2020). La microscopía óptica es la técnica más conveniente para observar los gránulos de almidón, es la forma más rápida e intuitiva apreciar la cruz de malta, la cual es un interferograma formado por material birrefringente con un cierto orden molecular, lo que permite establecer que la estructura del gránulo permaneció intacta o sin afectación aparente durante el proceso de obtención del almidón, sine do fundamental para que conserven las propiedades funcionales, especialmente aquellas relacionadas en la formación de recubrimientos comestibles (Huang et al., 2022).

Formulación de biopelícula

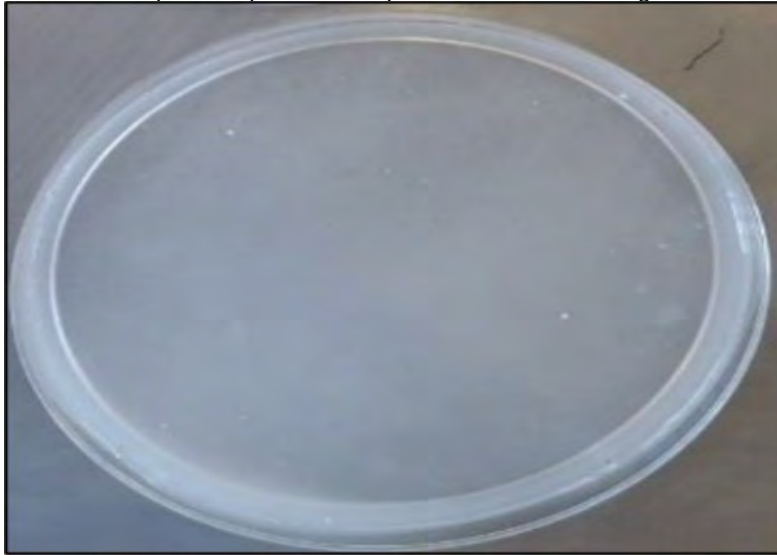
Como resultado de esta formulación se obtuvo que la biopelícula presentó una textura lisa translúcida sin burbujas, además mantuvo flexibilidad y resistencia (Figura 2). En este sentido Bruni et al., (2020), menciona que las biopelículas con una superficie lisa, homogénea y sin burbujas presentan un potencial para ser aplicadas como recubrimiento de múltiples productos, ya que mantienen la integridad de su estructura, lo que las hace idóneas para este tipo de usos. De la misma manera Farahnaky et al., (2013), concuerdan que la presencia de una superficie homogénea de las películas es un excelente signo de su integridad estructural y, como resultado, es probable que tenga buenas propiedades mecánicas y físicas, lo cual abre ampliamente la posibilidad para comenzar a aplicarlas como recubrimientos comestibles en alimentos.

Algunas características como la rigidez o flexibilidad que presentan los biomateriales formulados a partir de almidón de trigo pueden ser mejoradas al modificar de manera física o química el almidón nativo (Maningat et al., 2009). Además, la asociación intermolecular de almidón, especialmente entre las moléculas de amilosa, puede proporcionar una mayor integridad estructural en la matriz polimérica y, por lo tanto, mejorar la resistencia a la tracción de las películas, lo que hace que puedan ser utilizadas como recubrimiento en una gran variedad de aplicaciones especialmente alimenticias (Baranzelli et al., 2019). En este mismo sentido, aunque el campo de las películas de almidón ha crecido significativamente durante la última década, todavía existe la creencia generalizada de que las propiedades mecánicas de las películas se derivan directamente del contenido de amilosa, de modo que un mayor

contenido de amilosa conduce a una mayor resistencia y rigidez, en el caso del almidón de trigo es similar al almidón de maíz (24.8 %) y superior al almidón de otras fuentes convencionales como el arroz (16.9 %) y la papa (20.5 %) (Lauer y Smith, 2020).

Figura 2

Biopelícula formulada a partir de almidón de trigo.



Nota: Fotografía propia.

Si bien, el almidón no es un verdadero material termoplástico, este puede gelatinizarse en ayuda de agua y fluir en presencia de altas temperaturas y con ayuda de agentes plastificantes puede formar una cubierta con capacidad adhesiva hacia algún alimento (Molavi et al., 2021). La flexibilidad y la resistencia de la biopelícula está relacionada con el agregar plastificante al almidón de trigo en la formulación de la biopelícula, ya que se mejoran las propiedades físicas y mecánicas, esto es debido a que el plastificante aumenta la flexibilidad del material, lo cual es atribuido a que diversos agentes como el glicerol, que al ser mezclado con almidón para crear la fase entrelazada polimérica, contribuyen a reducir los enlaces de hidrógeno intramoleculares, dando una alta resistencia y flexibilidad (Thakur et al., 2019).

La presencia del glicerol o algún otro agente plastificante resulta esencial, debido a que la funcionalidad y efectividad de la biopelícula está en gran medida determinada por la cantidad del plastificante presente en la formulación, donde el contenido total de plastificante de una película oscila entre el 5 y el 50 % de su composición, por lo que el material que compone en mayor proporción a la biopelícula debe presentar o reunir ciertas características que le permitan realizar dicha conformación, siendo principalmente la capacidad de formar geles que posteriormente se puedan solidificar y dar origen a este tipo de bioempaques (Kumar et al., 2022). En este mismo sentido, la eficiencia y la estabilidad de las biopelículas depende de su composición, los polisacáridos, como el almidón, la celulosa, la pectina, los alginatos, el quitosano y otros, son polímeros naturales y son compatibles con una amplia gama de compuestos funcionales cuyo objetivo es para mejorar sus propiedades, por lo que películas elaboradas a partir de estos biopolímeros presentan una gran variedad de aplicaciones en el área de alimentos (Sapper y Chiralt, 2018). Respecto al almidón de trigo debe destacarse que no solo es muy abundante, sino que también es un candidato potencial de bajo costo para ser utilizado en el desarrollo de compuestos biodegradables que contribuyan a mejorar la calidad de vida del ser humano (Mohammed et al., 2021).

Finalmente, podemos concluir haciendo mención a que el almidón de trigo reúne las características para ser utilizado como agente formador de recubrimientos comestibles con potencial para ser aplicados en una gran variedad de productos, especialmente alimenticios, que resultaría en una alternativa viable y amigable con el medio ambiente, destacando que puede ser consumido sin riesgo alguno para el consumidor final, además de permitir la incorporación de aditivos alimenticios que contribuyan a mejorar las características sensoriales del alimento y prolongar su vida de anaquel. Por lo que se considera necesario realizar estudio enfocados en la aplicación de la biopelícula a base de este almidón y evaluar los parámetros relacionados con la funcionalidad de la misma sobre una matriz alimentaria y poder determinar su funcionalidad y factibilidad.

Referencias bibliográficas

- Aprianita, A., Vasiljevic, T., Bannikova, A., y Kasapis, S. (2014). Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. *Journal of Food Science and Technology*. 51(12): p. 3669-3679. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0915-5>
- Araujo de Vizcarrondo, C., Rincón, A.M., y Padilla, F. (2004). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 54(2): p. 241-245. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200016&lng=es&tlng=es (Consultado: 01/12/2023)
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., y Riera, M.A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*. 7(1): 7(1): p. 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Baranzelli, J., Kringel, D. H., Mallmann, J. F., Bock, E., Mello El Halal, S. L., Prietto, L., y Guerra Dias, A.R. (2019). Impact of wheat (*Triticum aestivum* L.) germination process on starch properties for application in films. *Starch-Stärke*, 71(7-8), 1800262. <https://doi.org/10.1002/star.201800262>
- Basiak, E., Galus, S., y Lenart, A. (2015). Characterization of composite edible films based on wheat starch and whey-protein isolate. *International Journal of Food Science & Technology*. 50(2): p. 372-380. doi:10.1111/ijfs.12628
- Bello-Pérez, L.A., I.A. Farhat, O. Paredes-López, E.A. Acevedo, M.A. Ottenhof, y J. Ortiz-Cereceres. (2015). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39(4): p. 419-429.
- Bustillos-Rodríguez, J.C., J.M. Tirado-Gallegos, M. Ordóñez-García, P.B. Zamudio-Flores, J.d.J. Ornelas-Paz, C.H. Acosta-Muñiz, G. Gallegos-Morales, D.E. Páramo-Calderón, y C. Rios-Velasco. (2018) Physicochemical, thermal and rheological properties of three native corn starches. *Food Science and Technology*. 39: p. 149-157. <https://doi.org/10.1590/fst.28117>
- Bustillos-Rodríguez, J.C., M. Ordóñez-García, J.M. Tirado-Gallegos, P.B. Zamudio-Flores, J.d.J. Ornelas-Paz, C.H. Acosta-Muñiz, G. Gallegos-Morales, D.R. Sepúlveda-Ahumada, M.Á. Salas-Marina, y D.I. Berlanga-Reyes. (2019). Physicochemical, thermal and rheological properties of native and oxidized starch from corn landraces and hybrids. *Food Biophysics*. 14(2): p. 182-192. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09569-z>
- Bruni, G.P., J.P. de Oliveira, L.M., Fonseca, F.T., da Silva, A.R.G., Dias, y da Rosa Zavareze, E. (2020). Biocomposite films based on phosphorylated wheat starch and cellulose nanocrystals from rice, oat, and eucalyptus husks. *Starch-Stärke*. 72(3-4): p. 1900051. <https://doi.org/10.1002/star.201900051>
- Chapuel Tarapuez, A.Y., y Reyes Suárez, J.X. (2019). Obtención de una película biodegradable a partir de los almidones de semilla de aguacate (*Persea americana* Mill) y banano (*Musa acuminata* AAA) para el recubrimiento de papaya, in Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil: Guayaquil, Ecuador. p. 158.
- Chinma, C.E., Ariahu, C.C., y Abu, J.O. (2013). Chemical composition, functional and pasting properties of cassava starch and soy protein concentrate blends. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1179-1185. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0451-8>
- Farahnaky, A., Saberi, B., y Majzoobi, M. (2013) Effect of glycerol on physical and mechanical properties of wheat starch edible films. *Journal of Texture Studies*. 44(3): p. 176-186. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12007>
- García, A., Pacheco-Delahaye, E., Tovar, J., y Pérez, E. (2007). Caracterización fisicoquímica y funcional de las harinas de arracha (*Arracacia xanthorrhiza*) para sopas instantáneas. *CYTA-Journal of Food*. 5(5): p. 384-393.
- Golfam, R., Kiarostami, K., Lohrasebi, T., Hasrak, S., y Razavi, K. (2021). A review of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Farming and Management*. 6(1), 47-57. <https://doi.org/10.31830/2456-8724.2021.007>
- Huang, J., Wang, Z., Fan, L., y Ma, S. (2022). A review of wheat starch analyses: Methods, techniques, structure and function. *International Journal of Biological Macromolecules*. 203(1): p. 130-142. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.149>
- Kumar, S., Basumatary, I.B., Mukherjee, A., y Dutta, J. (2022). An Overview of Natural Biopolymers in Food Packaging. *Biopolymer-Based Food Packaging*; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken. NJ, USA, 1-28. <https://doi.org/10.1002/9781119702313.ch1>
- Lai, C. Y., Dong, Q.Y., Chen, J.X., Zhu, Q.S., Yang, X., Chen, W.D., y Zhu, L. (2018). Role of extracellular polymeric substances in a methane based membrane biofilm reactor reducing vanadate. *Environmental Science & Technology*. 52(18), 10680-10688. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02374>
- Lauer, M. K., y Smith, R. C. (2020). Recent advances in starch-based films toward food packaging applications: Physicochemical, mechanical, and functional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3031-3083. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12627>
- Maningat, C.C., Seib, P.A., Bassi, S.D., Woo, K.S., y Lasater, G.D. (2009). Wheat starch: production, properties, modification and uses. In *Starch*, Capítulo 10. (pp. 441-510). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00010-0>

- Malalgoda, M., Ohm, J. B., Howatt, K. A., y Simsek, S. (2020). Pre-harvest glyphosate application and effects on wheat starch chemistry: Analysis from application to harvest. *Journal of Food Biochemistry*, 44(8), e13330. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13330>
- Meaño-Correa, N., Ciarfella Pérez, A.T., y Dorta Villegas, A.M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*. 26(2): p. 182-188. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000200011 (Consultado: 01/12/2023)
- Mello-El Halal, S.L., D. Hüttner Kringel, E. da Rosa Zavareze, y Guerra Dias, A.R. (2019). Methods for extracting cereal starches from different sources: A review. *Starch-Stärke*. 71(11-12): p. 1900128. <https://doi.org/10.1002/star.201900128>
- Mohammed, A.A., Omran, A.A.B., Hasan, Z., Ilyas, R.A., y Sapuan, S.M. (2021). Wheat biocomposite extraction, structure, properties and characterization: a review. *Polymers*. 13(21), 3624. <https://doi.org/10.3390/polym13213624>
- Molavi, H., Behfar, S., Shariati, M. A., Kaviani, M., y Atarod, S. (2021). A review on biodegradable starch based film. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2021, 456-461. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.5.456-461>
- Morocho-Pilataxi, M.C., V.M. Dalgo-Flores, L.M. Flores-Fiallos, y G.C. Chango-Lescano. (2021). Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. *Dominio de las Ciencias*. 7(4): p. 623-637. : <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2114>
- Saeed, A.A.H., Saimon, N.N., Ali, M.W., Kidam, K., Jusoh, Y.M., Jusoh, M., y Zakaria, Z.Y. (2018). Effect of particle size on the explosive characteristics of grain (Wheat) starch in a closed cylindrical vessel. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 571-576. <https://doi.org/10.3303/CET1863096>
- Sapper, M., y Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*. 8(5), 152. <https://doi.org/10.3390/coatings8050152>
- Šárka, E., Kruliš, Z., Kotek, J., Růžek, L., Korbářová, A., Bubnik, Z., y Růžková, M. (2011). Application of wheat B-starch in biodegradable plastic materials. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(3), 232-242. <https://doi.org/10.17221/292/2010-cjfs>
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., y Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 52(1): p. 38-58. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13266>
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., y Vuong, Q.V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 132, 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>
- Teng, C., Chen, D., Wu, G., y Campanella, O.H. (2021). Non-invasive techniques to study starch structure and starchy products properties. *Current Opinion in Food Science*. 38, 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.008>
- Tirado-Gallegos, J., Zamudio-Flores, P., Ornelas-Paz, J.d.J., Rios-Velasco, C., Acosta-Muñiz, C., Gutiérrez-Meraz, F., Islas-Hernández, J., y Salgado-Delgado R. (2016). Efecto del método de aislamiento y el estado de madurez en las propiedades fisicoquímicas, estructurales y reológicas de almidón de manzana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 15(2): p. 391-408. <https://doi.org/10.24275/rmiq/alim1130>
- Wang, Z., Ma, S., Sun, B., Wang, F., Huang, J., Wang, X., y Bao, Q. (2021). Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 177: p. 474-484. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.175>
- Zhao, H., Dai, T., Jiang, D., y Cao, W. (2008). Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 194(1), 47-54. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00283.x>
- Zhao, T., Li, X., Zhu, R., Ma, Z., Liu, L., Wang, X., y Hu, X. (2019). Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch. *Carbohydrate Polymers*. 218: p. 163-169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.061>
- Zi, Y., Shen, H., Dai, S., Ma, X., Ju, W., Wang, C., Guo, J., Liu, A., Cheng, D., y Li, H. (2019). Comparison of starch physicochemical properties of wheat cultivars differing in bread-and noodle-making quality. *Food Hydrocolloids*. 93: p. 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.014>
- Zhu, F. (2019). Starch based aerogels: Production, properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2019. 89, p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.001>



ELABORACIÓN DE ENSILAJE A BASE DE NOPAL (*Opuntia* SPP), ALTERNATIVA FORRAJERA PARA LA ALIMENTACIÓN DE GANADO

Jimena Veleta Cruz¹, Wendy Enríquez Murillo²,
Magali Ordóñez García³, Laura Gabriela Villanueva Romero⁴, Juan Carlos Bustillos Rodríguez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 19/01/2023 Aceptado: 29/11/2023

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a2>

Resumen.- Las condiciones climatológicas presentes en las zonas áridas o semiáridas dificultan el desarrollo de las actividades agropecuarias, debido principalmente a la escasa presencia de agua. El nopal (*Opuntia* spp.) es un recurso vegetal importante en el norte de México, que puede ser utilizado como alternativa forrajera para la alimentación de ganado. El objetivo del presente trabajo fue la elaboración y caracterización fisicoquímica de un ensilaje a base de nopal, dicho ensilaje fue elaborado utilizando una fermentación aeróbica semisólida con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, melaza como fuente rica en glucosa y urea para potenciar el fermento del nopal. Los valores de aw y acidez obtenidos no mostraron diferencia significativa entre el tiempo cero (T₀) y a las 72 h de fermentación (T₇₂), mientras que el pH mostró un incremento gradual conforme transcurrían las horas de fermentación 5.01 (T₀) y 7.01 (T₇₂), al igual que el contenido de proteínas (%) incrementó significativamente de 6.60 y 32.77 al T₀ y T₇₂, respectivamente. Por lo que un ensilaje de nopal puede resultar una alternativa viable para la alimentación de ganado bovino al ser un alimento nutritivo y de fácil obtención.

Palabras Clave: Aprovechamiento forrajero, bovinos, fermentación, *Saccharomyces cerevisiae*.

PRODUCTION OF SILAGE BASED ON NOPAL (*Opuntia* SPP), FORAGE ALTERNATIVE FOR LIVESTOCK FEEDING

Abstract.- The climatic conditions in arid and semi-arid zones hinder the development of agricultural and livestock activities, mainly due to the scarce presence of water. The nopal (*Opuntia* spp.) is an important plant resource in northern Mexico, which can be used as a forage alternative for cattle feed. The objective of the present work was the elaboration and physicochemical characterization of a nopal-based silage, this was elaborated using a semisolid aerobic fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* yeast, molasses as a rich source of glucose and urea to enhance the nopal ferment. The a_w and acidity values obtained did not show a significant difference between time zero (T₀) and 72 h of fermentation (T₇₂), while the pH showed a gradual increase as fermentation hours 5.01 (T₀) and 7.01 (T₇₂) elapsed, as well as the protein content (%) increased significantly from 6.60 and 32.77 at T₀ and T₇₂, respectively. Therefore, a nopal silage can be a viable alternative for cattle feeding as it is a nutritious and easily obtained food.

Keywords: Forage use, cattle, fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*.

Introducción

Si bien la agricultura familiar es económicamente crucial para un país, los productores de las regiones semiáridas a nivel mundial son los más vulnerables a los impactos del cambio climático, la combinación de un entorno adverso y una actividad económica dependiente de la naturaleza conduce a una vulnerabilidad extrema de los sistemas de producción, representada por colapsos virtuales en condiciones climáticas desfavorables para la producción, esto resulta en una fragilidad económica, ya que en este tipo de regiones las sequías periódicas tienen un gran impacto en las poblaciones rurales, lo que provoca graves pérdidas socioeconómicas que se reflejan en la economía a nivel nacional (de Oliveira et al., 2019).

¹ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0008-4014-2165> 18610@itcdcuauhtemoc.edu.mx

² Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0000-5861-3596> wendi.31@outlook.es

³ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0009-4203-4632> mordonez@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁴ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-4833-5286> lvillanueva@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-5485-8323> jbustillos@itcdcuauhtemoc.edu.mx (**Autor correspondiente**).

En México se estima que el 66.2% de la superficie territorial se encuentra dentro de lo que se considera clima árido y semiárido, incluyendo al estado de Chihuahua (Hernández et al., 2019). Las regiones semiáridas se caracterizan por un ecosistema naturalmente frágil debido a la ocurrencia de limitaciones en la disponibilidad de agua (de Albuquerque Saraiva et al., 2020). Dichas condiciones climatológicas dificultan las actividades agropecuarias debido a la escasez de lluvias durante la mayor parte del año. Aunado a esto, los efectos del cambio climático han impactado directamente en la producción pecuaria (Sánchez et al., 2018). La producción de ganado lechero y de carne es una de las pocas actividades económicamente posibles en las regiones semiáridas en las que la alimentación del ganado se caracteriza por el uso de forrajes cultivados y vegetación nativa (Inácio et al., 2020).

De acuerdo con datos de la población ganadera en el año 2020, Chihuahua se encontraba en tercer y cuarto lugar en cuanto al número de cabezas de ganado bovino destinadas a la producción de leche y carne respectivamente (SIAP, 2022). En este sentido, el constante sobrepastoreo de los pastizales causa una gran pérdida de vegetación natural y por ende ocasiona la degradación del suelo, esta escasez de pasto aumenta cada año más y es perjudicial para la alimentación animal, lo que implica la búsqueda inmediata de soluciones.

Por otra parte, el incremento del hato ganadero trae como consecuencia que la demanda de alimentos para el ganado aumente considerablemente cada año, siendo la principal limitante la falta de forraje verde para la alimentación animal (Hajji et al., 2022). Por lo que el ganado es alimentado con recursos forrajeros de baja calidad nutricional, especialmente durante el periodo invernal y de sequía, trayendo como consecuencia bajos niveles de producción y productividad pecuaria, como consecuencia de esto, se emplean los esquilmos agrícolas, ya que son una fuente de energía abundante y barata para los rumiantes, y a pesar de que se utilizan durante gran parte del año en muchas regiones de México, su aporte nutricional resulta insuficiente (Fernández Taype et al., 2021; Inzunza et al., 2017). Aunado a esto, la limitación existente de alimentación es ocasionada en parte por la baja disponibilidad de plantaciones establecidas que permitan un abastecimiento continuo de material vegetal y, por otra parte, las pocas alternativas con las que cuentan los productores ganaderos para dar un mayor aprovechamiento a los escasos recursos con los que cuentan, y poder así mejorar la alimentación enfocada a los animales rumiantes (Fair et al., 2022).

De esta manera, los pequeños productores se han visto en la necesidad de implementar estrategias de alimentación. El uso de plantas de metabolismo ácido de las crasuláceas tiene un gran potencial ya que son cultivos altamente eficientes en el uso del agua, por ser el nopal una planta crasulácea, es una opción adecuada para expandir la producción a tierras marginales semiáridas de nuestro país (Ramírez-Arpide et al., 2018).

El nopal (*Opuntia* spp.) es un recurso vegetal importante en el norte de México, esta planta que pertenece a la familia de las cactáceas, es originaria de América y actualmente se cultiva en muchos países del mundo (México, Sicilia, Chile, Brasil, Turquía, Corea, Israel, Argentina, China, y el norte de África), el nopal se ha adaptado durante milenios a las temperaturas extremas y la prolongada sequía, por lo que se considera una fuente viable de energía digestible, agua y vitaminas durante la época de sequía en muchos de los entornos del mundo y se considera un alimento valioso en regiones donde otras plantas no pueden sobrevivir debido a condiciones ambientales extremas (Araiza-Rosales et al., 2021; Samir et al., 2023; Vastolo et al., 2020). El nopal tiene múltiples compuestos funcionales que podrían aplicarse en alimentos funcionales o como fuente de nutraceuticos, esto hace que sea utilizado en diferentes propósitos, por ejemplo además de alimentar al ganado, en productos de confitería, panadería y lácteos a base de azúcar, para mejorar la calidad y los atributos sensoriales y proporcionaron actividades biofuncionales, para purificar el agua y para restaurar o controlar la erosión de las tierras áridas y semiáridas, y mejorar la pintura de las casas (Guevara-Araza, 2021).

En los últimos años, el cultivo del nopal ha aumentado la seguridad alimentaria y reducido el hambre y la pobreza en las zonas áridas y semiáridas a nivel mundial, en México, la utilización del nopal como forraje se basa principalmente en la población de cactus silvestres, mientras que en otros países como Brasil, Túnez, Sudáfrica y Marruecos, el forraje de nopal se produce en huertas cultivadas, que pueden tener un uso múltiple como alimento (hojas y fruta), productos procesados industrialmente o solo forraje, todo esto es posible debido a que es una fuente de agua y energía, principalmente durante la estación seca del año (Dubeux Jr et al., 2021).

El nopal se caracteriza por presentar cladodios (hojas planas en forma de paletas comestibles de cactus espinosos de tallo plano), los cuales son apreciados para fines medicinales y alimenticios (Ramírez-Arpide et al., 2018). Estas estructuras (cladodios) del nopal son hojas químicamente modificadas, compuestas por clorofila y un gran porcentaje de agua en su interior que pueden servir como alimento para humanos y animales (da Silva Brito et al., 2020). Sin

embargo, respecto al contenido nutricional dicha planta presenta un bajo contenido proteico (4% aproximadamente) lo que limita su uso como única fuente de forraje (Torres-Ponce et al 2015).

Debido a esto, es necesario desarrollar tecnologías que permitan incrementar el valor nutrimental del nopal como, por ejemplo, mediante procesos fermentativos por medio de los cuales se puede obtener biomasa a partir del empleo de los carbohidratos presentes en el sustrato, estos procesos fermentativos permiten al mismo tiempo, hidrolizar la celulosa y el empleo de la glucosa, lo que facilita la disponibilidad de nutrientes hacia el ganado, y por ende resulta en una opción viable de alimentación alternativa (Herrera Torres et al., 2017). Cuando se utiliza en forma de ensilaje, el nopal presenta ventajas agronómicas y operativas, ya que su proceso de ensilado permite la cosecha de toda la plantación, lo que proporciona una mayor capacidad de crecimiento y, consecuentemente, un rendimiento uniforme del cultivo, además, permite reducir la mano de obra humana involucrada en la cosecha y el abastecimiento periódico no solo en el período de sequía, sino de manera intensiva durante todo el año (Elsheikh et al., 2023; Pereira et al., 2021).

El ensilaje es un proceso anaeróbico para la conservación de cultivos húmedos por fermentación en condiciones óptimas de ensilado, las bacterias fermentan principalmente carbohidratos solubles, preservando así los nutrientes en el forraje (Hajji et al., 2022). El proceso de ensilado se ha utilizado para la conservación de alimentos durante más de 3,000 años, actualmente es la técnica más utilizada para la conservación de alimentos para rumiantes (Ávila y Carvalho, 2020). El proceso de fermentación en estado sólido aumenta el contenido de proteína en el sustrato al aumentar la proteína unicelular contenida en la pared celular de los microorganismos fermentadores (Arreola et al., 2019).

El ensilado es uno de los ingredientes principales en las dietas del ganado rumiante y es una fuente importante de nutrientes, particularmente de energía y fibra digestible, lo que hace que este tipo de alimento se encuentre entre los ingredientes dietéticos más comunes que se utilizan en las operaciones modernas de producción de lácteos y carne (Grant y Ferraretto, 2018). Además, ante los cambios ambientales que se están experimentando, el aprovechamiento de algunos recursos vegetales presentes podría ser una forma de satisfacer las necesidades de los animales, al mismo tiempo que se hace más sostenible su producción y se reduce la producción de residuos o el daño causado por el sobrepastoreo (Vastolo et al., 2020). Sin embargo, la proteína soluble en combinación con una cantidad limitada de carbohidratos solubles en agua presentes en los insumos del ensilaje, podrían dificultar una producción y conservación eficiente del ensilado, disminuyendo la calidad del producto final e interfiriendo durante el proceso de ensilado (Lima et al., 2010).

La adición de ciertos aditivos al ensilaje del nopal como lo son la urea y la melaza conduce a una nutrición rica y abundante para los microorganismos presentes en el proceso fermentativo, ya que la melaza, por ejemplo, contiene altos niveles de carbohidratos solubles y disponibles, así mismo, se recomienda incluir a la urea dentro de la alimentación con forrajes como suplemento, esto con la finalidad de cubrir los requerimientos nutricionales y metabólicos de los rumiantes (Mat et al., 2020). En este mismo sentido, la melaza ha sido propuesta como un estimulante eficaz para mejorar la calidad del ensilado mediante el aumento de la carga microbiana inicial y el sustrato fermentable (Ni et al., 2017).

Por otra parte, se ha estudiado la inclusión de urea durante el proceso de ensilaje del forraje para disminuir también las pérdidas durante el proceso de fermentación del ensilaje y mejorar la estabilidad aeróbica, además de reducir o limitar el crecimiento poblacional de microflora ajena al ensilado, logrando una estabilidad en el producto (Santos et al., 2020). Por otra parte, la urea se utiliza como aditivo alimentario en rumiantes para facilitar la digestión de los forrajes mediante la fermentación digestiva, ya que la naturaleza de la lignificación unida al carbohidrato estructural presente en los piensos para ganado puede ser una barrera importante para la digestibilidad, sin embargo, se dispone de información limitada sobre el efecto de aditivos como la urea en la conservación de nutrientes y la calidad del ensilaje para rumiantes. (Kaewpila et al., 2020).

Respecto al ensilaje de nopal, resulta bastante viable debido a que permite una adecuada conservación de dicho material vegetal, y a pesar de su alto contenido de humedad, debido a la formación de mucílago se puede disminuir la actividad del agua, controlando el desarrollo de clostridios y enterobacterias, además de reducir las pérdidas de efluentes (Pereira et al., 2019). Otro aspecto a evaluar en el proceso de ensilado de nopal está relacionado con su porcentaje de carbohidratos solubles en agua, ya que el nopal es un forraje rico en polisacáridos pécticos y azúcares esterificados como galactosa, arabinosa, xilosa y fructosa que hacen posible la fermentación en el ensilaje, aunque presenta bajos contenidos de materia seca y proteína bruta. En este mismo sentido, la inclusión de ensilaje de nopal como alternativa

en la dieta de los rumiantes reduce la ingesta de agua y disminuye la competencia entre humanos y animales por el agua en ambientes áridos y semiáridos donde los recursos hídricos son limitados (da Silva Brito et al., 2020).

Dado lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue la elaboración y caracterización fisicoquímica a nivel de laboratorio de un ensilaje a base de nopal adicionado con melaza líquida y urea granulada con la finalidad de determinar su posible utilización como alternativa en la alimentación de ganado bovino.

Materiales y métodos

Elaboración del ensilaje de nopal

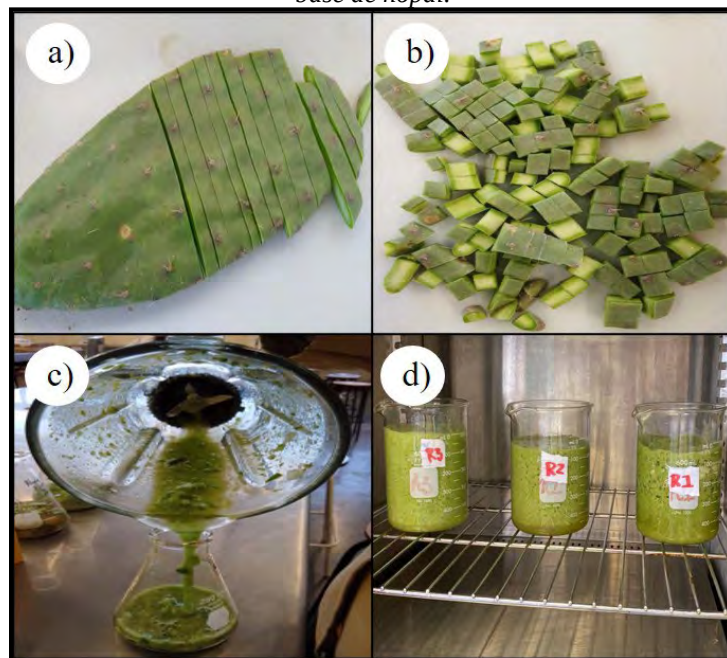
Para la elaboración del ensilaje de nopal se probaron cuatro tratamientos con la finalidad de determinar cuál presentaba mejores características de un ensilaje, la composición de cada uno de los tratamientos evaluados se muestra en la Tabla 1. Una vez realizados los tratamientos y de acuerdo a las características de un producto fermentado se decidió trabajar con el tratamiento #3, el cual consistió en lo siguiente. Se procesaron 93 g de nopal fresco mediante fermentación aeróbica semisólida, para lo cual un cladodio de *Opuntia* se lavó y desinfectó, se fraccionó en pequeñas partes de manera manual, luego se licuó y se vertió en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, posteriormente se añadió 1 g de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (marca comercial), 1 g de urea y 5 g de melaza líquida, luego se cerró para generar las condiciones propias de la fermentación. La mezcla se mantuvo en movimiento con ayuda de un agitador magnético e incubada a 37 °C por 72 h (Figura 1).

Tabla 1. Tratamientos utilizados para elaboración del ensilaje de nopal (*Opuntia* spp.).

Tratamiento	Insumo (cantidades expresadas en gramos)				Triturado/Licuado
	Nopal	Levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	Urea	Melaza	
1	93	1	1	5	Triturado
2	98	1	1		Triturado
3	93	1	1	5	Licuado
4	98	1	1		Licuado

Nota: En un estudio preliminar se evaluaron cuatro tratamientos para validar la formulación correcta de insumos y obtener una fermentación más óptima, resultando ser la formulación #3 la más adecuada.

Figura 1. Elaboración del ensilaje a base de nopal (*Opuntia* spp.). a) Cladodio de *Opuntia* spp.; b) Disminución del tamaño del nopal; c) Licuado y mezclado de los insumos del ensilaje; d) Fermentación y producción del ensilaje a base de nopal.



Nota: Etapas de desarrolladas para la obtención del ensilaje de nopal (*Opuntia* spp.).

Caracterización fisicoquímica del ensilaje de nopal

El análisis fisicoquímico se determinó de acuerdo a los métodos oficiales descritos por la AOAC, comprendiendo los siguientes análisis: proteína cruda (método 991.20) y acidez titulable (método 942.15). pH Para el análisis de pH se utilizó un phmetro de mesa (Orion 2 Star, Thermo Scientific), el cual fue calibrado previamente. Se tomaron muestras de 10 mL de la muestra de ensilaje y se colocaron en vasos de precipitado de 50 mL, lo suficiente para cubrir el electrodo del equipo, luego se introdujo el electrodo en la muestra, este permaneció ahí hasta que la lectura fue estable (Maki-Díaz et al., 2015). Actividad de agua (a_w). La actividad de agua (a_w) fue determinada mediante un equipo Series 3 AquaLab, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Análisis estadístico

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar con un mínimo de tres repeticiones. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza balanceado (ANDEVA) y la prueba de Tukey ($p = 0.05$) utilizando el software Statistical Analysis System (SAS versión 9.0).

Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización fisicoquímica se muestran en la Tabla 2. Los valores correspondientes a la actividad de agua (a_w) del ensilaje de nopal no mostraron diferencias significativas durante el proceso de fermentación 0.92 al tiempo cero de fermentación (T_0) y 0.88 a las 72 horas después de iniciado el proceso (T_{72}). Una baja variación en la actividad acuosa del ensilaje resulta deseable debido a que evita el desarrollo de microorganismos contaminantes, además de reducir las pérdidas de producto (Pereira et al., 2019). La nula variación en la actividad de agua puede estar relacionada con el mucílago del nopal, ya que los componentes mucilaginosos contienen polímeros tales como cadenas de ácido β -D-galacturónico enlazado (1-4) y residuos de L-ramnosa enlazados R(1-2) que sugieren que el papel fisiológico del mucílago vegetal es regular el contenido de agua celular durante sequías prolongadas permitiendo mantener estable su humedad y valor nutritivo, por lo que la cantidad de agua presente en el interior de las células vegetales se mantiene estable inclusive después de haber sido cortados los cladodios de la plata hasta por 21 días (Dubeux Jr et al., 2021). En este mismo sentido, se ha reportado que, debido a la presencia de mucílago de nopal, se reduce la pérdida de efluentes y la cantidad de carbohidratos solubles lo que favorece su utilización como alternativa alimenticia dirigida hacia el ganado (Pereira et al., 2021).

Por otra parte, Rezende et al., (2020), mostraron que el alimentar el ganado bovino con ensilaje a base nopal en lugar de ensilaje de sorgo, se logró un aumento en la eficiencia de alimentación y la disminución del tiempo de rumia, lo cual se atribuye a que el ensilaje de nopal contiene un mayor contenido de agua contenida en el mucílago y hay una menor pérdida de la misma durante el proceso fermentativo. En ocasiones los ensilajes a base de plantas de cereales requieren de ser humedecidos de manera ocasional para lograr un ensilaje estable, pero en el caso del ensilaje de nopal, se resuelve un problema importante asociado con el almacenamiento, ya que el nopal es una planta con un contenido de agua importante y no es necesario realizar esta actividad para mantener una humedad adecuada, lo que se refleja tanto en un menor gasto económico, así como en una mínima variación nutritiva (Pereira, et al., 2021).

Respecto a las características físicas del ensilaje en términos de color, aroma y textura una vez transcurrido el tiempo de fermentación se describen a continuación, el color del ensilado fue marrón verdoso, con un aroma agradablemente ácida-alcohólica, y una textura firme y ligeramente húmeda con ausencia de moho. De acuerdo a las características físicas observadas en el ensilaje, se considera que se encuentran dentro de los parámetros descritos para este tipo de productos fermentados, esto puede ser atribuido a que un adecuado proceso y la manipulación correcta de las condiciones permite la obtención de un ensilaje de buena calidad con ausencia de agentes extraños, principalmente moho y hongos (Mat et al., 2020). Por otra parte, Pereira, et al., (2021), mencionan que el someter las plantas a un proceso se puede mejorar el consumo y la digestibilidad de algunos nutrientes.

Los valores de pH fueron incrementando conforme transcurrió la fermentación partiendo de 5.01 al T_0 , hasta alcanzar un valor de 7.01 al T_{72} , valores neutros de pH son indicativo de un buen proceso de fermentación y conservación, además de garantizar la estabilidad del ensilaje al reducir la pérdida de nutrientes por fermentaciones secundarias o la acidificación por la carga microbiana ajena al bioproceso fermentativo (Araiza-Rosales et al, 2021). Resultados similares de pH fueron reportados previamente por Hajji et al., (2022), al realizar un ensilaje de nopal (*Opuntia ficus-indica*) adicionado con melaza donde el valor de pH final fue de 6.65.

Por su parte, la acidez se mantuvo sin cambios significativos durante el proceso, la acidez está directamente relacionado con los valores de pH, ya que la acción de la levadura provoca un incremento del pH, ensilajes con valores de pH que

tienden a la neutralidad (7.0) presentan una mayor estabilidad e indican una baja carga microbiana ajena al producto final (Alejos De La Fuente, 2013). Por su parte Santos et al., (2020), realizaron un estudio donde demostraron que el uso de urea como aditivo redujo las pérdidas y mejoró el valor nutricional y la estabilidad aeróbica de ensilajes de maíz, además de interferir en la caída del pH durante el proceso de ensilaje, restringiendo el crecimiento poblacional debido al taponamiento de la masa ensilada y elevando el pH en un rango adecuado a la actividad microbiana, así mismo, mencionan que la hidrólisis de la urea se produce en las primeras horas del proceso de fermentación, elevando el pH del ensilado y la resistencia a la acidificación rápida e intensa, por lo que no existe una variación significativa en la evaluación de este parámetro durante el proceso. Debido a la resistencia de los alimentos (forrajes) fibrosos a la digestión, se recomienda que durante el tratamiento fermentativo se tenga en cuenta la incorporación de ciertos aditivos al material vegetal, que sirven para mejorar o facilitar la digestibilidad, esto aunado al procesamiento mecánico, la adición de agua y el calor que se genera durante la fermentación (Fair et al., 2022).

Por otra parte, el valor de proteína se incrementó considerablemente conforme la fermentación transcurrió, iniciando en un valor promedio de 6.60 % al T_0 hasta alcanzar 32.77 % al T_{72} , resultados similares fueron reportados por Hernández et al., (2019), al mostrar un incremento de 7.08 a 33.52 % al finalizar el proceso fermentativo. El contenido proteico resulta muy relevante en los forrajes, ya que se refleja en el aumento de peso vivo del ganado (Herrera Torres et al., 2017). Sin embargo, el contenido proteico del producto obtenido a través de este tipo de fermentaciones semisólidas es muy variable, lo cual es atribuido principalmente a una variación significativa entre la eficiencia de las cepas para actuar en la fermentación del ensilaje (Ávila y Carvalho, 2020).

La adición de la melaza de remolacha cuyo contenido se basa principalmente en azúcares (carbohidratos) y elementos minerales (Ca, Mg, Na, K, Fe) permite un mayor desarrollo de los microorganismos fermentadores, agilizando y favoreciendo el proceso de ensilaje, además de aumentar el contenido de materia seca en el producto final, esto puede deberse a que las levaduras consumieron más carbohidratos cuando el azúcar estaba disponible en abundancia, la melaza proporcionó sustrato suficiente para el crecimiento de las levaduras en el ensilaje, lo que aceleró el proceso de fermentación y dio como resultado una mejor calidad de la fermentación (Hajji et al., 2022). En un estudio llevado a cabo por Lima et al., (2010), mostraron como el adicionar melaza a un ensilaje a base de sorgo aumenta el contenido de propionato en el producto final, lo que resulta benéfico, ya que se ha descrito que este cambio en la fermentación del rumen (menos acetato y más propionato) beneficia a la producción animal, lo que resulta, por ejemplo, en un aumento de la producción de leche. Así mismo, el ácido propiónico tiene una alta acción antifúngica, lo que puede favorecer el aumento de la estabilidad aeróbica de los ensilajes (da Silva Brito et al., 2020).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del ensilaje de nopal (*Opuntia spp.*) a través del proceso fermentativo.

Tiempo de fermentación	Parámetro evaluado			
	(a _w)	pH	Acidez titulable	Proteína (%)
0 h	0.92 ± 0.01 ^a	5.01 ± 0.05 ^c	0.17 ± 0.00 ^a	6.60 ± 0.51 ^d
24 h	0.91 ± 0.02 ^a	5.56 ± 0.13 ^{bc}	0.15 ± 0.30 ^a	16.26 ± 1.02 ^c
48 h	0.89 ± 0.03 ^a	6.20 ± 0.38 ^{ab}	0.25 ± 0.08 ^a	21.84 ± 1.02 ^b
72 h	0.88 ± 0.02 ^a	7.01 ± 0.25 ^a	0.12 ± 0.05 ^a	32.77 ± 2.29 ^a

Nota: Los valores representan la media de al menos tres mediciones individuales ± error estándar. Los valores en la misma columna conectados por la misma letra no son estadísticamente diferentes.

Conclusiones

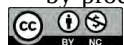
Finalmente, cuando se utilizan las técnicas apropiadas, existe la posibilidad de mejorar la productividad ganadera en ambientes secos al combinar la productividad del nopal y su valor nutritivo (dos Santos et al., 2021). El utilizar al nopal después de un proceso fermentativo adecuado resulta viable para generar un material alternativo para la alimentación animal, ya que el ensilaje es una técnica adecuada para conservar o mejorar los parámetros nutricionales del nopal, especialmente con la adición de aditivos que permitan enriquecer el alimento. Por lo que investigaciones futuras deben enfocarse en el aprovechamiento de los recursos disponibles para dar un valor agregado al nopal y una alternativa alimenticia al ganado, especialmente, el que se encuentra ubicado en zonas áridas o semiáridas de México.

Referencias bibliográficas

Alejos De La Fuente, J.I. (2013). Ensilaje de pencas de nopal tunero con excretas pecuarias, in Posgrado de recursos Genéticos y Productividad Ganadera. Colegio de Posgraduados: Texcoco, Estado de México, México. p. 97.

- Araiza-Rosales, E., González-Arreola, A., Pámanes-Carrasco, G., Murillo-Ortiz, M., Jiménez-Ocampo R., y Herrera-Torres, E. (2020). Calidad fermentativa y producción de metano en ensilados de rastrojo de maíz adicionados con nopal fermentado y sin fermentar. *Abanico Veterinario*, 2021. 11. <https://doi.org/10.21929/abavet2021.24>
- Arreola, A.G., Ortiz, M.M., Carrasco, G.P., Saucedo, F.R., y Torres, E.H. (2019). Prickly pear cladodes. *Journal of Animal & Plant Sciences (J. Anim. Plant Sci.)*, 40(1), 6544-6553. <https://www.m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2019/04/4.Gonzalez-1.pdf>
- Ávila, C.L.S., y Carvalho, B.F. Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of applied microbiology*, 128(4), 966-984. <https://doi.org/10.1111/jam.14450>
- da Silva Brito, G.S.M., Santos, E.M., de Araújo, G.G.L., de Oliveira, J.S., Zanine, A. D. M., Perazzo, A.F., Campos, F.S., de Oliveira Lima, G.V., y Cavalcanti, H. S. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63905-9>
- de Albuquerque Saraiva, T., de Figueiredo Monteiro, C.C., Feitosa, E. M.S., de Oliveira Moraes, G.S., Netto, A.J., Cardoso, D.B., Rodrigues Magalhães, A.L., y de Melo, A.A.S. (2020). Effect of association of fresh cassava root with corn silage in replacement for cactus cladodes on dairy cow performance. *Tropical animal health and production*, 52(3), 927-933. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02087-7>
- de Oliveira Moraes, G. S., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., de Paula Almeida, M., y de Andrade Ferreira, M. (2019). Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions?. *Livestock Science*, 221, 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.026>
- dos Santos Dubeux Jr, J.C.B., Ferreira dos Santos, M.V.F., Vieira da Cunha, M., Cordeiro dos Santos, D., de Almeida Souza, R.T., Leão de Mello, A.C., y Carvalho de Souza, T. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 2021. 275: p. 114890. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- Dubeux Jr, J.C.B., dos Santos, M.V.F., da Cunha, M.V., dos Santos, D.C., de Almeida Souza, R.T., de Mello, A.C.L., y de Souza, T.C. (2021). Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 275, 114890. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- El Hajji, L., Azzouzi, H., Achchoub, M., Elfazazi, K., y Salmaoui, S. (2022). Ensiling characteristics of prickly pear (*Opuntia-ficus indica*) rejects with and without molasses for animal feed. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 11(4), 541-552. <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2022.1933535.1279>
- Elsheikh, H. A., Abo-Donia, F. M., y Nayel, U. A. (2023). The Impact of Substituting Corn Silage with Cactus Cladodes Silage on Growth Performance and Digestibility in Sheep Rations. *Journal of Animal and Poultry Production*, 14(9), 83-89. <https://doi.org/10.21608/JAPPMU.2023.229940.1086>
- Fair, W. T., Breeden, J. B., Atchley, T. W., Lambert, B. D., Aljoe, Z., Owsley, W. F., & Smith, W. B. (2022). The Use of Removed Mesquite Brush as a Fiber Replacement in Silage Production. *Animals*, 12(20), 2795. <https://doi.org/10.3390/ani12202795>
- Fernández Taype, R., Contreras Paco, J. L., Curasma Ccente, J., Cordero Fernández, A., Rojas De La Cruz, Y. C., Ruiz Vilchez, D., y Huaman Jurado, R. (2021). Efecto de *Saccharomyces cerevisiae* y tiempos de fermentación sobre la composición química del ensilado de avena y cebada. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(6). <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i6.21681>
- Guevara-Arauz, J.C. (2021). Industrial Uses of *Opuntia* spp. By-products. In *Opuntia* spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications (pp. 707-752). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_37
- Grant, R. J., y Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4111-4121. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>
- Hernández, A.F., Rodríguez, F.J.M., Herrera, C.M., Herrera, G.G., Arriaga, O.E., Salazar, J.O., y Bautista, C.B. Fermentación semisólida del nopal (*Opuntia* spp) para su uso como complemento proteico animal. *Revista de Geografía Agrícola*, 2019(63): p. 87-100. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2019.63.04>
- Herrera Torres, E., Murillo, M., Berumen, L., Soto-Cruz, N.O., y Páez-Lerma, J.B. Protein enrichment of *Opuntia ficus-indica* using *Kluyveromyces marxianus* in solid-state fermentation. *Ciencia e Investigación Agraria*, 2017. 44(2): p. 113-120. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i2.1767>
- Herrera-Torres, E., Murillo, M., Berumen, L., Páez, J., y Villarreal, G. Efecto de *Sacharomyces cerevisiae* y *Kluyveromices marxianus* durante el tiempo de fermentación en la calidad nutritiva del nopal forrajero. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2014. 1(1): p. 33-40. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000100004&lng=es&tlng=es
- Inácio, J.G., da Conceição, M.G., Dos Santos, D.C., de Oliveira, J.C.V., Chagas, J.C.C., de Oliveira Moraes, G.S., dos Santos Silva, E.T. y de Andrade Ferreira, M. (2020). Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based

- diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 35. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0916>
- Inzunza, H.D.J.L., García, B.C., León, O.L., Liera, J.E., López, M.L., Camacho, S.J., y Juárez, L.A. (2017). Digestibilidad *in situ* de rastrojo de maíz tratado con enzimas fibrolíticas. *Revista Ciencia y Agricultura*. 14(1): p. 31-37. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5966734>
- Kaewpila, C., Khota, W., Gunun, P., Kesorn, P., & Cherdthong, A. (2020). Strategic addition of different additives to improve silage fermentation, aerobic stability and *in vitro* digestibility of Napier grasses at late maturity stage. *Agriculture*, 10(7), 262. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070262>
- Pereira, G.A., Santos, E.M., Araújo, G.G.L., Oliveira, J. S., Pinho, R.M.A., Zanine, A.D.M., Souza, A.F.N., Macedo, A.J.S., Neto, J.M.C., y Nascimento, T.V.C. (2019). Isolation and identification of lactic acid bacteria in fresh plants and in silage from *Opuntia* and their effects on the fermentation and aerobic stability of silage. *The Journal of Agricultural Science*, 157(9-10), 684-692. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000143>
- Pereira, D.M., Santos, E.M., Oliveira, J.S., Santos, F.N.S., Lopes, R.C., Santos, M.A.C., Corrêa, Y.R., Justino, E.S., Leite, G.M., Gomes, P.G.B., Cruz, G.F.L., y Júnior, P.T. (2021). Effect of cactus pear as a moistening additive in the production of rehydrated corn grain silage. *The Journal of Agricultural Science*, 159(9-10), 731-742. <https://doi.org/10.1017/S002185962100099X>
- Pereira, G.A., Santos, E.M., de Oliveira, J.S., de Araújo, G.G.L., de Sá Paulino, R., Perazzo, A.F., de Farias, J.J., Neto, J.M.C., Lima, G.F., y Leite, G. M. (2021). Intake, nutrient digestibility, nitrogen balance, and microbial protein synthesis in sheep fed spineless-cactus silage and fresh spineless cactus. *Small Ruminant Research*, 194, 106293. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106293>
- Ramírez-Arpide, F. R., Demirer, G. N., Gallegos-Vázquez, C., Hernández-Eugenio, G., Santoyo-Cortés, V. H., y Espinosa-Solares, T. (2018). Life cycle assessment of biogas production through anaerobic co-digestion of nopal cladodes and dairy cow manure. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2313-2322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.180>
- Rezende, F.M., Vêras, A.S.C., Siqueira, M.C.B., Conceição, M.G., Lima, C.L., Almeida, M.P., Mora-Luna, R.E., Neves, M.L.M., Monteiro, C.C.F., y Ferreira, M.A. (2020). Nutritional effects of using cactus cladodes (*Opuntia stricta* Haw Haw) to replace sorghum silage in sheep diet. *Tropical Animal Health and Production*, 52(4), 1875-1880. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02213-w>
- Sánchez, H., Ochoa, G., Alfaro, R., y Peña, P. Evaluación de la capacidad forrajera de *Opuntia ficus*. Manglar, 2018. 14(2): p. 115-124.
- Santos, A.P.M.D., Santos, E.M., Araújo, G.G.L.D., Oliveira, J.S.D., Zanine, A.D.M., Pinho, R.M.A., Lima, C.G.F., Ferreira D.J., Perazzo, A.F., Pereira, D.M., y Santos, F. N.D.S. (2020). Effect of Inoculation with Preactivated *Lactobacillus Buchneri* and Urea on Fermentative Profile, Aerobic Stability and Nutritive Value in Corn Silage. *Agriculture*, 10(8), 335. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080335>
- Samir, M., Raul, B., y López, S. (2023). Potential of *Opuntia Ficus-Indica* Cladodes In M'sila (North ALGERIA) as feed for ruminants: chemical composition and *in vitro* assessment. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 1-7.
- SIAP, Población ganadera: Información sobre el número de animales que se crían en el país con fines de producción, S.D.I.A.y. Pesquera, Editor. 2022: México.
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C.B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M.L., Calderón-Zavala, G., y Anaya-Rosales, S. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 2015. 49(1): p. 31-51.
- Mat, K., Taufik, H.A., Rusli, N.D., Hasnita, C.H., Al-Amsyar, S.M., Rahman, M.M., y Mahmud, M. (2020). Effects of fermentation on the nutritional composition, mineral content and physical characteristics of banana leaves. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 596, No. 1, p. 012089). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/596/1/012089>
- Ni, K., Wang, F., Zhu, B., Yang, J., Zhou, G., Pan, Y.I., Tao, Y. y Zhong, J. (2017). Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage. *Bioresource Technology*, 238, 706-715. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.055>
- Torres-Ponce, R.L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M.D.L., y Nevárez-Moorillón, G.V. El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2015. 6(5): p. 1129-1142.
- Vastolo, A., Calabrò, S., Cutrignelli, M.I., Raso, G., y Todaro, M. (2020). Silage of Prickly Pears (*Opuntia* spp.) juice by-products. *Animals*, 10(9), 1716. <https://doi.org/10.3390/ani10091716>



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIMICROBIANA DE EXTRACTOS DE *MORINGA OLEIFERA* Y *ARTEMISIA LUDOVICIANA* CONTRA *ESCHERICHIA COLI*

Brian Vázquez Almanza¹, Danna Maribel Rodríguez Rentería², Erika Baray³,
Olalla Sánchez Ortiz⁴, Juan Carlos Bustillos Rodríguez⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICO

Recibido: 19/01/2023 Aceptado: 01/12/2023

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a3>

Resumen.- La alimentación es fundamental para la vida y el desarrollo de la población a nivel mundial, por lo que la seguridad alimentaria es un derecho humano básico. La cantidad de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos asociados con productos frescos ha ido en aumento, por lo que es necesario buscar estrategias que aseguren que los alimentos que consumimos se encuentran libre de patógenos. Dado lo anterior, el objetivo del presente estudio fue la obtención de extractos de plantas de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana* y evaluar la capacidad antimicrobiana in vitro de dichos extractos contra *E. coli*. Para lo cual, se obtuvo un aislado de *E. coli* a partir de carne molida de res, así como extractos vegetales de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* utilizando alcohol etílico 96°, a dichos extractos se les evaluó la capacidad antimicrobiana hacia *E. coli*, a través de la medición de los halos de inhibición. A partir de las 24 h post inoculación fue posible observar la presencia de inhibición del crecimiento de la bacteria, especialmente con el extracto de la semilla de *M. oleifera* al presentar un diámetro de inhibición mayor a comparación de los demás extractos, teniendo un promedio de 13.5 mm, seguido de la hoja de *A. ludoviciana* 8.8 mm y la hoja de *M. oleifera* con un promedio de 7.8 mm. Por lo que, dichos resultados contribuyen a respaldar la capacidad antimicrobiana de estas plantas, además de sugerir la elaboración de posibles productos antimicrobianos que permitan ampliar su aplicación y comercialización en el manejo y prevención de enfermedades causadas por patógenos.

Palabras Clave: Alimentos; ETAS; inocuidad; natural; preservación.

EVALUATION OF ANTIMICROBIAL CAPACITY OF *MORINGA OLEIFERA* AND *ARTEMISIA LUDOVICIANA* EXTRACTS AGAINST *ESCHERICHIA COLI*

Abstract.- Food is essential for the life and development of the population worldwide, so food security is a basic human right. The number of foodborne disease outbreaks associated with fresh produce has been increasing, making it necessary to seek strategies to ensure that the food we consume is free of pathogens. Given the above, the objective of this study was to obtain extracts from *Moringa oleifera* and *Artemisia ludoviciana* plants and to evaluate the *in vitro* antimicrobial capacity of said extracts against *E. coli*. For which, an *E. coli* isolate was obtained from ground beef, as well as plant extracts of *M. oleifera* and *A. ludoviciana* using 96° ethyl alcohol, these extracts were evaluated for their antimicrobial capacity against *E. coli*, through the measurement of inhibition halos. From 24 h post inoculation it was possible to observe the presence of inhibition of the growth of the bacteria, especially with the extract of the seed of *M. oleifera* as it presented a greater inhibition diameter compared to the other extracts, having an average of 13.5 mm, followed by the leaf of *A. ludoviciana* 8.8 mm and the leaf of *M. oleifera* with an average of 7.8 mm. Therefore, these results contribute to support the antimicrobial capacity of these plants, in addition to suggesting the development of possible antimicrobial products that allow expanding their application and commercialization in the management and prevention of diseases caused by pathogens.

Keywords: Foods, food diseases, innocuousness, natural, preservation.

¹ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0009-7236-6187> 19610455@itcdcuauhtemoc.edu.mx

² Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0004-3180-0585> 19610459@itcdcuauhtemoc.edu.mx

³ Estudiante de la carrera Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0009-0009-2912-6989> erikabaray@hotmail.com

⁴ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0001-9911-4662> osanchez@itcdcuauhtemoc.edu.mx

⁵ Profesor(a). Tecnológico Nacional de México Campus Cd. Cuauhtémoc. <https://orcid.org/0000-0002-5485-8323> jbastillos@itcdcuauhtemoc.edu.mx (**Autor correspondiente**).

Introducción

Alimentar al mundo de manera sostenible es uno de los grandes desafíos de nuestra sociedad, el incremento exponencial de la población aumenta la demanda de todo tipo de servicios y productos, especialmente de alimentos, esta necesidad debe ser atendida con una combinación de avances científicos y tecnológicos, políticas gubernamentales, intervención institucional e inversión empresarial, innovación y entrega que involucre tanto al consumidor como al mercado (Cole et al., 2018). El desarrollo económico históricamente ha impulsado reducciones tanto en enfermedades infecciosas como en la pobreza en muchos entornos, por ejemplo, en 43 países en vías de desarrollo, el mejoramiento de la infraestructura rural que proporcionó acceso a servicios básicos como saneamiento y agua potable redujo la prevalencia de la desnutrición y las tasas de mortalidad en la población infantil (Rohr et al., 2019).

La alimentación es esencial para la vida y el desarrollo de la población a nivel mundial, por lo que la seguridad alimentaria es un derecho humano básico, sin embargo, miles de millones de personas en el mundo están en riesgo debido al consumo de determinados productos alimenticios que provocan ciertos padecimientos infecciosos día a día (Fung et al., 2018). La contaminación bacteriana en nuestro medio ambiente es preocupante, principalmente la contaminación en aguas potables, vegetales, alimentos, suelos que se encuentran cerca de nuestra actividad diaria (Nurafifah et al., 2021). Las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos (ETAS) están surgiendo a nivel mundial a un ritmo sin precedentes, dichos padecimientos son provocados por ingerir productos alimenticios que se encuentran contaminados por microorganismos o sustancias químicas, los cuales representan un riesgo a la salud y la vida de las personas (Fernández et al., 2021).

El consumo de alimentos o productos “frescos” como frutas y verduras confiere un alto valor nutritivo a la dieta humana. Sin embargo, la cantidad de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos asociados con productos frescos ha ido en aumento, ya que cuando se consumen crudos, pueden ser una fuente de exposición a una gran diversidad de microorganismos presentes. Los productos frescos pueden contaminarse con patógenos bacterianos en múltiples puntos a lo largo de su cadena de producción y suministro por contacto directo con los desechos fecales durante la agricultura, como el riego con aguas residuales y el uso de biosólidos o estiércol animal como fertilizante, la contaminación también puede ocurrir durante el transporte y la manipulación. de los productos, mientras que estas posibles vías de contaminación se han estudiado bien para los patógenos tradicionales, sus contribuciones relativas a la contaminación de los productos frescos (Rahman et al., 2022).

Hoy en día, las enfermedades infecciosas siguen siendo la principal causa de muerte prematura en el mundo y se ha informado que son responsables de la muerte de unas 50,000 personas a diario (Oyebamiji et al., 2021). En lo que se refiere a microorganismos, *Staphylococcus aureus*, especies de *Salmonella*, especies de *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli* son los principales patógenos bacterianos causantes de enfermedades transmitidas por alimentos, así como de muertes en el mundo asociadas con el consumo de alimentos contaminados, por lo que este grupo de bacterias resulta de gran interés desde el punto de vista médico y alimenticio (Abebe et al., 2020).

Siendo la bacteria *E. coli* el patógeno más común asociado con este tipo de alimentos (Luna-Guevara et al., 2019). Los síntomas asociados a una infección causada por *E. coli* pueden incluir diarrea, dolor abdominal, fiebre, y en ocasiones signos clínicos de obstrucción intestinal (Mirsepasi-Lauridsen et al., 2019). *E. coli* es uno de los patógenos fecales-orales que se transmite a través de alimentos y agua contaminada al nuevo huésped y están asociadas con el retraso del crecimiento infantil, muchas cepas de *E. coli* son patogénicas y pueden causar infecciones graves intestinales y extraintestinales, presentándose de manera común al ingerir alimentos preparados con deficientes medidas de higiene, principalmente en la vía pública y durante los viajes (Nurafifa et al., 2021).

Esta bacteria (*E. coli*) es muy abundante en el tracto gastrointestinal humano y diversos estudios han demostrado que es portadora de genes resistencia a antibióticos (como ampicilina, cotrimoxazol, azitromicina y gentamicina), de hecho, en los últimos 50 años han aparecido un gran número de cepas resistentes a los medicamentos, atribuido principalmente al uso inapropiado y excesivo de agentes antimicrobianos lo que complica significativamente las medidas preventivas y su tratamiento, viéndose reflejado en una menor eficacia terapéutica y por ende un aumento significativo de padecimientos relacionados con la ingesta de alimentos contaminados con este microorganismo, a pesar de esto, la terapia basada en antibióticos sigue siendo la principal estrategia contra las infecciones bacterianas, lo que mantiene latente la necesidad de descubrir nuevos agentes antibacterianos con nuevos mecanismos para combatir las cepas bacterianas resistentes (Barani et al., 2021; Eltai et al., 2018; Zazharskyi et al., 2019). La resistencia a los productos

antimicrobianos es definida por la Organización Mundial de la Salud como “la capacidad de un microorganismo para impedir que un antimicrobiano actúe contra él” (OMS, 2014).

E. coli se transmite principalmente a los humanos a través del consumo de alimentos contaminados, como productos cárnicos picados crudos o poco cocidos, leche y productos lácteos crudos o sin pasteurizar, jugos de frutas sin pasteurizar y verduras y frutas crudas contaminadas (Barlaam et al., 2019). Además, los microorganismos oportunistas que anteriormente se consideraban no patógenos están presentes en los productos frescos y pueden causar infecciones graves en un huésped inmunocomprometido, por ejemplo, bacterias oportunistas, como *Klebsiella* spp. y *Enterobacter* spp., se han encontrado en vegetales como repollo, pimienta y tomates (Rahman et al., 2022). La importancia de *E. coli* en la industria alimentaria se demuestra con su inclusión en las normas de seguridad alimentaria a nivel mundial, en particular existe un límite microbiológico para *E. coli* que se utiliza en la industria alimentaria como indicador de la seguridad e higiene con la que se prepararon los alimentos (Barlaam et al., 2019).

Dado lo anterior, es necesario buscar estrategias que aseguren que los alimentos que consumimos se encuentran libre de patógenos, para lo cual, se deben erradicar las malas prácticas predominantes de manipulación y saneamiento de los alimentos, las leyes de seguridad alimentaria inadecuadas, los sistemas reguladores débiles, la falta de recursos financieros para invertir en equipos más seguros y la falta de educación para los manipuladores de alimentos (Tessem et al., 2014). Además de esto, es necesario apoyarse de soluciones amigables que permitan combatir a los patógenos, mediante la búsqueda de alternativas a los productos convencionales.

Para prevenir y curar diferentes enfermedades humanas, recientemente se ha prestado una atención considerable a las plantas debido a que resultan económicas, de fácil disponibilidad, ecológicas y bioamigables, las plantas medicinales son la principal fuente de productos farmacéuticos y para el cuidado de la salud en muchos países, incluyendo a México (Fadia et al., 2021). La práctica de aprovechar los productos naturales, la flora y la fauna, para aliviar el dolor y curar enfermedades tanto del ser humano como de los animales domésticos es tan antigua como la historia de la civilización humana, en la actualidad los usos de las plantas medicinales tradicionales para el tratamiento de algunas enfermedades son cada vez mayores aumentando en todo el mundo (Mohammed et al., 2022).

Las plantas medicinales de uso común en nuestro país podrían ser una excelente fuente de medicamentos para combatir este problema (Manandhar et al., 2019). En este sentido, los extractos de plantas han recibido mucha atención en el combate a diversos microorganismos patógenos debido a su precio bastante más bajo, alta estabilidad, ausencia de riesgo de contaminación y fácil preparación (Kılıç et al., 2020). Aunado a esto, se ha demostrado que el uso de hierbas medicinales para buscar compuestos potencialmente activos promueve el interés y la producción científica, muchos medicamentos sintetizados provienen de fuentes naturales, incluidas las plantas medicinales, que pueden estar disponibles en forma de complementos alimenticios, nutracéuticos y medicinas alternativas y complementarias (Chebbac et al., 2021).

La planta *Artemisia* (Asteraceae), es ampliamente utilizada en la medicina tradicional mexicana, particularmente para el tratamiento de trastornos gastrointestinales (Palacios-Espinosa et al., 2021). *Artemisia ludoviciana* es un género de pequeñas hierbas y arbustos que se encuentran en las regiones templadas de Asia, Europa y América del Norte, pertenece a la importante familia Asteraceae, uno de los grupos de plantas más numerosos, que comprende alrededor de 1,000 géneros y más de 20,000 especies, esta planta tiene un amplio espectro de bioactividad, debido a la presencia de varios principios activos o metabolitos secundarios, que actúan a través de diversos modos de acción, mostrando amplias actividades farmacológicas y terapéuticas, y se ha utilizado como medicina tradicional desde la antigüedad como agentes antiespasmódicos, antirreumáticos, antiinflamatorios, antimicrobianos, antihelmínticos y antivenenosos (Chebbac, et al., 2021; Nigam et al., 2019).

En la medicina tradicional mexicana, *A. ludoviciana* se ha utilizado para tratar o combatir padecimientos asociados a infecciones causadas por microorganismos patógenos, especialmente aquellas relacionadas con enfermedades intestinales (Gálvez-Romero et al., 2022). Las diferentes aplicaciones de esta especie vegetal han sido posibles gracias a su rica composición química, que incluye especialmente aceites esenciales, flavonoides, lactonas, ácidos fenólicos, cumarinas y otros grupos de metabolitos (Ekiert et al., 2020).

En lo que se refiere a la planta de *Moringa oleifera*, es originaria de Asia, en particular de la India, y también se cultiva en Filipinas, Sudán, Egipto y Sudáfrica, y es famosa por sus semillas, flores y hojas suaves y seguras para comer. Es una planta rica en proteínas, calcio y vitaminas, y es comúnmente conocida como el “árbol de la vida” o “el árbol

milagroso” (Tshabalala et al., 2020; Wang et al., 2023). Las hojas, en particular, son bien conocidas por sus poderes profilácticos y terapéuticos y, a menudo, se utilizan en la elaboración de platillos asiáticos, los extractos obtenidos de las hojas y semillas presentan una extraordinaria capacidad antioxidante y alta acción antibacteriana contra bacterias tanto Gram-positivas y Gram-negativas, además, los fitoquímicos en las hojas de *M. oleifera* muestran propiedades medicinales como anticancerígenas, antiinflamatorias, antidiabéticas y son adecuadas para aplicaciones en diferentes industrias, como alimentos, cosméticos y administración de medicamentos (Bhalla et al., 2022).

En sí, todas las partes de la planta poseen propiedades medicinales, mientras que las flores, hojas, semillas, vainas, tallo y corteza del árbol tienen un alto valor nutritivo, dadas sus propiedades ha sido probada como agente antimicrobial, así como en el tratamiento de aguas residuales y en recuperaciones de metales pesados de soluciones acuosas, ya que contiene varias moléculas activas (compuestos fenólicos y aceite esencial) las cuales presentan una alta actividad antibacteriana y antifúngica (Salem et al., 2021).

Ante los problemas de resistencia antimicrobiana a los antibióticos sintéticos que se comercializan o utilizan actualmente debido principalmente al mal uso o aplicación de estos, resultando en una grave amenaza para la salud pública, se ha trabajado mucho sobre el poder antimicrobiano de productos naturales entre los que se encuentran los extractos de ciertas plantas (Chebbac et al., 2021; Wang et al., 2023). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue la obtención de extractos etanólicos de plantas de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana* y evaluar la capacidad antimicrobiana *in vitro* de dichos biocompuestos contra un aislado de *E. coli*.

Materiales y métodos

Preparación del material vegetal

Las semillas y hojas de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* fueron adquiridas de un mercado local, se revisaron para descartar la presencia de materia extraña y para su acondicionamiento se trituraron por separado de forma manual con ayuda de un mortero para lograr su correcta homogenización, luego fueron almacenadas en bolsas de cierre hermético a una temperatura de 25 °C hasta su utilización.

Obtención de extractos de *Moringa oleifera* y *Artemisia ludoviciana*

Para la obtención de los extractos se siguió la metodología descrita por Oviedo-Farfan y Escobar-Bello (2020) con algunas modificaciones. Se pesaron 5 g de cada muestra triturada previamente, dicha cantidad fue vertida dentro de un matraz de aforación de 100 mL, utilizando tres matraces (1. hoja de *M. oleifera*, 2. semilla de *M. oleifera* y 3. hoja de *A. ludoviciana*), a cada matraz se le adicionaron 95 mL de alcohol etílico 96°, con la finalidad de exponer en su totalidad el material vegetal y facilitar la extracción de los compuestos presentes en dichas plantas. Posteriormente, los matraces fueron tapados y almacenados por 6 d en ausencia de luz y a una temperatura de 25 °C. Una vez transcurrido este tiempo, se realizó un filtrado utilizando un embudo metálico y papel filtro No. 1, el filtrado obtenido fue colocado en un matraz de ebullición redondo (24/40) para ser colocado en un evaporador rotatorio con la finalidad de concentrar el extracto y recuperar el solvente, al finalizar esta etapa, los extractos fueron vertidos en frascos de color ámbar con tapa y colocados en ausencia de luz a una temperatura de 25 °C hasta su utilización.

Aislamiento de *Escherichia coli*

Para el aislamiento de la bacteria *E. coli*, se siguió la metodología descrita en la NOM-110-SSA-1994. Muestras de 10 g de carne molida de res fueron obtenidas de varias carnicerías locales, dichas muestras se depositaron en bolsas estériles con cierre hermético en una hielera a una temperatura de 4 °C para su almacenamiento y transporte al Laboratorio de Microbiología del Instituto Tecnológico de Cd. Cuauhtémoc. Una vez dentro de las instalaciones, la muestra fue macerada adicionándole agua peptonada estéril. Luego se prepararon diluciones utilizando agua peptonada estéril y se sembraron por difusión en placa en Agar EMB (Eosina-Azul de Metileno) y Agar MacConkey previamente vertido en cajas Petri de 90 mm, para luego ser incubadas a 37 ± 1 °C por 24 h, las colonias sospechosas para *E. coli*, fueron sembradas en los mismos agares para su purificación bajo las mismas condiciones de incubación. La bacteria fue identificada de acuerdo a sus características macroscópicas y microscópicas de crecimiento, transcurrido el periodo de incubación.

Evaluación de la capacidad antimicrobiana *in vitro* de los extractos

Para la evaluación de la capacidad antimicrobiana de cada extracto se siguió la metodología descrita por Montero-Recalde (2017). Utilizando una asa bacteriológica de nicromo se tomó una colonia de la cepa de *E. coli* previamente purificada en Agar MacConkey, se procedió a cultivar con ayuda del asa por estriado múltiple en Agar EMB y Agar MacConkey vertido previamente en cajas Petri de 90 mm, dejando reposar por 10 min antes de colocar los discos de

papel filtro No. 1 impregnados con los diferentes extractos, así como con etanol al 70% como testigo, se les dejó secar 5 min antes de colocarse sobre el medio de cultivo inoculado. Luego con una pinza de disección estéril se ubicaron los discos impregnados con los extractos vegetales y se les presionó suavemente para permitir su adherencia al agar de manera apropiada en la placa y evitar que se desplazaran a través del medio de cultivo, se ubicaron 4 discos de cada extracto en cada caja en cada punto cardinal de forma equidistante, con tres repeticiones por caja para luego realizar el incubando a 37 ± 1 °C por 24 h. Posteriormente se procedió a realizar la lectura de los discos a través de la medición de los halos de inhibición presentes en las cajas Petri utilizando un calibrador Vernier digital con una escala de medición en milímetros.

Análisis estadístico

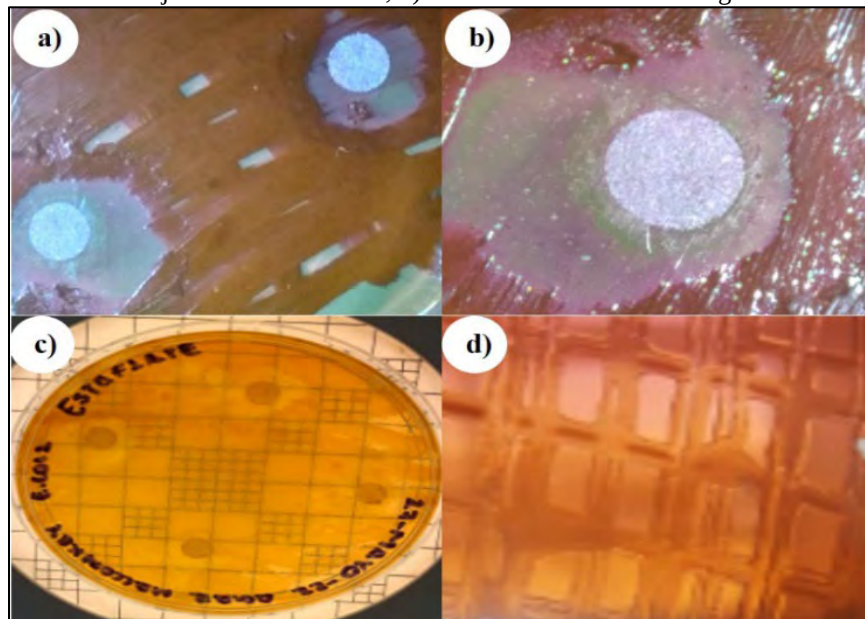
El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar con un mínimo de tres repeticiones. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza balanceado (ANDEVA) utilizando el software Statistical Analysis System (SAS versión 9.0).

Resultados y discusión

A partir de las 24 horas post inoculación se pudieron observar halos de inhibición causados por los extractos tanto de las hojas y semilla de *M. oleifera* como de las hojas de *A. ludoviciana* (Figura 1), los valores en milímetros de los diámetros de los halos se muestran en la Tabla 1. La inhibición causada por ciertos extractos obtenidos a partir de plantas es atribuida a que estos biocompuestos naturales pueden atravesar con éxito las paredes celulares y la membrana citoplasmática de diversos microorganismos, especialmente de las bacterias, induciendo trastornos de las macromoléculas (ácidos grasos, polisacáridos y fosfolípidos), el aceite esencial de *Artemisia* spp., presenta un potencial para combatir las cepas multirresistentes, tanto de bacterias Gram-positivas como Gram-negativas (Chebbac et al., 2021).

Se han sugerido diversos usos hacia el aceite esencial de *Artemisia* spp., ya que se ha visto que presenta cierta capacidad para disminuir o suprimir el desarrollo de varios tipos de insectos, parásitos microbianos y podría aplicarse para proteger los alimentos del deterioro causado por diversos microorganismos descomponedores o causantes de enfermedades tanto en humanos como en animales, la potente propiedad antimicrobiana del extracto de *Artemisa* se atribuye principalmente a la presencia del compuesto 1,8-cineol y al canfeno, este último, un monoterpeno bicíclico con excelentes propiedades antioxidantes y antimicrobianas, el cual se encuentra presente generalmente en las partes aéreas de la planta (tallo y hojas) (Bisht et al., 2021; Ekiert et al., 2020).

Figura 1. Halos de inhibición causados por los extractos de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* mediante el método de disco. a) Halo de inhibición de hojas de *M. oleifera*; b) Halo de inhibición de semillas de *M. oleifera*; c) Halo de inhibición de hojas de *A. ludoviciana*; d) Crecimiento de *E. coli* en agar MacConkey.



Nota: Pruebas de inhibición *in vitro* de los extractos *M. oleifera* y *A. ludoviciana* contra *E. coli*.

Tabla 1. Actividad antimicrobiana de los extractos de *M. oleifera* y *A. ludoviciana* mediante el método de disco contra *E. coli*.

Fuente del extracto	Diámetro de inhibición de <i>E. coli</i> (mm)
Hoja de <i>M. oleifera</i>	7.8 ± 1.3
Semilla de <i>M. oleifera</i>	13.5 ± 1.7
Hoja de <i>A. ludoviciana</i>	8.8 ± 2.8

Nota: Los valores representan la media de al menos tres mediciones individuales $\pm$ error estándar.

En lo que corresponde a los extractos obtenidos de *M. oleifera* son conocidos por su extraordinaria actividad antioxidante, debido a la presencia de altas cantidades de polifenoles, dichos compuestos tienen la capacidad de suprimir el crecimiento de cepas Gram-positivas (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*) y cepas Gram-negativas (*Escherichia coli*), se desconoce el mecanismo de acción molecular de *M. oleifera*, pero es probable que el extracto pueda inhibir la generación de trifosfato de adenosina a partir de la dextrosa y alterar la membrana celular (Özcan, 2020).

Los halos de inhibición de la semilla de *M. oleifera* hacia *E. coli* presentaron un tamaño de 13.5 ± 1.7 mm, mientras que la hoja de esta planta causó halos de 7.8 ± 1.3 mm, estos valores son similares a los reportados por Unegbu et al., (2020), para extractos de etanol de *M. oleifera* contra *E. coli* y *S. aureus* (20-8 mm de inhibición), observando además que el extracto en etanol de la hoja de *M. oleifera* posee mayor actividad antimicrobiana que el extracto acuoso, estos resultados indican que el extracto etanólico de semilla de *M. oleifera* tiene compuestos bioactivos que juegan un papel como agente antibacteriano, especialmente para *E. coli*.

En este sentido, el etanol es conocido como un solvente eficiente para la extracción de productos naturales debido a su mayor eficiencia y proceso más rápido, el etanol se considera un solvente universal que disuelve compuestos de materiales naturales, no polares, semipolares o polares, lo que implica que resulte más eficiente que el obtener extractos con agua (Nurafifah et al., 2021). Por otra parte, el extracto de hojas de *A. ludoviciana* provocó halos inhibitorios con un tamaño de 8.8 ± 2.8 mm sobre *E. coli*, lo que es indicativo de que dicha planta también posee actividad antimicrobiana hacia este patógeno. Valores de inhibición muy similares (9 mm) fueron reportados previamente por Delgadillo-Ruiz et al., (2017), al exponer un aislado de *E. coli* a un extracto de etanol de *A. ludoviciana*.

De la misma manera, Nurafifah et al., (2021), evaluaron el extracto de *M. oleifera* contra bacterias infecciosas tanto Gram-positivas como Gram-negativas incluyendo a *E. coli*, observando importantes zonas de inhibición respecto al crecimiento de estos microorganismos, lo que indica que el extracto etanólico de la semilla de *M. oleifera* tiene compuestos bioactivos que juegan un papel como agente antibacteriano, especialmente contra *E. coli*, lo que podría ayudar de alguna manera a reducir o superar los problemas de salud causados por la resistencia bacteriana a muchos antibióticos disponibles localmente o comercialmente (Oyebamiji et al., 2021).

La resistencia a los antibióticos en *E. coli* es motivo de especial preocupación porque es el patógeno bacteriano Gram-negativo más común que causa infecciones intestinales y extraintestinales en humanos, los productos frescos contaminados con bacterias Gram-positivas, como *Listeria* spp. y *Staphylococcus* spp. podrían ser fuentes potenciales de enfermedades transmitidas por los alimentos, la listeriosis causada por *L. monocytogenes* es peligrosa para las personas vulnerables; las mujeres embarazadas y sus fetos, además, los jóvenes y los ancianos son susceptibles a la listeriosis invasiva, con tasas de mortalidad que oscilan entre el 20 y el 40 % (Rahman et al., 2022).

Los resultados obtenidos por Abadallah y Ali (2019), donde se evaluó el efecto antimicrobial de extractos de *M. oleifera* contra un grupo de bacterias patógenas (*E. coli*, *Shigella* spp, *Salmonella typhi*, *Enterococcus faecalis* y *S. aureus*), revelaron la presencia de componentes bioactivos llamados fitoquímicos en extractos de hojas y semillas de *M. oleifera*, los fitoquímicos son metabolitos secundarios producidos por las plantas y estos componentes bioactivos pueden derivarse de cada parte de la planta, como hojas, corteza del tallo, raíces, flores. y semillas, dicho estudio mostró la presencia de alcaloides, saponinas y flavonoides, azúcares reductores, glucósidos, quinonas, taninos y terpenoides tanto en el extracto acuoso como etanólico de las hojas y semillas, donde la capacidad antimicrobiana de los extractos es atribuida a la presencia de todos estos compuestos. Se sabe que las semillas de *M. oleifera* poseen varios compuestos polifenólicos bioactivos, como ácido gálico, ácido o-cumárico, kaempferol, quercetina, mirecitina, rutina y ácido ferúlico, que tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, que resultan efectivas contra los

principales patógenos asociados a enfermedades en humanos causadas por alimentos contaminados con dichos microorganismos (Sharma et al., 2020).

En otro estudio realizado por Smith et al., (2020), confirmaron la presencia de metabolitos secundarios en la planta de *M. oleifera* que alteran la expresión de más de 64 proteínas involucradas en varios procesos biológicos de *E. coli*, y 13 de las proteínas se modificaron, lo que causa una alteración significativa de la bacteria principalmente en la respuesta al estrés, los procesos metabólicos, la traducción, la síntesis ribosómica, la síntesis de membrana, la síntesis de ATP y otros procesos biológicos, donde todos estos factores contribuyen a causar la muerte de la bacteria. Las diferentes partes de la planta de *Moringa* se pueden utilizar como fuente natural para luchar contra las enfermedades infecciosas causadas por diversos microorganismos, que rápidamente se vuelven resistentes a los medicamentos disponibles (Tshabalala et al., 2020). La presencia de algunos metabolitos secundarios en los extractos de plantas con actividad antimicrobiana hace que estos cobren un papel relevante y promisorio, en especial por el alarmante incremento de la resistencia bacteriana a los fármacos que actualmente se utilizan (Martins et al., 2013).

Los resultados obtenidos en el presente estudio contribuyen al desarrollo de nuevas investigaciones enfocadas en el aprovechamiento de plantas utilizadas en la medicina tradicional mexicana, ya que además de su uso como tratamiento de diversos padecimientos, presentan un potencial para la aplicación en diversas áreas que permitan crear alternativas en el manejo y prevención de enfermedades causadas por patógenos, así como a la posible generación de nuevos antibióticos gracias a sus mecanismos de acción novedosos. Finalmente, se recomienda la realización de estudios enfocados en otros patógenos, especialmente los más comunes en alimentos, ya que este tipo de extractos podrían evitar su desarrollo y por ende contribuir al mejoramiento y preservación de la salud pública de la población mexicana.

Referencias bibliográficas

- Abadallah, M.S., Ali, M. (2019). Antibacterial activity of *Moringa oleifera* leaf extracts against bacteria isolated from patients attending general Sani Abacha Specialist Hospital Damaturu. *Journal of Allied Pharmaceutical Sciences*. 1(1): 61-66. <https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Salihi-Abdallah-2/publication/332013718>
- Abebe, E., Gugsu, G., y Ahmed, M. (2020). Review on major food-borne zoonotic bacterial pathogens. *Journal of Tropical Medicine*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4674235>
- Barani, M., Zeeshan, M., Kalantar-Neyestanaki, D., Farooq, M. A., Rahdar, A., Jha, N. K., y Thakur, V. K. (2021). Nanomaterials in the management of gram-negative bacterial infections. *Nanomaterials*, 11(10), 2535. <https://doi.org/10.3390/nano11102535>
- Barlaam, A., Parisi, A., Spinelli, E., Caruso, M., Taranto, P. D., y Normanno, G. (2019). Global emergence of colistin-resistant *Escherichia coli* in food chains and associated food safety implications: A review. *Journal of Food Protection*, 82(8), 1440-1448. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-116>
- Bhalla, N., Ingle, N., Jayaprakash, A., Patel, H., Patri, S. V., y Haranath, D. (2022). Green Approach to Synthesize Nano Zinc Oxide via *Moringa oleifera* Leaves for Enhanced Anti-oxidant, Anti-acne and Anti-bacterial Properties for Health & Wellness Applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 104506. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104506>
- Bisht, D., Kumar, D., Kumar, D., Dua, K., y Chellappan, D. K. (2021). Phytochemistry and pharmacological activity of the genus artemisia. *Archives of Pharmacol Research*, 44(5), 439-474. <https://doi.org/10.1007/s12272-021-01328-4>
- Chebbac, K., Moussaoui, A. E., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., Alzahrani, A., y Guemmouh, R. (2021). Chemical analysis and antioxidant and antimicrobial activity of essential oils from *Artemisia negrei* L. Against drug-resistant microbes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2021/5902851>
- Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., y Manners, J. M. (2018). The science of food security. *npj Science of Food*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>
- Delgadillo-Ruiz, L., Bañuelos-Valenzuela, R., Delgadillo-Ruiz, O., Silva-Vega, M., Gallegos-Flores, P. (2017). Composición química y efecto antibacteriano *in vitro* de extractos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisa ludoviciana* y *Ruta graveolens*. *Nova Scientia*. 9(19): p. 273-290. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1019>
- Ekiert, H., Pajor, J., Klin, P., Rzepiela, A., Ślesak, H., y Szopa, A. (2020). Significance of *Artemisia vulgaris* L.(Common Mugwort) in the history of medicine and its possible contemporary applications substantiated by phytochemical and pharmacological studies. *Molecules*, 25(19), 4415. <https://doi.org/10.3390/molecules25194415>
- Eltai, N.O., Yassine, H.M., Al Thani, A.A., Abu Maid, M.A., Ismail, A., Ibrahim, E., Alali, W.Q. (2018) Prevalence of antibiotic resistant *Escherichia coli* isolates from fecal samples of food handlers in Qatar. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 7(1): p. 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0369-2>

- FadiaTaufik, M., Rashed, A., Oshkondali, S. T., Alacrouk, S. A., y Sleman, K. (2021). Antibacterial activities of *Moringa oleifera* leaf extract on some human pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences*, 7, 426-431. <https://doi.org/10.36348/sjimps.2021.v07i08.009>
- Fernández, S., Marcía, J., Bu, J., Baca, Y., Chávez, V., Montoya, H., Varela, I., Ruiz, J., Lagos, S., Ore, F. (2021). Enfermedades transmitidas por Alimentos (Etas): Una Alerta para el Consumidor. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 5(2): p. 2285. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/433/542>
- Fung, F., Wang, H.-S., y Menon, S. (2018). Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal*. 41(2): p. 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>
- Gálvez-Romero, J. L., Parada-Sosa, C. M., León-Burgoa, G., Lorenzo-Leal, A. C., El Kassis, E. G., Bautista-Rodríguez, E., Paredes-Juárez, G.A., Hernández, L.R., Bach, H., y Juárez, Z. N. (2022). Antimycobacterial, cytotoxic, and anti-inflammatory activities of *Artemisia ludoviciana*. *Journal of Ethnopharmacology*, 293, 115249. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115249>
- Kılıç, A.B., Altinkaynak, C., Ildiz, N., Ozdemir, N., Yilmaz, V., y Ocsoy, I. (2020). A new approach for green synthesis and characterization of *Artemisia l.* (Asteraceae) genotype extracts-Cu² nanocomplexes (nanoflower) and their effective antimicrobial activity. *Medicine Science International Medical Journal*. 9(191-196). <https://doi.org/10.5455/medscience.2019.08.9165>
- Luna-Guevara, J.J., Arenas-Hernandez, M.M., Martínez de la Peña, C., Silva, J.L., Luna-Guevara, M.L. (2019). The role of pathogenic *E. coli* in fresh vegetables: Behavior, contamination factors, and preventive measures. *International Journal of Microbiology*. <https://doi.org/10.1155/2019/2894328>
- Manandhar, S., Luitel, S., Dahal, R.K. (2019). *In vitro* antimicrobial activity of some medicinal plants against human pathogenic bacteria. *Journal of Tropical Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2019/1895340>
- Martins, S., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I. (2013). Solid-state fermentation as a strategy to improve the bioactive compounds recovery from *Larrea tridentata* leaves. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 171(5): p. 1227-1239. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0222-2>
- Mirsepasi-Lauridsen, H.C., Vallance, B.A., Krogfelt, K.A., Petersen, A.M. (2019). *Escherichia coli* pathobionts associated with inflammatory bowel disease. *Clinical Microbiology Reviews*. 32(2): p. e00060-18. <https://doi.org/10.1128/CMR.00060-18>
- Mohammed, S., Dekabo, A., y Hailu, T. (2022). Phytochemical analysis and anti-microbial activities of *Artemisia* spp. and rapid isolation methods of artemisinin. *AMB Express*, 12(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01346-5>
- Montero-Recalde, M.A., Martinez-Jimenéz, J.A., Avilés-Esquivel, D.F., Valle-Velástegui, E.L., Pazmiño-Miranda, N.D.P. (2017). Efecto antimicrobiano del extracto crudo oleoso de *Rosmarinus officinalis* sobre cepa de *Escherichia coli*. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 5(2): p. 168-175. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592017000200012&lng=es.
- Nigam, M., Atanassova, M., Mishra, A. P., Pezzani, R., Devkota, H. P., Plygun, S., y Sharifi-Rad, J. (2019). Bioactive compounds and health benefits of *Artemisia* species. *Natural product communications*, 14(7), 1934578X19850354. <https://doi.org/10.1177/1934578X19850354>
- Nurafifah, D. A., Widyastuti, D. A., y Minarti, I. B. (2021). Activity of *Moringa oleifera* seed ethanolic extract against *E. coli*. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*, 3(2), 0210207. <https://doi.org/10.26877/asset.v3i2.9603>
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2014). Antimicrobial resistance: global report on surveillance.
- Oviedo-Farfan, K.T., Escobar-Bello M.L. (2020). Propuesta para la elaboración de un gel antibacterial con base en las hojas de *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) cultivada en Colombia, en Facultad de Ingenierías. Fundación Universidad de América: Colombia. p. 165.
- Oyebamiji, A. K., Folorunso, A. S., y Akintelu, S. A. (2021). Phytochemical and antibacterial investigation of *Moringa oleifera* seed: experimental and computational approaches. *Eclética Química*, 46(2), 17-25. <https://doi.org/10.26850/1678-4618eq.v46.2.2021.p17-25>
- Özcan, M. (2020). *Moringa* spp: Composition and bioactive properties. *South African Journal of Botany*. 129: p. 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.11.017>
- Palacios-Espinosa, J.F., Núñez-Aragón, P.N., Gomez-Chang, E., Linares, E., Bye, R., Romero, L. (2021). Anti-*Helicobacter pylori* activity of *Artemisia ludoviciana* subsp. *mexicana* and two of its bioactive components, estafiatin and eupatilin. *Molecules*. 26(12): p. 3654. <https://doi.org/10.3390/molecules26123654>
- Rahman, M., Alam, M. U., Luies, S. K., Kamal, A., Ferdous, S., Lin, A., Shairor, F., Khan, R., Rahman, Z., Parvez, S.M., Amin, N., Hasan, R., Tadesse, B.T., Taneja, N., Islam, M.A., y Ercumen, A. (2022). Contamination of fresh produce with antibiotic-resistant bacteria and associated risks to human health: a scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 19(1), 360. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010360>

- Rohr, J. R., Barrett, C. B., Civitello, D. J., Craft, M. E., Delius, B., DeLeo, G. A., y Tilman, D. (2019). Emerging human infectious diseases and the links to global food production. *Nature sustainability*, 2(6), 445-456. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0293-3>
- Salem, M.Z., Ali, H.M., Akrami, M. (2021). *Moringa oleifera* seeds-removed ripened pods as alternative for papersheet production: Antimicrobial activity and their phytoconstituents profile using HPLC. *Scientific Reports*. 11(1): p. 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98415-9>
- Sharma, P., Wichaphon, J., y Klangpetch, W. (2020). Antimicrobial and antioxidant activities of defatted *Moringa oleifera* seed meal extract obtained by ultrasound-assisted extraction and application as a natural antimicrobial coating for raw chicken sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 332, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108770>
- Smith, B. E., Orders, T., Slate, J., Bauldry, S., Emrani, J., Idassi, J., Ahmed, M., Cecile, J., Bailey, C.S., Nguyen, N.A., y Mowa, C. (2020). Proteomics analysis reveal that *Moringa oleifera* kills *Escherichia coli* by altering multiple biological processes. *South African Journal of Botany*, 129, 366-378. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.08.056>
- Tessema, A.G., Gelaye, K.A., Chercos, D.H. (2014). Factors affecting food handling Practices among food handlers of Dangila town food and drink establishments, North West Ethiopia. *BMC Public Health*. 14(1): p. 1-5. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-571>
- Tshabalala, T., Ndhala, A. R., Ncube, B., Abdelgadir, H. A., y Van Staden, J. (2020). Potential substitution of the root with the leaf in the use of *Moringa oleifera* for antimicrobial, antidiabetic and antioxidant properties. *South African Journal of Botany*, 129, 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.01.029>
- Unegbu, V., Nkwoemeka, N., Okey-Ndeche, F., Obum-Nnadi, C. (2020). Phytochemical and Antibacterial Properties of *Moringa oleifera* leaf extracts on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Nigerian Journal of Microbiology*. 34(1): p. 5145-5152 <https://www.researchgate.net/profile/Ndidi-Nkwoemeka/publication/343084196>
- Wang, X., He, L., Huang, Z., Zhao, Q., Fan, J., Tian, Y., y Huang, A. (2023). Isolation, identification and characterization of a novel antimicrobial peptide from *Moringa oleifera* seeds based on affinity adsorption. *Food Chemistry*, 398, 133923. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133923>
- Zazharskyi, V., Davydenko, P., Kulishenko, O., Borovik, I.V., Brygadyrenko, V.V. (2019). Antimicrobial activity of 50 plant extracts. *Biosystems Diversity*. 27(2): p. 163-169. <https://doi.org/10.15421/011922>



EL METABOLISMO URBANO DE LOS ASENTAMIENTOS IRREGULARES DE CHETUMAL

Laura Isabel Guarneros Urbina¹, Herlinda del Socorro Silva Poot²,
Ricardo Enrique Vega Azamar³

ARTÍCULO DE DIVULGACIÓN

Recibido: 29/01/2024 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a4>

Resumen. El Metabolismo urbano es un enfoque de análisis de ciudades que surge de la comparación entre los procesos de un cuerpo vivo y los de una ciudad; el argumento central es que una ciudad consume recursos y al mismo tiempo produce emisiones y vertidos; la diferencia radica en que un cuerpo vivo consume alimentos para sostener su desarrollo y desecha lo que no necesita, mientras que las ciudades consumen mucho más de lo que necesitan y producen residuos que la naturaleza no puede procesar. El objetivo de este trabajo fue identificar el proceso metabólico del Asentamiento Irregular Mártires Antorchistas de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, a través de sus insumos (entradas), consumo (proceso) y deshechos (salidas). La investigación es exploratoria y empleó técnicas cualitativas en la recolección de datos en un muestreo dirigido. Los resultados muestran que Mártires Antorchistas tiene un metabolismo urbano que genera impactos al medio ambiente relacionados principalmente con las prácticas que realizan ante la falta de sistemas formales de colecta y tratamiento de los desechos, evidenciando una desigualdad de condiciones que no contribuyen a un ambiente limpio y una ciudad sustentable para todos sus habitantes.

Palabras clave: Metabolismo, urbano, asentamiento, irregular, Chetumal.

URBAN METABOLISM IN CHETUMAL IRREGULAR HUMAN SETTLEMENTS

Abstract- Urban metabolism is an approach to the analysis of cities that arises from the comparison between the processes of a living body and those of a city; The central argument is that a city consumes resources and at the same time produces emissions and discharges, however the difference lies in the fact that a living body consumes food to sustain its development and discards what it does not need, while cities consume much more than they need and produce waste that nature cannot process. The goal of this work was to identify the metabolic process of the Mártires Antorchistas Irregular human Settlement in the city of Chetumal, Quintana Roo, through its inputs, consumption and waste. The research is exploratory and used qualitative techniques in the collection of data in a directed sampling. The results show that Mártires Antorchistas has an urban metabolism that generates impacts on the environment mainly related to the practices they carry out in the absence of formal waste collection and treatment systems, evidencing an inequality of conditions that do not contribute to a clean environment and a sustainable city for all its inhabitants.

Keywords: Accessibility, facilities, Chetumal, irregular settlements.

Introducción

La urbanización del planeta continuará en los próximos años alcanzando para el 2050 una población cercana a los 6680 millones de habitantes (ONU HABITAT, 2022); la razón de exponer esto radica en que las ciudades utilizan buena parte del suministro energético mundial en los sectores residencial, industrial, comercial y servicios, y transporte; además generan emisiones de Gases Efecto Invernadero y compuestos (GEIYC) que representan el 70% del total producido en el planeta (ONU-HABITAT 2019).

Este gran consumo de energía es necesario para los procesos que realizan las ciudades de intercambio de materiales y de energía con su territorio; como resultado de esto, las ciudades generan grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos, además de contaminantes a la atmósfera, que afectan tanto a ecosistemas locales como a los distantes

¹ Docente, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Chetumal. Av. Insurgentes 330, Chetumal, Q.R., MX, 77013, Orcid ID 0009-0004-7646-9558 laura.gu@chetumal.tecnm.mx

² Docente, Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Chetumal. Av. Insurgentes 330, Chetumal, Quintana Roo, México, 77013, Orcid ID. 0000-0003-3554-3577 herlinda.sp@chetumal.tecnm.mx

³ Docente, Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Chetumal. Av. Insurgentes 330, Chetumal, Quintana Roo, México, 77013, Orcid ID 0000-0002-4783-5465 ricardo.va@chetumal.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

(SNIARN, 2018). El estudio del Metabolismo urbano permite entender el funcionamiento de las redes de abastecimiento de materiales y energía en las ciudades, para orientarlas hacia la eficiencia y eficacia de sus procesos de transformación y minimizar el daño ambiental de sus desechos, de este modo se puede anticipar a eventos no deseados (Álvarez, 2014).

Marco teórico

Wolman (1965;179) en su artículo “The Metabolism of Cities,” compara el metabolismo de la ciudad con el de un cuerpo vivo, argumentando que una ciudad consume recursos y al mismo tiempo produce emisiones y vertidos. La diferencia con un cuerpo vivo es que éste consume alimentos para sostener su desarrollo y desecha lo que no necesita, mientras que las ciudades consumen mucho más de lo que necesitan y producen residuos que la naturaleza no puede procesar. Esta perspectiva de análisis que tiene casi un siglo de haberse planteado (Céspedes -Restrepo y Morales-Pinzón, 2018), es retomada dado al auge que la agenda global de investigación tomó hacia el desarrollo sostenible y la necesidad de identificar a los grandes consumidores de energía y emisores de gases de efecto invernadero (Derrible et al., 2021;86).

Derivado del trabajo de Wolman se han realizado varios estudios metabólicos en varias ciudades del mundo aunque América Latina y África han sido las regiones menos estudiadas en términos de metabolismo urbano (Jaramillo Ochoa, 2017). Hoornweg et al. (2012) examinaron el metabolismo urbano de siete ciudades a escala mundial, incluidas Sao Paulo, Río de Janeiro y Buenos Aires, lo que lo convierte en uno de los primeros análisis del metabolismo urbano realizados en América Latina.

En México, Ávila Ramírez (2019), desarrolló el estudio del metabolismo urbano de Guadalajara, reconociendo que las ciudades son entidades dinámicas que requieren bienes y servicios como agua y energía para sobrevivir. El estudio se centra en los recursos hídricos, los beneficios de la urbanización sostenible, el aire limpio, las tierras verdes y la energía. El estudio concluye que implementar estos modelos tiene varios beneficios ambientales, sociales y económicos.

Los estudios sobre metabolismo urbano se han hecho en ciudades o destinos turísticos (Testa et al. (2017); analizan los flujos de materiales y energía del sistema urbano e incorporan datos de población, demanda de agua, energía eléctrica, servicios de recolección de residuos y recolección de agua (Jaramillo Ochoa, 2017); para ello emplean metodologías cualitativas y cuantitativas como el análisis de flujo / fondo del tiempo (Rodríguez Guerra & Espinel Ortiz (2021) o la metodología de Análisis Integrado Multiescala del Metabolismo Social y Ecosistémico (Acevedo de los Ríos & Chumpitaz Requena (2022).

En América Latina, los niveles de urbanización son altos y en la mayoría de los casos los gobiernos no cuentan con recursos suficientes para atender la demanda de suelo y vivienda por lo que la población se ve en la necesidad de ocupar un suelo que carece de infraestructura, equipamiento y transporte público; las acciones relacionadas con el consumo y agotamiento de recursos están vinculadas a la ocupación informal de áreas que, en el mediano y largo plazo, se convierten en veraderos a cielo abierto y sin sistemas de saneamiento, de acuerdo a Angelone et al., (2018); este autor expresa que todo esto se debe a la falta de planificación urbana, estudio del uso de los recursos naturales y del impacto ambiental. Al igual, se destruye la fauna y la flora preexistentes y no se planifican los espacios verdes y públicos, lo que genera malas condiciones de vida y una influencia negativa sobre el medio ambiente; así se observa que hay un déficit metabólico urbano y de la capacidad de reciclar y utilizar lo que se desecha.

El suelo ocupado de manera informal, al ser colindante con las áreas urbanizadas constituye una de las principales causas de la expansión de las ciudades mexicanas, donde los asentamientos humanos irregulares (AI) son parte del proceso de urbanización de muchos países latinoamericanos y México no es la excepción; de acuerdo con el INSUS, no se cuenta con información precisa sobre la cantidad de AI (INSUS, 2019). La Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Quintana Roo (2023) en su Artículo 7º indica que los asentamientos humanos irregulares son “los núcleos de población ubicados en áreas o predios ocupados, fraccionados, lotificados, subdivididos o construidos, sin contar con las autorizaciones urbanísticas correspondientes, cualquiera que sea su régimen de tenencia de la tierra, o que no cuenten con la infraestructura urbana correspondiente” p. 6, art. 7).

La ciudad de Chetumal, pertenece al tercer municipio de Quintana Roo con mayor población; la ciudad registró una población de 169028 habitantes en 2020 (INEGI, 2020) con una tendencia de crecimiento hacia el noroeste, donde se observan algunos AI; en el 2014, el Programa de Desarrollo Urbano del 2018 contabilizó 14 AI (H. Ayuntamiento de Othón P. Blanco, 2018); en un trabajo más reciente, Riverol Uh y Wong González (2020) contabilizaron 25 AI; esto

evidencia que los AI siguen en aumento, aun cuando no dispongan de un suministro formal de agua, drenaje sanitario y pluvial, colecta de residuos, ni cuenten con equipamiento urbano; como una solución, los habitantes de estos utilizan pozos artesanales, paneles solares y en algunos casos fosas sépticas para los residuos sanitarios. Esto sin lugar a duda tiene un impacto en la calidad de vida de los generan impactos, por tanto, la pregunta que orienta este trabajo es cómo es el metabolismo urbano en asentamientos humanos irregulares de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

El objetivo general del trabajo fue identificar el funcionamiento del metabolismo urbano del AI Mártires Antorchistas ubicado en la ciudad de Chetumal. Los objetivos específicos fueron a) identificar las entradas (abastecimiento), b) los hábitos del AI (procesos de transformación) y c) las salidas o desechos.

Materiales y métodos

Esta investigación es exploratoria y empleó técnicas de recolección de datos cualitativos, como el cuestionario y la ficha de observación en su primera etapa.

Las entradas salidas y procesos incluyeron cuatro elementos a medir: Agua, Energía, Alimentos y desechos; cada elemento incluyó las variables que se incorporaron a 24 preguntas (Figura 1); en algunos casos como es el de estimar el consumo de agua, se incluyeron en el cuestionario figuras de contenedores de diferentes tamaños que permitieron establecer un rango de consumo por hogar (Figura 2).

El cuestionario y la ficha de observación se aplicaron a 163 hogares empleando un muestreo dirigido, debido a que algunos lotes no están habitados o los poseedores no viven ahí la mayor parte del tiempo; la ficha de observación sirvió para complementar la información sobre las fuentes de energía eléctrica y agua, así como la disposición de residuos y observar la estructura del asentamiento (Figura 3).

Resultados

El Metabolismo urbano de Mártires Antorchistas

Mártires Antorchistas es un asentamiento irregular ubicado al Norponiente de la ciudad de Chetumal en tierras de uso común del ejido Calderitas en las coordenadas UTM 359826.41 m E, 2050211.80 m N. no es una invasión, pero si de un asentamiento irregular que data de 2010 y fue promovido Antorcha Campesina; cuenta con una superficie de 19 ha. dividido en aproximadamente 600 predios que en promedio tienen 10 m de frente y 20 de fondo y es atravesada por líneas de alta tensión, aunque mantiene una franja libre de construcción a los costados que no cumple con la reglamentación en la materia; sus vialidades son de terracería y solo las principales están pavimentadas.

Al igual que la mayoría de los AI, no se apegó a la normatividad urbana estatal y municipal que obliga al desarrollador del conjunto de lotes, considerar el dimensionamiento de lotes, vialidades y áreas de cesión, así como introducir obras de urbanización que incluyen redes de abastecimiento de agua potable, drenaje, luminarias y calles pavimentadas, además del porcentaje de superficie que corresponde a las áreas de cesión para la dotación de equipamiento como escuelas, parques o mercados.

El comportamiento del metabolismo urbano de Mártires Antorchistas se observó a través de sus elementos agua, energía, alimentos y desechos, encontrándose lo siguiente:

Entradas. El 97% de los hogares se abastece de agua mediante pozos, el 92% tiene conexión a energía eléctrica individual y el 5% a un murete general; algunos hogares además usan fotoceldas (6%); en cuanto a los alimentos un 40% de los hogares hace la despensa semanalmente, 24% la realiza diariamente y un 33% con una frecuencia quincenal; para adquirir sus alimentos la mayoría de los hogares lo hacen en supermercados (111 hogares) y mercados (22 hogares) externos al AI y que implican desplazarse usando taxis ya que no existe otro medio de transporte público. **Procesos.** Para la preparación de alimentos, la frecuencia de uso de diferentes combustibles es: gas butano 115 hogares, leña 45 hogares; carbón 9 hogares y electricidad 4 hogares. El consumo de agua varía por hogar; de acuerdo con los rangos establecidos, el 35% de los hogares utilizan más de 50 l/día; 29% utiliza entre 41-50 l/día, 18% utiliza entre 31-40 l/día, similar porcentaje es para el rango de 21-39 l/día. Este consumo es para diferentes actividades, siendo las que se realizan con más frecuencia el lavado de ropa 155 hogares; aseo personal 152 hogares, labores domésticas 148 hogares, riego de plantas 48 hogares. En cuanto a los productos que más se consumen están: alimentos (155 hogares), productos de limpieza (116), productos de higiene personal (117), agua embotellada (122) y bebidas embotelladas (123).

Salidas (residuos). El 67% de los hogares encuestados produce residuos sólidos urbanos (RSU) diariamente, mientras que el 21% produce residuos semanalmente; el 7% produce residuos cada segundo día y por último un 6% produce residuos 2 veces a la semana; la separación de estos residuos la realiza el 78% de los hogares, básicamente en residuos inorgánicos y residuos orgánicos; este último según indicaron algunos habitantes lo utilizan para las plantas o para alimentar animales: se observó un alto consumo de productos con empaques totalmente desechables, a través del tipo de RSU que se desecha con mayor frecuencia: sobras de alimentos (95 hogares), plásticos (87 hogares), papel (77 hogares), aluminio (31 hogares), vidrio (20 hogares) y diversos residuos (20 hogares).

El 94% de los hogares expresó que hay un servicio de recolección de RSU, pero pasa únicamente en una zona donde existe pavimentación por lo que los demás habitantes colocan sus RSU en ciertos lotes o puntos establecidos por los mismos habitantes que no cuentan con algún control o supervisión (Figura 4); es importante señalar que las prácticas de disposición de RSU por parte de los habitantes incluyen además la quema de basura que representa en 44% de los hogares (Figura 4). En cuanto a la manera en que realizan la disposición del agua empleada para labores domésticas, y lavado de ropa, el 70% de los hogares lo hace directamente al suelo y solo un 30 % utiliza la fosa séptica, la cual en un 77% de los casos no se ha vaciado; en el caso aguas servidas de uso sanitario el 91% de los hogares cuenta con inodoro de descarga, utilizando fosa o pozo de absorción. Esto llama la atención porque en lo relativo a las aguas grises un número importante de entrevistados dijeron no contar con fosa séptica o pozo, y en las fichas de observación no se registra esa infraestructura, por lo que puede existir una contaminación directa al suelo por las descargas; en cuanto a drenaje pluvial, el AI no cuenta con éste, y en época de lluvias las calles no pavimentadas pueden volverse intransitables y afectar la disposición de los RSU.

Figura 1. Categorías y Variables del Metabolismo Urbano

GRUPO	ELEMENTOS	VARIABLES
ENTRADAS	ALIMENTOS	Abastecimiento de despensa
		Disponibilidad de energía eléctrica
	ENERGÍA	Fuente de energía eléctrica
		Disponibilidad de gas o combustible para cocinar
	AGUA	Disponibilidad de agua
PROCESOS		Fuente de abastecimiento
	ENERGÍA	Usos de la energía o combustible
		Lugar donde compra la despensa
	ALIMENTOS	Productos de mayor consumo o uso frecuente
	AGUA	Actividades en las que utiliza agua
SALIDAS		Consumo diario de agua
	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	Frecuencia de generación de RSU
		Tipo de residuos RSU
		formas de separación de RSU
		disponibilidad de servicio de recolecta de RSU
	AGUAS SERVIDAS	frecuencia de servicio de recolecta de RSU
		Forma de desecho de aguas servidas
		Uso y mantenimiento de fosa séptica o tanque
		Tipo de instalación sanitaria en la vivienda

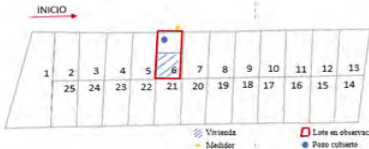
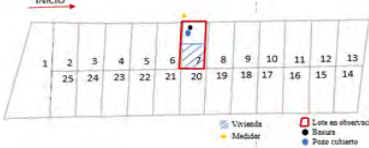
Nota: Elaboración propia

Figura 2. Catálogo de contenedores para estimar el consumo de agua por día.



Nota: elaboración propia

Figura 3. Ficha de Observación

 Instituto Tecnológico de Chetumal <i>Licenciatum in Architectura</i>		
Proyecto: Análisis espacial del metabolismo urbano en los asentamientos humanos irregulares en la ciudad de Chetumal		
Fecha: 11 de noviembre de 2023	Nombre del AI: Las Antorchistas, Mártires	
No. de folio: 6	Ubicación:	
Responsable del Levantamiento: Zamirne Juan	Manzana: 27	
	Lote: 6	
Características del lote: Casa de color blanco y rojo, bardado de color amarillo con postes agua azul.		
VIVENDA		
Fotografía: 	Ubicación en el croquis: (Identificar el número de lote, localizar pozos existentes en el croquis, doter de basura, botaderos, áreas, veredas de leñitas o tanque sepiro, medidores de energía eléctrica, tendas de abarrotes, etc.) 	
Observaciones generales del lote: Existe un rotoplas en el techo de la casa, se observa que su pozo (cubierto con madera) está conectado a una bomba para suministrar agua a la vivienda. No se logró aplicar la encuesta ya que los residentes no estaban en casa. Se observa que tienen medidor que proviene del CFE y es de uso exclusivo.		
Fecha: 11 de noviembre		
Nombre del AI: Las Antorchistas, Mártires		
No. de folio: 7		
Ubicación:		
Manzana: 27		
Lote: 7		
Características del lote: Casa en remodelación, sin color y sin barda.		
VIVENDA		
Fotografía: 	Ubicación en el croquis: (Identificar el número de lote, localizar pozos existentes en el croquis, doter de basura, botaderos, áreas, veredas de leñitas o tanque sepiro, medidores de energía eléctrica, tendas de abarrotes, etc.) 	
Observaciones generales del lote: Residentes transportan su basura a la esquina de la manzana (el camión solo pasa en las áreas pavimentadas), su pozo está cubierto y ubicado al frente de su predio, al lado de ello guardan sus bolsas de basura antes de llevarlo a la esquina. Se observa que el pozo tiene una bomba para sacar el agua y suministrar la vivienda.		

Nota: elaboración propia

Figura 4. Punto establecido para la disposición de RSU en la esquina manzana 27 del AI Mártires Antorchistas



Nota: elaboración propia

Conclusiones

En esta aproximación al desempeño del metabolismo urbano del AI Mártires Antorchistas, se observó un déficit en su funcionamiento, que genera importantes impactos en el medio ambiente, pero también en la salud de sus habitantes; dentro de las entradas, la energía eléctrica es el único servicio básico con el que gran parte de la población cuenta, no así con el agua, que se obtiene mediante pozos que pueden tener contaminantes derivados de la forma en la que disponen los residuos tanto sanitarios como sólidos urbanos; en el caso de los alimentos, el no contar con equipamiento en abasto, afecta indirectamente al AI y al entorno, porque los desplazamientos realizados sea diariamente o semanalmente, implican el uso de combustibles y generación de CO₂. En el caso de los procesos, el consumo de agua se mantiene por debajo del promedio de consumo hab/día de la ciudad y se distribuye en actividades que son las

comunes en la mayoría de los hogares en zona urbana; además la extracción del agua a través de pozos contribuye a mantener cierto control y no se observaron otros elementos que requieran grandes cantidades de agua, como chapoteaderos o piletas; en el caso de la energía empleada para los alimentos, es el gas butano el que se usa con mayor frecuencia, sin embargo llama la atención el uso de leña y carbón, cuyas partículas en el proceso de combustión pueden afectar seriamente la salud. Las salidas son uno de los principales problemas en el proceso metabólico porque no se logran absorber por el medio; la generación de RSU donde predominan plásticos de único uso, las aguas servidas que contienen químicos y los residuos sanitarios no pasan por un proceso de tratamiento por lo que van directamente al suelo, generando un ciclo de contaminación desde las entradas. El déficit en el funcionamiento del metabolismo urbano de un AI es una situación que debe ser estudiado tanto cualitativamente ya sea para un acercamiento o para determinar la percepción del problema por parte de los habitantes y sus posibles soluciones como cuantitativamente para contar con indicadores de seguimiento que permitan establecer la dotación de infraestructura, la regularización del asentamiento o bien la reubicación.

Referencias bibliográficas

- Acevedo de los Ríos, A., & Chumpitaz Requena, F. R. (2022). Análisis del metabolismo urbano en los asentamientos informales con el método Musiasem en Lima. Caso de estudio: Ciudad de Gosen- Villa María del Triunfo. Grupo de Investigación Ciudad, Paisaje y Patrimonio Instituto de Investigación Científica. <https://www.ulima.edu.pe/idic/blog/analisis-metabolismo-urbano-asentamiento-humano-metodo-musiasem>
- Angelone, M., Cabrera, D., & Moreno, R. (2018). Rehabilitación urbana en asentamiento informal: ciudad y territorio- Hábitat y sostenibilidad (pp. 1–74) [Proyecto de grado]. <http://hdl.handle.net/10584/10458>
- Céspedes Restrepo, J. D., & Morales-Pinzón, T. (2018). Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis, and research perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.023>
- Derrible, S., Cheah, L., Arora, M., & Yeow, L. W. (2021). Urban Metabolism. *Urban Informatics*, 85–114. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_7
- Hoornweg, D. A., Campillo, G., Linders, D., Salvador-Sali, A. N., & Sugar, L. (2012). Mainstreaming Urban Metabolism: Advances and challenges in city participation. Sixth Urban Research and Knowledge Symposium. https://www.researchgate.net/profile/Dennis-Linders/publication/258240161_Mainstreaming_Urban_Metabolism_Advances_and_Challenges_in_City_Participation/links/00b495308a7fd41235000000/Mainstreaming-Urban-Metabolism-Advances-and-Challenges-in-City-Participation.pdf
- INEGI (2020). Censo de Población y Vivienda. Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi.org.mx)
- INSUS. (2020). Política Nacional de Suelo. <https://www.gob.mx/insus/documentos/politica-nacional-de-suelo>
- Jaramillo Ochoa, C. E. (2017). Estudio de metabolismo urbano en la ciudad de Cuenca [Trabajo Experimental]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14260/1/UPS-CT007009.pdf>
- Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del estado de Quintana Roo. (16 de agosto de 2018). Decreto 194. P.O.E. <http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L191-XV-16082018-741.pdf>
- Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal- Calderitas-Subteniente López-Huay Pix-Xul-Há. P.O.E 27 de marzo de 2018.
- ONU HABITAT (2022). World Cities Report 2022. Envisaging the Future of Cities. United Nations Human Settlements Program (UN-Habitat). Nairobi. World Cities Report 2022 (unhabitat.org)
- ONU HABITAT. Blog. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/las-ciudades-cause-y-solucion-del-cambio-climatico>
- Riverol Uh, K. y Wong González, I. (2021). Análisis de los asentamientos humanos irregulares en Chetumal. Documento del Proyecto de Estancia Profesional realizado en la Secretaría de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable. Instituto Tecnológico de Chetumal.
- Rodríguez Guerra, A., & Espinel Ortiz, M. (2021). Conflictos socioambientales asociados al cambio en el metabolismo urbano: cantón Rumiñahui-Ecuador. *Revista Alfa*, 5(13). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.96>
- SNIARN. (2018). *compendio estadístico ambiental*. México: SNIARN
- Testa, J., Bertoni, M., & Maffioni, J. (2017). Eje temático: Turismo, políticas y desarrollo análisis de los ciclos de metabolismo urbano para una ciudad turística sustentable y competitiva. El caso de miramar (Buenos Aires, Argentina). <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2813/1/testa-et-al-2017.pdf>
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of Cities. *Scientific American*, 213(3), 178–190 <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0965-178>



OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA DE HELMHOLTZ MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Elsa Ortega de Ávila¹, Luis Ángel Correa García²,
Juan Carlos Pino Acevedo³, José Martín Barajas Guerrero⁴, Miguel Ramírez Sotelo⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 08/01/2024 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a5>

Resumen. Para las Ciencias de la Ingeniería es importante contar con programas de cómputo dinámico que proporcionen respuesta a problemas informáticos con soluciones complejas, robustas y capacidad de adaptarse a diversos usuarios, por lo que deben ser diseñados y construidos acorde a las necesidades particulares. La investigación presenta una función para obtener una solución que consiste en minimizar la Energía de Helmholtz para el modelo Hard Gaussian Overlap, por medio del método de Inteligencia Artificial. Se propone una ecuación de estado para la fase Isotrópica y otra para la Nemática. Particularmente se calcularán las variables V y W, que son los parámetros anisotrópicos repulsivos mediante el método de Algoritmos Genéticos, los cuales durante varias generaciones (iteraciones) se calcula la solución óptima de dicha transición. Se concluye que el modelo estudiado superó lo encontrado en la literatura y puede ser utilizado como método de Inteligencia Artificial para resolver otro tipo de problemas en la producción de empresas o para mejorar el ahorro de energía. Implementar algoritmos para la toma de decisiones y en aplicaciones tecnológicas.

Palabras clave: Algoritmos, genéticos, inteligencia, artificial, búsquedas.

OPTIMISING HELMHOLTZ'S ENERGY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract- For Engineering Sciences, it is important to have dynamic computer programs that provide answers to computer problems with complex, robust solutions and the ability to adapt to different users, so they must be designed and built according to particular needs. The research presents a function to obtain a solution that consists of minimizing the Helmholtz Energy for the Hard Gaussian Overlap model, by means of the Artificial Intelligence method. An equation of state is proposed for the Isotropic phase and another for the Nematics phase. In particular the variables V & W, which are the repulsive anisotropic parameters, will be calculated using the method of Genetic Algorithms, which during several generations (iterations) the optimal solution of this transition is calculated. It is concluded that the model studied surpassed what has been found in the literature and can be used as an Artificial Intelligence method to solve other types of problems in the production of enterprises or to improve energy savings. Implementing algorithms for decision-making and technological applications.

Keywords: Algorithms, genetic, intelligence, artificial, search.

Introducción

Actualmente se realiza de forma manual la minimización de la función de la energía de Helmholtz por el modelo Hard Gaussian Overlap, que ordena las moléculas para el buen funcionamiento de los cristales líquidos, lo que presenta un área de oportunidad para adentrarse en el conocimiento tanto de los cristales líquidos, algoritmos genéticos y aplicar la programación en lenguaje Java a un problema real; al desarrollar un programa computacional con la finalidad de

¹ Doctora asignada al posgrado del Tecnológico Nacional de México/ IT Zacatecas <https://orcid.org/0000-0003-0405-2978>. CVU CONAHCYT: 834373. elsa.ortega@zacatecas.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

² Doctor asignado al posgrado del Tecnológico Nacional de México/ IT Zacatecas <https://orcid.org/0000-0002-3255-7191>. CVU CONAHCYT: 309502. luis.cg@zacatecas.tecnm.mx

³ Doctor asignado al posgrado del Tecnológico Nacional de México/ IT Zacatecas <https://orcid.org/0000-0003-0252-8952>. CVU CONAHCYT: 40260. juan.pinoacevedo@zacatecas.tecnm.mx

⁴ Jefe de Laboratorio de Cómputo del Tecnológico Nacional de México/ IT Zacatecas. <https://orcid.org/0000-0002-2443-9590>. CVU CONAHCYT: 833860. martin.barajas@zacatecas.tecnm.mx.

⁵ Maestro asignado al posgrado del Tecnológico Nacional de México/ IT Zacatecas <https://orcid.org/0009-0000-0966-9681>. CVU CONAHCYT 481129. 309502miguel.ramirez@zacatecas.tecnm.mx

disminuir la ardua tarea matemática. Por lo tanto, el objetivo de la investigación es la minimización de la función de la energía Helmholtz automatizando el método de los Algoritmos Genéticos a través de una ecuación de estado para la fase la Nemática (fase ordenada) del proceso.

La hipótesis nula es que no se puede minimizar la Energía de Helmholtz por el modelo Hard Gaussian Overlap porque las diferencias entre las fases son dispersa y la hipótesis alternativa es que por medio de los algoritmos genéticos se puede minimizar la Energía de Helmholtz para el modelo Hard Gaussian Overlap encontrando las variables V y W que optimicen la solución de la diferencia de la fase Isotrópica y la fase Nemática es menor a 10-3. Estos modelos son efectivos para la toma de decisiones además es un método que busca la solución de problemas complejos y de optimización. El programa desarrollado en su primera versión es un sistema local, es decir, no está diseñado para trabajar en ambientes web o móvil. Por lo tanto, la investigación impacta a corto plazo en el proceso enseñanza aprendizaje para la generación del conocimiento con los estudiantes. A largo plazo, beneficiará a la innovación tecnológica en los procesos. Asimismo, el modelo productivo actualmente es aplicado en la forma de producir televisores y laptops con pantallas de cristales líquidos. La sensibilidad a la temperatura en los termotrópicos es explotada en la producción de termómetros, dispositivos para diagnósticos de circulación y crecimiento de áreas de cáncer entre otros (García, 2001).

En la actualidad, los sistemas informáticos representan para las instituciones, un medio eficaz para agilizar los procedimientos que se desarrollan. Incrementan la productividad al implementar Tecnologías de Información, modelos y estructuras de datos para cubrir las necesidades, actuales y futuras, en instituciones que disponen de este tipo de programas. El documento se estructura en un inicio por el planteamiento del problema, seguido el apartado teórico, el cual expone el modelo Hard Gaussian Overlap, posteriormente se desarrolla la metodología y por último se presentan los resultados de la función.

Marco Teórico

La carencia de inversión en tecnología permanece como un problema fundamental en nuestro país (Correa, 2020), debido a que las empresas, organizaciones públicas y privadas, generalmente no poseen tecnología como la Inteligencia Artificial (IA) o los Algoritmos Genéticos (AG), lo que provoca que experimentan un aumento en los costos de energía eléctrica, incremento en las pérdidas por transformación así como deficiencias en el sistema operativo en general (Borges, Push y Frías, 2017) y frena la innovación que es determinante en las organizaciones (Correa y González, 2017). La aplicación de Algoritmos Genéticos es apropiada para resolver problemas donde obtener la solución resulta demasiado laboriosa, debido a que es un área con limitado crecimiento de la Inteligencia Artificial y la carencia en su aplicación, dificulta la eficacia y confiabilidad de los sistemas.

Según Tejeda (2019) no es una tarea fácil encontrar los valores óptimos para los parámetros en los Algoritmos Genéticos de Inteligencia Artificial. Por su parte Berres, Coronel y Lagos (2018) señalan que los problemas de optimización se resuelven aplicando Algoritmos Genéticos, ya que se debe plantear la función objetivo. Otra perspectiva es la de Obando (2017) quien plantea el problema de encontrar un punto de una función bajo ciertas restricciones. En esta investigación el problema a resolver se presenta con la función $f(\Omega, x, y, z)$. Hoy en día, los AG están siendo utilizados en problemas de interés común, como lo pueden ser: la predicción en el mercado accionario combinando los AG con un autómata (Gómez et al., 2021), la planificación de la cartera de valores, asociados a la ingeniería aeroespacial, compra venta en mercados futuros (Wang et al., 2016), diseño de microchips, bioquímica y biología molecular, diseño de horarios en aeropuertos y líneas de montaje (Sancho, 2019).

De acuerdo a la revisión de literatura son limitadas las investigaciones sobre la IA y los AG, empero, autores como Tovar, Almanza y Montes (2016) han utilizado éste método para estimar la anisotropía HTI (Horizontal Transverse Isotropy) con migración de poblaciones, así como Ruiz (2014) con su estudio optimización multi-objetivo al problema de distribución de planta, otros ejemplos son los de Verdecia y García (2020) quien estudia la optimización estructural de una torre, por su parte Jiménez (2018) quien investiga la solución a una planificación de tareas llamado Problema de Programación de la Tienda de Trabajo y el autor Castrillón (2015) realiza un aporte respecto a ritmos cognitivos y algoritmos evolutivos en la programación de horarios en universidades.

En la actualidad, es notable el interés y avances en la Inteligencia Artificial (IA), sin embargo, existen tres grandes problemas que enfrenta: el primero es el volumen de datos, debido a que cuando incrementa, existe complejidad en el entrenamiento de los modelos. El segundo es la limitación para las tareas múltiples y por último la compresión de sus conclusiones. El gran volumen de datos es esencial para entrenar modelos de Inteligencia Artificial. Sin embargo, este

exceso de datos puede presentar desafíos en términos de almacenamiento, procesamiento y eficiencia. La calidad de los datos también es crucial, ya que modelos entrenados con datos sesgados pueden producir resultados no deseados o injustos, un estudio relacionado con esto lo presentan Lin et al. (2017) sobre la minería de datos y los AG para acciones del mercado de valores. En cuanto a las tareas múltiples se refiere a que algunos modelos de IA tienen dificultades para realizar múltiples tareas simultáneamente. En la práctica, esto significa que un modelo entrenado específicamente para una solución puede no ser eficiente al realizar otras tareas diferentes. La adaptabilidad y la generalización de los modelos son áreas de investigación activas para abordar este problema y lograr que los modelos sean más versátiles, otra dificultad es la comprensión de las conclusiones porque algunas soluciones resultan abstractas y es difícil interpretarlas. De acuerdo a la problemática planteada, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Se puede minimizar la Energía de Helmholtz para el modelo Hard Gaussian Overlap encontrando las variables V y W que optimicen la solución de la diferencia menor a 10-3 de la fase Isotrópica y la fase Nemática?

Se espera que la IA realice tareas que son difíciles para los seres humanos y pueda simular la inteligencia humana. Para esto se crean algoritmos y programas que puedan ejecutar tareas desarrolladas a partir del conocimiento en diversas áreas (Herrera, 2023). Además, se basan en mecanismos de aprendizaje en el que la acumulación de datos con procesamiento rápido y algoritmos inteligentes es lo que permite la optimización de las soluciones (Benhamou, 2022:7; Demera et al., 2023). Se han combinado los estudios de AG con redes neuronales para resaltar las ventajas de tiempo y predicciones en distintas disciplinas (Chung y Shin, 2018), como ejemplo los AG con el reconocimiento de patrones para optimizar cuadrículas, reduciendo riesgo y aumentar ganancias (Mousinoho & Ferreira, 2020). La Inteligencia Artificial es utilizada en el día a día sin que el usuario tenga conocimiento de su uso. Algunos ejemplos notables son los chatbots (atención personalizada), asistentes virtuales (como Alexa o Siri), plataformas de streaming para reproducción de audio y video, procesos selectivos y aplicaciones GPS, entre otras (National Geographic, 2023).

Los cristales líquidos

Desde 1888, Friedrich Reinitzer observó una sustancia derivada del colesterol de tipo sólida que, al calentarla formaba un líquido turbio y al seguir calentando llegaba a ser transparente. Al siguiente año el físico Alemán Otto Lehmann le pone nombre de cristales líquidos (CL). Fue hasta el año de 1964 que George Heilmeyer observó que estas sustancias al encender o apagar un campo magnético permiten el paso de la luz. Destaca que si la sustancia es sometida a un campo eléctrico cambia la orientación de sus moléculas (Chávez, 2021).

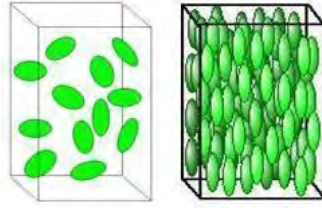
Los materiales CL poseen propiedades ópticas no lineales aún más fuertes en la fase líquido-cristalino que en la fase isotrópica, es por ello que se busca las variables óptimas termodinámicas aplicadas a los cristales líquidos mediante una función de estado para pasar de la fase isotrópica a la fase nemática. Los CL son utilizados en las pantallas de algunas computadoras y calculadoras. Las pantallas de cristal Líquido Digital (LCD) tienen muchas ventajas, como lo son su bajo consumo de energía, su capacidad para mostrar imágenes a alta resolución y la posibilidad de ser fabricadas en una amplia gama de tamaños. Según las propiedades de la sustancia, se puede aprovechar para diferentes funciones según el cambio de color por la luz que provoca la temperatura (Ortíz, 1994).

De acuerdo con los tres estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso), los cristales líquidos corresponden a una fase intermedia entre sólidos y líquidos. Las primeras evidencias fueron descritas por Sydney (1950:32). Actualmente la aplicación de los cristales líquidos es amplia, desde las pantallas de televisores y computadoras hasta termómetros y apagadores de dispositivos térmicos. Los cristales líquidos tienen la característica de contar con cierto grado de fluidez y viscosidad que comparte con un líquido ordinario que genera propiedades ópticas como las de los cristales (Ortiz, 1994). Sus moléculas son un tanto alargadas, lo que permite que puedan ser vistas a través de un rayo de luz; presentan distintas fases de acuerdo con los procesos térmicos que se les aplica, como son: isotrópica, nemática, esméctica y colestérica (Quintana, 2000). La diferencia entre ellas es la orientación de sus ejes moleculares. De ahí que se tiene una función donde se muestra la orientación por partícula: $f(\Omega, x, y, z)$, donde: x, y, z son las coordenadas de los centros de las moléculas y Ω es la orientación de la molécula.

La fase isotrópica es la desordenada, debido a que las moléculas no presentan orden orientacional ni orden posicional como se observa en la figura 1, la cual se presenta en los fluidos. Su función es $f(\Omega, x, y, z) = \text{Constante}$.

La fase nemática es más sencilla y presenta orden, al menos en la orientación de sus moléculas. Aunque sigue con desorden, con respecto a sus centros de masa y posición. Su función es $f(\Omega, x, y, z) = f(\Omega)$. El cambio entre la fase isotrópica y la nemática depende de la temperatura.

Figura 1. Comparativa entre la fase Isotrópica y la fase Nemática.



Nota. Es la representación de las moléculas en cada una de las fases comparadas. Elaboración propia.

Modelo Hard Gaussian Overlap (HGO)

Es un modelo molecular muy sencillo para explicar el comportamiento de las fases con interacciones repulsivas. El interés principal para estudiarlo no radica únicamente en las ventajas computacionales sobre el modelo de Elipsoides Rígidos Uniaxiales, sino en el hecho de que el modelo HGO es el sistema de referencia natural en la formulación de teoría de perturbaciones. En este se tiene la energía libre de Helmholtz por partícula de un fluido HGO (Yang & Collings, 2020), solo que en este caso utilizando la aproximación de desacoplamiento de Parsons:

$$\frac{\beta A}{N} = \ln \ln p + 3 \ln \ln \Delta - 1 + \int f(\Omega) \ln \ln [4\pi f(\Omega)] d\Omega + \frac{(4-3n)\eta}{(1-n)^2} \quad (1)$$

$$z_0(\eta) = (1 + \eta + \eta^2 - a\eta^3) / (1 - \eta)^3 \quad (2)$$

Nótese que esta expresión presenta tres contribuciones. Los primeros tres términos se deben a la componente de la energía cinética; el cuarto término es una contribución orientacional; el quinto término se debe a una parte repulsiva o de exceso, el cual puede ser descrito utilizando la aproximación de Parsons. En la componente repulsiva de la energía libre, el volumen excluido utilizado para el modelo HGO está expresado de la forma:

$$v_{CXCt}(\Omega_1, \Omega_2) = \frac{8v_M}{[1-x^2]^{\frac{1}{2}}} (1 - x^2(\Omega_1, \Omega_2)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

La energía libre para la fase Isotrópica es obtenida al considerar $f(\Omega)$ igual a $1/(4\pi)$ y sustituida en la ecuación desacoplamiento de Parsons. De esta manera se obtiene que la expresión de la energía libre:

$$\frac{\beta A}{N} = \ln \ln \rho + 3 \ln \ln \rho + \frac{(4-3n)\eta}{(1-n)^2} \left[1 + \frac{x}{x(1-x^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (4)$$

Utilizando la expresión:

$$\frac{PV_m}{K_B T} = \eta \left[1 + \eta \frac{\partial(A-A^{id})}{\partial \eta} \right] \quad (5)$$

Donde: $\eta = \rho V_m$ es la fracción de empaquetamiento, ρ es la densidad numérica, V_m es el volumen de la molécula, T es la Temperatura y K_B es la constante de Boltzmann. Además, como $\beta = 1/K_B T$, se tiene:

$$P^* = \frac{\beta P}{\rho} = 1 + \eta \frac{\partial(A-A^{id})}{\partial \eta} \quad (6)$$

dicha ecuación se denomina la ecuación de Estado.

Para la fase isotrópica (I) se obtiene que

$$P_I^* = \frac{\beta P}{\rho} \equiv Z(\eta, X) = 1 + H(X)[Z_0(\eta) - 1] \quad (7)$$

Donde:

$$H(X) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\text{ArcSen } X}{X(1-X^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (8)$$

Es el promedio orientacional del volumen excluido, $Z(\eta, X)$ es el factor de compresibilidad, $Z_0(\eta)$ es el factor de compresibilidad de esferas duras. Para la ecuación de estado en la fase Nemática (N) que se propone en esta investigación es:

$$P_N^* = \frac{\beta P_{Nem}}{\rho} = 1 + a_0(x, \eta) \quad (9)$$

$$\text{Donde: } a_0(x, \eta) = H(X) \left[1 + V(1 - \eta) - w \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \right] \quad (10)$$

Es la ecuación de estado que predice el comportamiento experimental ajustando dos o más parámetros.

Los Algoritmos Genéticos. Los AG son las técnicas más comunes porque son sencillas para programar (Berres, Coronel & Lagos, 2018). Fueron descubiertos por John H. Holland y sus colaboradores, quienes utilizaron la

codificación binaria. No obstante, actualmente se ha extendido a la codificación con números reales (Tejada, 2019). Existen una gran cantidad de métodos de optimización, los cuales se pueden agrupar en dos grandes grupos: clásicos y heurísticos (Negrín, Negrin y Chagoyén, 2020). Los AG son métodos heurísticos que resuelven problemas de optimización de búsqueda encontrando la solución óptima en un tiempo razonable (Antequera, 2020), aunque puede haber mejores rutas (Jiménez, Arango y Jiménez, 2016), los AG tienen eficacia para llegar a una solución para casi cualquier problema computacional (Sancho, 2019). Sin embargo, el propósito es generar una óptima solución teniendo en cuenta el error con respecto a la cuestión al mismo tiempo que se evalúa con la función objetivo.

Los AG crean diferentes caminos mediante la mutación y recombinación con el conjunto de hipótesis establecidas en cada iteración, se tienen un conjunto de soluciones llamado “población actual” que se actualiza remplazando una proporción por los sucesores más aptos (Chavaje, Ortiz y Pérez, 2021). Los operadores genéticos sirven para la formación de las siguientes generaciones, los cuales son: selección, cruce, recombinación y mutación. Donde hay intercambio del material genético de los padres, el operador mutación se considera de segundo orden en comparación con los otros (Verdecia y García, 2020). Partiendo de esto, surge la fama de los AG, debido a que la evolución es un método bien probado dentro de los sistemas biológicos naturales. Además, son usados en problemas complejos de optimización, ya que obtienen soluciones con un alto grado de asertividad, aún y cuando no sean la solución ideal (Fonseca et al., 2014).

Los entes se representan como cadenas de números, que en conjunto forman una población. Así, se tienen muchos individuos y se simula una población (Tejada, 2019). Para esta investigación se propone un conjunto binario, que serían los genes de la entidad. Los números interpretan a las características de la entidad como el color de sus ojos y la estatura. Después de observar las características que forman a las mejores soluciones. Se califica a los entes de manera similar a la forma en que la naturaleza lo hace a los entes más aptos, permitiéndoles sobrevivir con una mayor probabilidad (Berzal, 2022). De esta manera funciona el operador de selección. Luego se depositan en una lista de ranking. En la naturaleza, el 50% del material genético proviene de la madre y el otro 50% del padre, pero el ente resultante es distinto a los dos padres (Komblihtt, 2017).

En los AG, el porcentaje de combinación de cada ente se puede elegir según convenga. Se combinan una supervivencia adecuada, por medio de cadenas de estructura, con una información aleatoria intercambiada, con algunas de las innovaciones especiales de la búsqueda humana (De la Cruz, Fernández & González, 2018). Por último, se consideran las mutaciones donde se pueden hacer cambios radicales a los individuos con las mejores características, pero mezclados para explorar nuevas características posibles en éstos. Con la tecnología, se tiene la ventaja de que se puede hacer esto muchísimas veces en milésimas de segundo, lo que para la naturaleza le tomaría muchísimos años. El resultado es una población bastante grande de entes y, entre ellos, alguno será la mejor opción (Negrin, Negrin y Chagoyén, 2020). Existen operaciones que se pueden hacer como: el mejor individuo de toda la progenie nunca muere; conservar al mejor ente por “n” generaciones; hacer cruzamientos con millones de descendientes; que un ente esparza su herencia genética en toda la población; entre otras. El hecho de que haya una infinidad de operaciones hace interesante el estudio de los AG (Kuri, 2022). La teoría matemática de los AG, no se ha afianzado ni ha alcanzado un nivel de desarrollo significativo porque se trata de un proceso muy complejo (Gutiérrez, 2021).

Para ejecutar el procedimiento, se debe contar con la función de optimización, que es la evaluadora de los entes. De esta manera, se hace la selección de reproducción de entes y luego se mezclan los productos para la siguiente generación. Para identificar a los individuos que se cruzan se aplica el operador de selección por torneo binario, y enseguida se aplica elitismo para conservar al individuo con mayor aptitud de todas las generaciones iteradas hasta el momento (Castro, Cabanillas y García, 2017). Un factor de mutación en la siguiente generación puede ser solo una parte del ente mutado (Obando, 2017). Aún así, no es seguro llegar a la solución ideal. Estos mecanismos de la evolución operan en función de mejorar las características de sus miembros. Se tiene el detalle de que si la población inicial no es muy apta, transmitirá estas características a las generaciones futuras (Tovar, Almanza y Montes, 2016). Sin embargo, existen varias clases de cromosomas o entes dependiendo del problema a resolver, estos son: codificación binaria, numérica, por valor directo o codificación de árbol (Espitia & Mendoza 2021). Para este estudio se realiza codificación binaria. La aptitud de un organismo se define típicamente como la probabilidad de que el organismo vivirá para reproducirse o en función de sus descendientes (fertilidad). Para ello, se ocupa el fitness para darle a cada gen una evaluación con respecto a parámetros del problema. Esto es, cuanto más cerca esté de la solución mayor será su puntuación. En la investigación se pretenden encontrar dos variables, las cuales minimizan el error de diferencia entre la presión isotrópica y la presión nemática de los cristales líquidos.

Materiales y métodos

Diseño de investigación. El diseño es no experimental, con enfoque cuantitativo. La investigación por su naturaleza es de tipo aplicada y por su alcance descriptivo. Utiliza un método metaheurístico (a prueba y error que utiliza la programación) para la resolución de problemas. El método metaheurístico resuelve problemas computacionales dando parámetros. La principal técnica utilizada es la observación. Así como, el estudio del funcionamiento del algoritmo genético programado. El instrumento está constituido por un programa de aplicación, escrito en lenguaje de programación Java, que implementa el Algoritmo Genético.

Los operadores genéticos que se emplean en este algoritmo son: selección, cruce y mutación. Se emplean organismos haploides, esto es, constituidos por un solo cromosoma, a continuación, se describe el proceso de evaluación y selección desarrollado en la presente investigación.

Proceso de evaluación y selección:

1. Evaluar la puntuación (fitness), es decir, lo cerca que esté de la solución.
2. Permitir a cada uno de los entes reproducirse con su puntuación.
3. Hacer que los entes de la nueva generación intercambien material genético.
4. Cambiar alguno de los bits que se altere debido a una mutación.

El proceso es muy parecido a los pasos básicos que explican Iglesias e Iglesias (2011), donde el fitness (ajuste) es el que determina los entes que se van a reproducir y desechar. Se usa el orden o rango de acuerdo con la evaluación aplicada. Se puede realizar una operación para escalar al fitness, lo que produce la mutación de la población. Luego, seleccionar una serie de entes, por medio de rango, donde se mantiene un porcentaje de la población. Se coloca toda la población en orden de fitness, donde los menos certeros son eliminados y sustituidos por la descendencia de alguno de los más aptos. El mejor fitness será el que arroje la menor diferencia entre las presiones isotrópica y nemática.

El operador cruzamiento, consiste en intercambiar el material genético entre dos padres haploides. En la reproducción haploide los genes se intercambian entre los cromosomas de los dos padres. El descendiente está conforme a la mutación, en la cual solo los nucleoides (pedacitos elementales de DNA) se cambian del padre al descendiente. Los cambios que resultan a menudo presentan errores de copiado. El operador de cruce genera dos nuevos descendientes a partir de dos cadenas padre recombinando sus bits. La función objetivo es la suma de valores absolutos de la diferencia entre la presión calculada con la teoría. La presión obtenida por simulación o experimento, según sea el caso. Es decir, para el caso en que se tenga que comparar la teoría de HGO con la optimización con Algoritmos Genéticos, se utiliza la presión obtenida por medio de simulaciones reportadas en la literatura.

Algoritmo de programación

Para explicar este proceso de transición de la fase Isotrópica a la fase Nemática mediante el modelo HGO, aplicando algoritmos genéticos para efectuar la optimización y minimización de la ecuación de estado propuesta en esta investigación, se presenta el diagrama de flujo de la figura 2. En la primera etapa, se introducen los valores de las variables k, η, v, w, a . La segunda evalúa las expresiones para χ , $H(\chi)$, $P^* I$, $P^* N$. La tercera etapa aplica la restricción $|P_I - P_N| \approx 1 \times 10^{-3}$, de no ser así, se aplica la optimización por medio de algoritmos genéticos y genera un nuevo valor de W . Se sigue esta tercera etapa de manera cíclica hasta que se cumpla con la restricción.

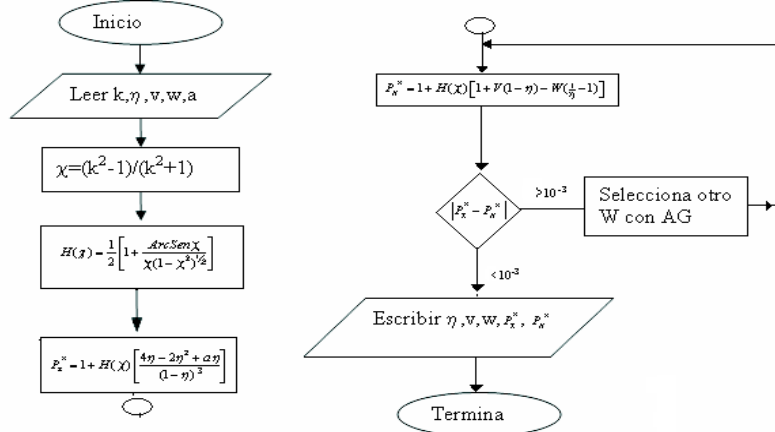
Finalmente, se generan los valores óptimos para ηI , ηN , V , W , $P_I = P_N = P^*$.

David Goldberg fue el primero en programar un algoritmo genético en el lenguaje “Pascal” que incluía rutinas como: Generate, initial Interfac, Random, Report, Stats, Triop y Utility (Goldberg, 1989:224). La investigación tiene como propósito predecir de forma cuantitativa las propiedades de los cristales líquidos. Para ello, se crearon cuatro clases: la principal es Sgaelsa, en ella se realizan los cálculos directamente; Graf la gráfica el comportamiento del AG; Graf2 grafica el resultado final, y; la tabla muestra una comparativa de datos reportados en la bibliografía contra los del AG. En seguida se muestra una lista de las clases y funciones que se usaron para este programa:

- sgaelsa(): constructor, crea un entorno gráfico.
- initpop(): inicializa la población, calcula el fitness y elige los dos mejores cromosomas.
- flip(): regresa 1 ó 0 al azar.
- decode(): convierte un arreglo char de $1\pm$ y $0\pm$ y regresa un entero, es decir convierte de binario a decimal
- objfunc(floatx1): evalúa el cromosoma numérico con la función objetivo.

- generacin(): hace nuevas generaciones a partir de los dos mejores cromosomas y va sacando nuevos padres.
- mutación(): hace otra generación tomando el 30 % de información de los padres.
- binario(): convierte un número a string, numero de decimal a binario.
- buttonHandler: Es el manejador de los botones. Graf i y Graf i2: Prepara los arreglos de datos que se van a graficar y los paneles.
- Paint(): Dibujar líneas con un arreglo de datos.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de minimización.



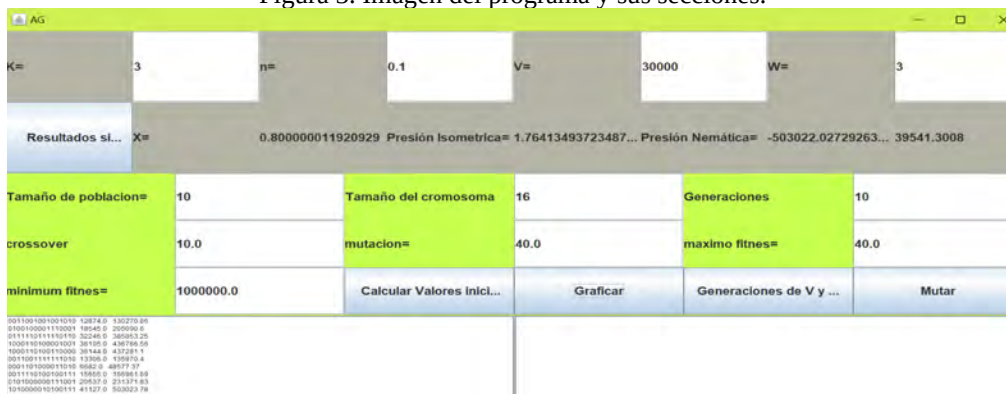
Nota. Es el diagrama que describe el proceso de ajuste de las variables para que la diferencia entre las presiones sea mínima.

Operatividad del software

Como prueba inicial, se selecciona una muestra de 10 individuos cuya configuración de inicio se toma aleatoria. Aunque al considerar más individuos, se tienen mejores predicciones. Con respecto a los operadores genéticos, la probabilidad de cruce varía según se vaya acercando a cero el fitness y la probabilidad de mutación también varía dándole un nivel binario mayor en caso de que se requiera. Inicialmente se insertan los valores para un caso en particular: $k=3$, n isotrópica $=0.1$, $V=30000$ y $w=3$, con el fin de evaluar la robustez de los parámetros obtenidos con AG. Se ponen los mismos datos de entrada que los que se encuentran en la literatura. Se calculan diversos valores para V . De igual forma, se realizan cálculos modificando los otros datos, como se observa en la figura 3.

Ahora bien, si se utiliza AG, el primer botón a oprimir es el de calcular valores iniciales, el cual despliega en la primera lista la población inicial. El botón de graficar muestra los datos iniciales o los datos el de Generaciones de V y W , con esto se genera la lista de la derecha con el número de generación. En seguida, la lista de la nueva población como se muestra en la figura 4.

Figura 3. Imagen del programa y sus secciones.



Nota. El programa está dividido en tres secciones: sección 1 (fondo gris) donde se encuentran los espacios para insertar los datos para operar de manera manual; sección 2 (fondo verde) donde se encuentran los espacios para insertar los datos para operar con AG, y; en la sección 3 se encuentran dos tablas, en la primera, se muestran los datos de la población inicial. En la segunda tabla, se presentan los datos de las poblaciones que se van generando. En la primera sección, se trata de encontrar el resultado a prueba y error, en donde se aprecia que es prácticamente imposible, pues sería estar jugando con un número infinito de posibilidades al tomar valores al azar de las variables V y W . Si se oprime dicho botón, se calcula la presión isotrópica, la presión nemática y la diferencia entre estas presiones, llamado fitness.

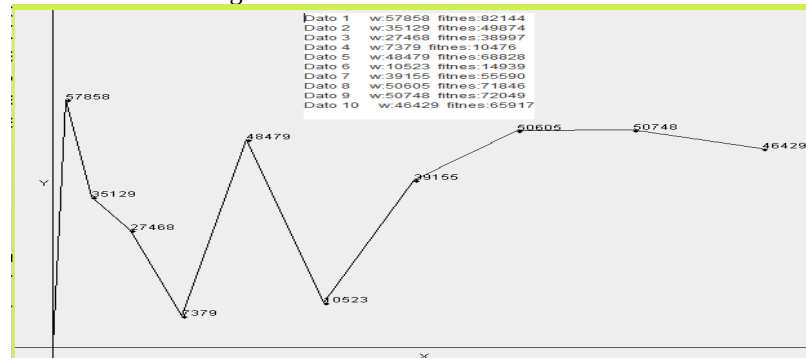
A continuación, el siguiente paso consiste en oprimir el botón que permite graficar, esto para que muestre datos con decimales en una gráfica de 1000 datos, como se observa en la figura 5. Luego se debe dar un clic en el botón de generar V y W, para obtener los datos finales y situarlos en la sección 1. Después de este proceso, lo que sigue es considerar el tope para la solución óptima. Para determinar las generaciones que se requieren de manera útil para el algoritmo genético, se observan los efectos de la reproducción, cruzamiento y mutación sobre el crecimiento o decrecimiento de importancia en los fitness de una generación a otra generación.

Figura 4. Generaciones de cadenas



Nota. Se muestran las cadenas de la primera generación y una parte de la segunda generación, en la siguiente columna se muestra el fitness o valor que obtiene cada cadena.

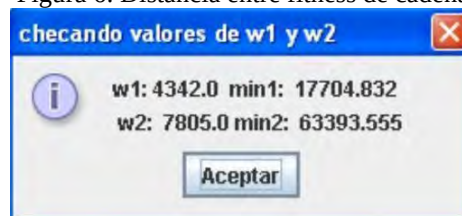
Figura 5. Nueva distancia entre fitness.



Nota. Se muestran las fluctuaciones que van teniendo los valores óptimos.

Los efectos de reproducción en un esquema particular se pueden determinar fácilmente, ya que subsecuentemente son más favorecidas las cadenas que tienen una probabilidad de selección por encima del promedio. En este ejemplo, se muestra que la cadena óptima está muy lejos en fitness de la segunda cadena, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Distancia entre fitness de cadena



Nota. Muestra los valores óptimos para cambiar de la fase Isotrópica a la fase Nemática en la última iteración.

Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos por medio del programa desarrollado, en la cual $k = a/b$, η_i es la fracción de empaquetamiento isotrópica, η_N es la fracción de empaquetamiento nemática, V y W son parámetros que permiten optimizar, P^* es la presión reducida que se compara con los resultados obtenidos con los de simulaciones por computadora y ecuaciones de estado reportadas en la literatura (De Miguel & Martín del Río, 2001) para dicho modelo, se puede apreciar que las dos últimas columnas presentan una variación mínima y están dentro de un rango aceptable.

Tabla 1. Comparación de resultados obtenidos contra los de la literatura

K	η_1	η_N	V	W	P* _{modelo propuesto}	P* _{Literatura}
3	0.508	0.518	24.35581870	0.263121500000000	9.9866 ± 0.49933	10.024
3.5	0.448	0.461	13.62704676	0.206528010000018	6.0371 ± 0.30185	6.511
4	0.401	0.416	8.707839971	0.166782000000013	4.7114 ± 0.23557	4.708
4.5	0.363	0.380	6.028319009	0.137932897384434	3.6629 ± 0.18314	3.648
5	0.331	0.351	4.372048766	0.116186610000000	2.9645 ± 0.14822	2.963
5.5	0.305	0.326	3.318748686	0.099430368920574	2.5012 ± 0.12506	2.490
6	0.282	0.305	2.558140106	0.086008780000005	2.1435 ± 0.10717	2.145
6.5	0.263	0.287	2.026965387	0.075485550000004	1.8879 ± 0.09439	1.884
7	0.246	0.271	1.614728046	0.066667260000003	1.6792 ± 0.08396	1.680
7.5	0.231	0.256	1.292640754	0.059126706733494	1.5104 ± 0.07552	1.516
8	0.218	0.244	1.042852690	0.053200336859951	1.3763 ± 0.06881	1.382
8.5	0.207	0.232	0.848067991	0.048010113883581	1.2732 ± 0.06366	1.270
9	0.196	0.222	0.670600935	0.043511922661076	1.1696 ± 0.05848	1.176
9.5	0.187	0.213	0.535043117	0.039822880028515	1.0934 ± 0.05467	1.095
10	0.179	0.205	0.421868936	0.036700057552558	1.0296 ± 0.05146	1.025

Nota: Elaboración propia con datos tomados de los autores De Miguel & Martín del Río (2001).

Como se aprecia en la tabla 1, con solo diez corridas de procesamiento se llega al mejor resultado de la literatura. Con éste método se pueden hacer miles o millones de corridas en unos segundos de operación. Se debe recordar que, entre más pequeño sea el fitness se está más cerca de la solución óptima. Otra ventaja es que las operaciones por computadora pueden llegar a datos muy exactos como se muestran en las columnas V y W.

Discusión

Los cristales líquidos son materiales que poseen un enorme potencial por las características que tienen por ser influenciados a la temperatura y a los cambios magnéticos (Chávez, 2021). En la programación del algoritmo se coincide con Castrillon (2015), de que si no se encuentra la solución por los padres iniciadores se recurre a la mutación para encontrar otra ruta. Los resultados presentados son consistentes con los de Jimenez (2018), ya que también representa el comportamiento del algoritmo genético por medio de una gráfica, debido a que, cuando la curva de la gráfica se convierte en línea, se comporta estable. Ruiz (2014) en su estudio exhaustivo de los algoritmos genéticos, donde las cadenas primero se convierten en binario y luego se realizan los cruces de cadena para encontrar las soluciones. Este método fue utilizado para realizar el algoritmo genético y presentar los hallazgos que también son consistentes con los presentados por Guerra et al., (2014) quien desarrolla un algoritmo meta evolutivo donde tiene varios algoritmos denominados esclavos de un software que los controla. Este tipo de programa podrá ser la continuidad o segunda parte de este estudio, donde varios algoritmos genéticos estén corriendo paralelamente y luego se comparen las mejores soluciones de los algoritmos genéticos corridos paralelamente.

De lo anterior, se puede discutir que de los estudios analizados el que más se asemeja a esta investigación de algoritmos genéticos como la energía libre de los cristales líquidos, es la de los autores Yang y Collings (2020), sin embargo, toman como tal la función objetivo la energía libre y el programa lo realizan en Matlab, los puntos a su favor son las gráficas que arroja su programa. En este estudio se analiza como funciones objetivo las ecuaciones de estado propuestas a partir del modelo Hard Gaussian Overlap utilizando como referencia la energía libre de los cristales líquidos y se trabaja con el lenguaje de programación Java, lo cual brinda precisión en el resultado de las variables buscadas V y W.

Conclusiones

En la investigación se implementó una técnica de minimización de la energía libre de Helmholtz para el modelo HGO utilizando el Método de Algoritmos Genéticos que permitió describir el comportamiento de diversas propiedades de los cristales líquidos. Dado que se necesita una pequeña cantidad de datos para llevar a cabo la determinación de parámetros mediante la técnica de AG. Se mostró que esta técnica presenta algunas ventajas sobre los métodos de ajuste tradicionales para la determinación de las propiedades de los cristales líquidos.

Se concluye que los parámetros obtenidos mediante AG son robustos y pueden ser aplicados satisfactoriamente a una región. Se proporciona un panorama general de lo que son los AG y su utilidad. Se elaboró un programa de

minimización por el método de algoritmos genéticos utilizando el programa de Java, y se analizó la ecuación de estado que se propuso. La utilización del Método de Algoritmos Genéticos es útil es la solución de problemas óptimos ya que agiliza el proceso de análisis de la información lo cual permite generar mayor eficiencia en el manejo del recurso tiempo y un ahorro considerable en los recursos utilizados. Los resultados del trabajo permiten evidenciar que se puede minimizar la energía de Helmholtz para el modelo HGO utilizando el Método de Algoritmos Genéticos al ser comparados con las simulaciones por computadora y ecuaciones de estado reportadas en la literatura (De Miguel & Martín del Río, 2001) para dicho modelo, se puede constatar que las dos últimas columnas presentan una variación mínima y están dentro de un rango aceptable, con lo que damos respuesta a la pregunta de investigación. Como aporte principal de este trabajo de investigación es que, si se puede llegar a la solución en las 10 primeras iteraciones, en contraste con lo evidenciado en la revisión de literatura. La fase P* es la presión reducida que se compara con los resultados obtenidos con los de simulaciones por computadora y ecuaciones de estado reportadas en la literatura (De Miguel & Martín del Río, 2001) para dicho modelo, se puede observar que en tan solo 10 iteraciones que las dos últimas columnas presentan una variación mínima y están dentro de un rango aceptable.

Referencias bibliográficas

- Antequera, L. A. (2020). Incorporación de un Algoritmo Genético en la Selección de Personal Docente en la carrera de Ingeniería Financiera de la Universidad Central (UNICEN). *Tesis de maestría Universidad Mayor de San Andrés*. Ciudad de La Paz - Estado Plurinacional de Bolivia. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/24702>
- Berres, S., Coronel, A. y Lagos, R. (2018). Solución numérica de un problema inverso aplicando un algoritmo genético continuo. *Revista integración*, 36 (2), 1-15. <https://dx.doi.org/10.18273/revint.v36n2-2018001>
- Berzal, F. (2022). Algoritmos Genéticos. *Departamento de Ciencias de la Computación e IA*. <https://elvex.ugr.es/decsai/computational-intelligence/slides/G2%20Genetic%20Algorithms.pdf>
- Borges, D., Puch, P. y Frías G. (2017). Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos. Inegiare. *Revista Chilena de Ingeniería*. 25 (3), 389-398. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000300389>
- Benhamou, S. (2022). *La transformación del trabajo y el empleo en la era de la inteligencia artificial*. CEPAL. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47985-la-transformacion-trabajo-empleo-la-era-la-inteligencia-artificial-analisis>
- Castrillón, O. (2015). Ritmos cognitivos y algoritmos evolutivos en la programación de horarios universitarios. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 22(1), 135-152. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rmta/v22n1/a08v22n1.pdf>
- Castro García, Y., Cabanillas López, R. E. y García Sánchez, J. (2017). Algoritmos Genéticos en el estudio de Líquidos Iónicos para enfriamiento. Solar. *Biotechnia*, 19, 38-41. <https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971095005.pdf>
- Chavaje-Ávila, L., Ortiz-Tena F. y Pérez-Rodríguez, R. (2021). Optimización de corte de rollos mediante un algoritmo genético. *Conciencia Tecnológica*, (62), 1-16. <https://www.redalyc.org/journal/944/94469878002/html/>
- Chung, H. y Shin, K. (2018). Genetic Algorithm-Optimized Long Short-Term Memory Network for Stock. Market Prediction. *Sustainability*, 10 (10), 3765. <https://doi.org/10.3390/su10103765>
- Chávez Gutiérrez, Y. T. y Franco Ortiz, M. (2021). Inversión de la banda de reflexión de cristales líquidos colestéricos en presencia de campos eléctricos y colorantes láseres añadidos. *Tesis de Licenciatura de la Universidad de Sonora*. División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Física. <https://hdl.handle.net/20.500.12984/6999>
- Correa García, L.A. y González Acolt, R. (2027). Efecto de los factores de innovación en el desempeño económico de los talleres artesanales de la zona metropolitana de Zacatecas. *Investigación y Ciencia*, (70), 63-68. <https://doi.org/10.33064/iycuaa201701829>
- Correa García L. A. (2020). Relación entre la tecnología y la comercialización en la PyME ubicada en Zacatecas. *Mercados y negocios*, (41), 107-124. <https://doi.org/10.32870/myn.v0i41.7408>
- De la Cruz-Figueroa L. F., Fernández-Rodríguez, R. y González-Rangel M. A. (2018). Hacia herramientas de inteligencia artificial en la enseñanza médica. Enfoque preliminar. *Revista Cubana de Informática Médica*, 10 (1), 1-13. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcim/v10n1/rcim08118.pdf>
- De Miguel, E. y Martín del Río, E. (2001). The isotropic-nematic transition in hard Gaussian overlap fluids. *Journal of Chemical Physics*, 115 (19) 9072–9083. <https://doi.org/10.1063/1.1412604>
- Demera, A., Sánchez, A., Franco, M., Espinoza, M., y Santana, A.. (2023). Fundamentación teórica de la inteligencia artificial en el desarrollo de aplicaciones móviles en el Instituto de Admisión y Nivelación de la Universidad Técnica de Manabí. *Revista científica. TESLA*, 3(2), 1-11. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e223>
- Espitia-Mendez, J. A. y Mendoza-Rojas, G. L. (2021). Metodología basada en un algoritmo genético para programar la producción de una empresa del sector textil. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 24 (4), 1-16. <https://doi.org/10.14482/INDES.30.1.303.661>

- Fonseca Reyna, Y. C., Martínez Jiménez, Y., Figueredo León, Á. E., y Pernía Nieves, L. A. (2014). Influencia de los parámetros principales de un Algoritmo Genético para el Flow Shop Scheduling. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8(1), 99-111. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcci/v8n1/rcci06114.pdf>
- García Sánchez, E. (2001). Estudio teórico de diagramas de fase de modelos aplicados a Cristales Líquidos. *Tesis de maestría de la Universidad de Guanajuato: Posgrado Institucional en Química de la Universidad de Guanajuato*.
- Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing
- Gómez Vilchis, J., Hernández Álvarez, F. y Román de la Sancha, L. (2021). Autómata Evolutivo (AE) para el mercado accionario usando Martingalas y un Algoritmo Genético. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 16(4). <https://doi.org/10.21919/remef.v16i4.505>
- Guerra, A., Zaoral, K. y Rivas, J. (2014). Meta-evolución paralela para la asignación de parámetros y operadores en algoritmos evolutivos. *Télématique*, 13(1), 68-92. <https://www.redalyc.org/pdf/784/78429590005.pdf>
- Gutiérrez Gutiérrez, J. L. (2021). Algoritmo genético aplicado al recojo de residuos sólidos en el contexto de una smart city. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 15(4), 1-14. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcci/v15n4/2227-1899-rcci-15-03-1.pdf>
- Iglesias-Solano, A. M. e Iglesias-Carbonell A. B. (2011). La Computación Evolutiva y sus Paradigmas. *Investigación y Desarrollo en TIC*, 2 (1), 29-38. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/issue/view/171>
- Jiménez, J. A., Arango, R. E. y Jiménez, L. D. (2016). Métodos de búsqueda usando los algoritmos de enjambre y genético. *Lámpsakos*, (16), 52-60. <https://doi.org/10.21501/21454086.1901>
- Jiménez, C. M. (2018). Algoritmo Genético Simple para Resolver el Problema de Programación de la Tienda de Trabajo (Job Shop Scheduling). *Información Tecnológica*. 29(5), 299-314. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500299>
- Kuri, M. A. (2022). Algoritmos Genéticos: Herramientas de Inteligencia Artificial con su Propia Evolución. CIC-IPN. Recuperado el 20 de diciembre de 2023. Disponible en Algoritmos Genéticos: Herramientas de Inteligencia Artificial. <http://cursos.itam.mx/akuri/PUBLICA.CNS/1999/Entrevista%20a%20Kuri.PDF>
- Lin, Y., Huang, C., y Tseng V. (2017). A novel methodology for stock investment using high utility episode mining and genetic algorithms. *Applied Soft Computing*, 59, 303-315. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017-05-032>
- National Geographic. (2023). 5 usos cotidianos de la inteligencia artificial que la gente no se da cuenta. <https://www.nationalgeographicla.com/ciencia/2023/02/5-usos-cotidianos-de-la-inteligencia-artificial-que-la-gente-no-se-da-cuenta>
- Negrin, I., A., Negrin, L. I. y Chagoyén, E. (2020). Ajuste de parámetros de algoritmos genéticos: propuesta de método. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14 (3), 59-82. <https://www.redalyc.org/journal/3783/378365834004/html/>
- Obando. E. D. (2017). Algoritmos genéticos y PSO aplicados a un problema de generación distribuida. *Scientia et technica*, 22 (1), 15-23. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84953102003.pdf>
- Ortiz, M. M (1994). Adaptación de una pantalla de cristales líquidos en un procesador óptico. *Tesis de maestría en ciencias (óptica)*. Del centro de investigación de óptica. Universidad de Guanajuato. <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/496>
- Quintana, J. (2000). La transición nemático-isotrópico bajo confinamiento. *Revista de la Sociedad Química de México*, 44(1) 82-86. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v44n1/v44n1a18.pdf>
- Ruiz, E. (2014). Optimización multi-objeto al problema de distribución de planta usando algoritmos genéticos: cuestiones previas para una propuesta de solución. *Revista Industrial Data*, 17(2). 120-137. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640856015.pdf>
- Sancho, F. C. (2019). Algoritmos Genéticos. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=65>
- Sydney, T. B. (1950). *The Phase Rule and Phase Reaction theoretical and Practical*. London: McMillan and Co.
- Tejada, G. (2019). Controlador PID con algoritmos genéticos de números reales. *Industrial Data*, 22(2), 213-223. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i2.16489>
- Tovar, J. J., Almanza, O. y Montes-Vidales, L. (2016). Inversión Sísmica por Algoritmos Genéticos con migración de Poblaciones para estimar Anisotropía HTI. *Boletín de Geología*, 38(4), 107-117. <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349647947006.pdf>
- Verdecia-Somoano, J. C. y García-Miranda, J. A. (2020). Optimización estructural de una torre. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 14(2), 1-14. <https://www.redalyc.org/journal/1939/193963490003/193963490003.pdf>
- Wang, L., An H., Liu X., y Huang, X. (2016). Selecting dynamic moving average trading rules in the crude oil futures market using a genetic approach. *Applied Energy*, 162, 1608-1618. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.132>
- Yang, S. y Collings, P. J. (2020). El algoritmo genético: uso de la biología para calcular las configuraciones de los directores de cristal líquido. *Crystals*, 10 (11), 1-13. <https://10.3390/cryst10111041>

EFFECTIVIDAD DE POLÍTICAS PÚBLICAS EN MOVILIDAD URBANA NO MOTORIZADA: UN ANÁLISIS INTEGRAL

Sergio Manuel Sosa Sánchez¹, Pedro Citlac Chargoy Loustaunau²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 19/10/2023 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a6>

Resumen.- La efectividad engloba la eficiencia y la eficacia, es aquella donde una política pública efectiva es eficaz y eficiente al mismo tiempo, consiguiendo las metas establecidas para el bienestar público y optimizando los recursos al maximizar los beneficios sociales respecto de los costos sociales. En este sentido, el presente estudio abordó el conocer las políticas a efecto de que la población adopte las medidas de movilidad que ayuden a reducir los tiempos y costos de traslado, la huella de carbono, y brindar elementos que permitan el óptimo desempeño y confort de la movilidad urbana como parte de la política pública responsabilidad del Estado. La evaluación de la eficiencia y la eficacia de las redes de movilidad urbana no motorizada es analizada por metodologías mixtas. Durante el desarrollo de la investigación se conoció la problemática actual que impera, así como sus antecedentes. El análisis del desarrollo de la Movilidad Urbana y la Movilidad Urbana No Motorizada reveló que las alternativas de movilidad urbana no motorizada son socialmente más eficientes. El confort higrotérmico, cultura ciudadana y percepción de seguridad son variables indispensables para un óptimo y eficaz desarrollo de la movilidad no motorizada.

Palabras clave: efectividad, movilidad, urbanismo, eficiencia, eficacia.

EFFECTIVENESS OF PUBLIC POLICY ON NON-MOTORIZED URBAN MOBILITY

Abstract- Effectiveness encompasses efficiency and effectiveness, where an effective public policy is effective and efficient at the same time, achieving the goals established for public welfare and trying to optimize resources by maximizing social benefits with respect to social costs. In this sense, the present study addressed the knowledge of the policies for the population to adopt mobility measures that help reduce travel times and costs, the carbon footprint, and provide elements that allow optimal performance and comfort of the urban mobility as part of the public policy responsibility of the State. The evaluation of the efficiency and effectiveness of non-motorized urban mobility networks is analyzed by mixed methodologies. During the development of the investigation, the current problem that prevails was known, as well as its background. The analysis of the development of Urban Mobility and Non-Motorized Urban Mobility revealed that non-motorized urban mobility alternatives are more socially efficient. Hygrothermal comfort, civic culture and perception of security are essential variables for an optimal and efficient development of non-motorized mobility.

Keywords: effectiveness, mobility, urban planning, efficiency, effectiveness.

Introducción

Constitucionalmente, el diseño y el buen funcionamiento de las ciudades debe obedecer al bienestar y a la dignidad de los seres humanos que las habitan (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM], 2021). Dentro de ellas, los desplazamientos de los habitantes y la selección óptima de un medio de movilidad eficiente suponen una buena gestión de la movilidad urbana (Díaz y Marroquín, 2016). Para que esto ocurra se debe considerar, que los traslados en la ciudad no se reducen a un par de medios de transporte, es necesario considerar todos los modos desde los desplazamientos a pie, los modos individuales de desplazamiento y los modos colectivos (Herce, 2009).

En la revisión de la literatura ha identificado que la priorización de la movilidad motorizada puede generar problemas como congestión vial, contaminación y deterioro del espacio público. En primer lugar, se observa un incremento en los gastos de movilidad de los habitantes debido al uso generalizado de vehículos (Obregón y Betanzo, 2015). Además, esta tendencia conlleva un aumento en el consumo de combustibles fósiles, lo que tiene implicaciones negativas para

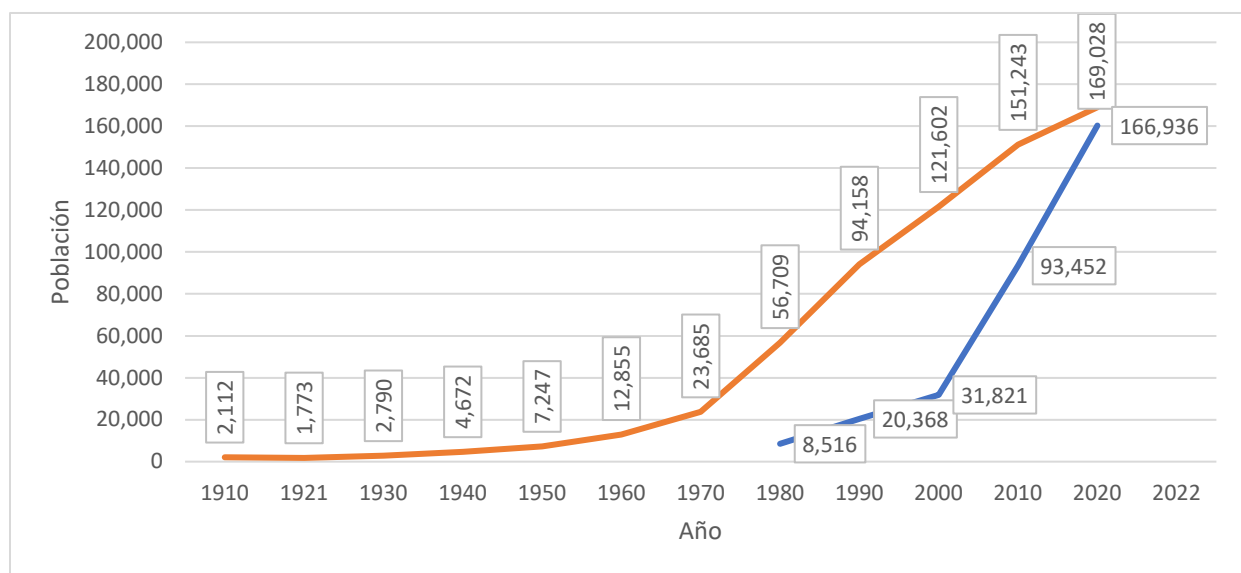
¹ Maestrante en Urbanismo. Tecnológico Nacional de México, Campus Chetumal. <https://orcid.org/0009-0009-0537-9412> M21390029@chetumal.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

² Profesor. Tecnológico Nacional de México, Campus Chetumal. <https://orcid.org/0000-0002-2081-4365> pedro.cl@chetumal.tecnm.mx

la sostenibilidad y el medio ambiente urbano (Andrade, Arteaga y Segura, 2017). La consecuencia de esta priorización también se refleja en la disminución de la calidad del espacio público y de la red de movilidad no motorizada, como andadores peatonales o ciclovías, lo que impacta la accesibilidad y la comodidad de los ciudadanos (Gehl, 2018). Por otro lado, el espacio destinado a las redes de movilidad motorizada es de aproximadamente el 40 por ciento de la superficie urbanizada del País, siendo esta infraestructura a la que se le destina la mayor parte del presupuesto público, teniendo como prioridad el aumento de la capacidad vial, lo que a su vez conlleva a generar grandes impactos en la salud humana y urbana (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano [SEDATU], 2018). Para el año 2013, el 46 por ciento de los traslados se concentraron en grandes ciudades del país como Monterrey, Guadalajara y zonas metropolitanas del Valle de México, el 23 por ciento en el centro, el 9 por ciento en el norte, 8 por ciento en el sureste y 4.5 por ciento en ciudades turísticas; destacando que las preferencias de movilidad no son homogéneas dentro del país y que es incomparable la calidad del servicio público, dado que cada región cuenta con servicios distintos (Banco Mundial, 2013). La congestión vial, provocada por la proliferación de vehículos motorizados, es un fenómeno que afecta la movilidad en diversas áreas urbanas, como lo evidencia el Plan de Desarrollo Urbano de Chetumal, Calderitas, Sub. López, Huay-Pix y Xul-Ha en 2021. Por último, es importante destacar que, en muchos casos, las obras públicas destinadas a la movilidad tienden a privilegiar a sectores sociales no vulnerables, lo que perpetúa las desigualdades en el acceso a los sistemas de transporte (PDU Chetumal, Calderitas, Sub. López, Huay-Pix, Xul-Ha, 2021). En conjunto, estos problemas generan una contaminación del aire y del suelo, contribuyendo al deterioro del entorno urbano y sus efectos perjudiciales para la calidad de vida de los habitantes (Obregón y Betanzo, 2015).

La Figura 1 ilustra la dinámica de crecimiento tanto poblacional, representado en naranja, como vehicular, mostrado en azul, en Chetumal. Entre 1910 y 1970, se aprecia un crecimiento poblacional estable. Sin embargo, entre 1970 y 2000, la población experimentó una notable alza, evidenciando la primera explosión demográfica con un incremento cercano al 600%. Posteriormente, entre 2000 y 2020, se registró una segunda explosión demográfica con un aumento del 75% en la población. Por su parte, el crecimiento del parque vehicular evidenció un patrón similar al poblacional. En el periodo de 1970 a 2000, la cantidad de vehículos en circulación creció en un 260%, mientras que entre 2000 y 2020, este número se elevó de manera exponencial, con un impresionante incremento del 500%. Es importante señalar que los datos utilizados para esta representación gráfica provienen del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], específicamente de los Censos de Población 2020.

Figura 1. Dinámica poblacional y vehicular de Chetumal.



Nota. Elaboración Propia con datos INEGI. Censos de población 2020.

Desde una perspectiva de movilidad urbana sustentable, el transporte a través de medios no motorizados emerge como una solución ecológica. La implementación de una red de interconexión urbana eficiente no sólo facilitaría el tránsito, sino que también abordaría la problemática de la interconexión entre zonas segregadas (Mataix, 2010). Es imperativo, por lo tanto, garantizar el acceso a áreas urbanas, priorizando el desarrollo de más redes de movilidad no motorizada

para mejorar la conectividad (Ciesla, Sobota y Jacyna, 2020). Esta estrategia, además, tiene el potencial de mitigar los problemas de congestión vial, conduciendo a una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

La eficacia de las políticas públicas centradas en la movilidad urbana no motorizada es un eje fundamental al considerar soluciones sostenibles para las metrópolis contemporáneas. En este marco, la "efectividad" engloba tanto la eficacia, definida como la habilidad para cumplir con los objetivos previstos en pro de una movilidad urbana óptima, como la eficiencia, entendida como la capacidad de lograr dichos objetivos con una asignación mínima de recursos. El presente estudio tiene como objetivo principal analizar la forma en que las políticas públicas pueden fomentar la adopción de prácticas de movilidad que minimicen tiempos, costos de traslado, la huella de carbono y potencien el confort en el ámbito de la movilidad no motorizada. A través de un enfoque evaluativo que integra técnicas cuantitativas y cualitativas, se exploran las fortalezas y áreas de oportunidad de las redes de movilidad actuales. Se pone de manifiesto la relevancia de factores como el confort higrotérmico, la cultura ciudadana y la percepción de seguridad en la eficacia de dichas políticas. Los resultados obtenidos en esta investigación ofrecen recomendaciones y estrategias encaminadas a fortalecer políticas públicas que respalden una movilidad no motorizada eficiente y eficaz.

Marco teórico

El actual panorama urbano se caracteriza por una complejidad sin precedentes que exige abordajes interdisciplinarios para comprender y gestionar los fenómenos asociados. Este estudio se fundamenta en una aproximación teórica que combina perspectivas urbanísticas, jurídicas y sociológicas para analizar la dinámica entre sistemas de transporte urbanos y su utilización por parte de la ciudadanía. Central para nuestro enfoque es la noción de eficacia, entendida como una manifestación palpable de cambio social hacia comportamientos deseados en el ámbito de la movilidad urbana. A lo largo de la historia, las sociedades han ideado sistemas organizativos, incluyendo medios de transporte, que se articulan con marcos jurídicos que regulan la conducta colectiva (Dacal Alonso, 2016). Esta evolución pone de manifiesto la imperativa necesidad de educar y guiar al individuo en un contexto social, observando y analizando su comportamiento para generar regulaciones que propendan a una convivencia armónica (Reyes Mendoza, 2012). La sociología jurídica se enfoca en el estudio del proceso de gestación del derecho y su entrelazamiento con la sociedad y quienes lo aplican (Suárez, 2020), aunque no siempre se logran los resultados esperados (Dacal Alonso, 2016).

El "Derecho Eficaz" alude a un marco jurídico cuyas directrices son ampliamente acatadas y ejecutadas (Kelsen, 1981). Esta eficacia está intrínsecamente ligada a la aceptación y cumplimiento por parte de los destinatarios de dichas normas. El término "eficacia", según la RAE, implica la capacidad de lograr un resultado previsto. Para conseguir objetivos sociales trascendentales, es esencial estructurar el derecho adjetivo en sinergia con organismos judiciales y administrativos (Dacal Alonso, 2016). La eficacia jurídica puede ser constitutiva, modificativa o resolutoria, afectando deberes y derechos de diversas formas (García Máyne, 2008). En cuanto a su temporalidad, puede manifestarse de manera inmediata o aplazada, en función de sucesos venideros (Álvarez Ledesma, 2010). La eficacia de una disposición administrativa se consolida cuando entra en vigor, determinando su contenido como mandato (Roldán Xopa, 2019).

El concepto de eficiencia posee múltiples facetas interpretativas en función de la disciplina académica que lo aborde. En el contexto de la calidad organizativa, alude a la realización adecuada de actividades considerando las restricciones de recursos, procurando optimizar procesos (Sundqvist, Backlund y Chronéer, 2014). La eficiencia, desde un enfoque de gestión, se asocia con alcanzar objetivos con mínimo costo y esfuerzo, maximizando el rendimiento (Ramírez, 1987). En una dimensión económica, se relaciona con la optimización de recursos para lograr metas específicas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2012). La movilidad urbana demanda sistemas de transporte eficientes, junto con estrategias energéticas sostenibles, con miras a un uso óptimo de infraestructuras y espacios urbanos. Priorizar la movilidad no motorizada, como caminar o usar bicicleta, resulta esencial para maximizar beneficios sociales y minimizar impactos negativos (Archondo et al., 2018; Recasens-Alsina, 2020; Tapia Gómez, 2018). Las propuestas de movilidad urbana deben procurar calidad de vida, sostenibilidad y desarrollo económico.

Sin embargo, no todos los esfuerzos de planificación urbanística reflejan eficientemente las necesidades y preferencias de la sociedad. La eficiencia en la producción de movilidad no motorizada, por ejemplo, suele verse limitada por insuficientes inversiones en infraestructura para peatones y ciclistas. Además, la relación entre la oferta y demanda de rutas no siempre es equilibrada, resultando en desafíos de eficiencia y equidad (Stiglitz, 2000). Las decisiones en la planificación urbana deben tener en cuenta el bienestar social y los impactos de la movilidad no motorizada, no sólo desde una perspectiva económica, sino también equitativa. Establecer un equilibrio entre eficiencia y equidad es esencial para garantizar un acceso justo a las opciones de movilidad y promover un desarrollo urbano sostenible.

Desde la óptica económica, la eficiencia puede definirse como la "medición de la habilidad de un sistema o agente económico para alcanzar un objetivo específico, minimizando el uso de recursos" (Banco Interamericano de Desarrollo, 2012). En el ámbito de la movilidad urbana, esta se vincula estrechamente con la adopción de sistemas de transporte público eficaces y la instauración de tácticas de eficiencia energética, lo cual conduce a una optimización del uso de la infraestructura y el entorno urbano. La promoción de la movilidad no motorizada, como caminar y el uso de bicicletas, reporta elevados beneficios sociales, que comprenden una mejor calidad del aire, reducción de congestiones vehiculares, incremento de la actividad física, y la creación de un entorno urbano amable y sostenible. Estas ventajas subrayan la necesidad de diseñar planes de movilidad que aseguren un alto nivel de vida para los ciudadanos y, paralelamente, impulsen el crecimiento económico de las ciudades (Recasens-Alsina, 2020). Un modelo de desarrollo urbano centrado en la movilidad motorizada genera impactos sociales y medioambientales significativos (Tapia Gómez, 2018). La finalidad de la eficiencia es potenciar estos beneficios para la sociedad en su conjunto.

Un desafío en la movilidad no motorizada es la ineficiencia en la distribución, lo que se traduce en que las infraestructuras y rutas destinadas para peatones y ciclistas no siempre son accesibles para quienes más las valoran (Stiglitz, 2000). En ocasiones, la planificación urbana omite las demandas de estos medios de transporte, resultando en rutas precarias o insuficientes. La eficiencia productiva se relaciona con la capacidad de generar más de un bien sin comprometer la producción de otros. Sin embargo, en el contexto de la movilidad no motorizada, existe una notoria carencia en inversiones apropiadas para infraestructura peatonal y ciclista. Esta insuficiencia puede traducirse en ineficiencias en la combinación de medios para alcanzar dicha movilidad, posiblemente desalineadas con las preferencias ciudadanas debido a deficiencias en la planificación.

La planificación urbana debe contemplar no sólo las implicaciones económicas de la movilidad no motorizada, sino también sus consecuencias sociales. Aunque es esencial la eficiencia, también lo es la equidad. Las decisiones en infraestructura de transporte no motorizado deben ser justas y equitativas, garantizando acceso a todas las poblaciones. Sin embargo, a veces puede haber tensiones entre la eficiencia y la equidad.

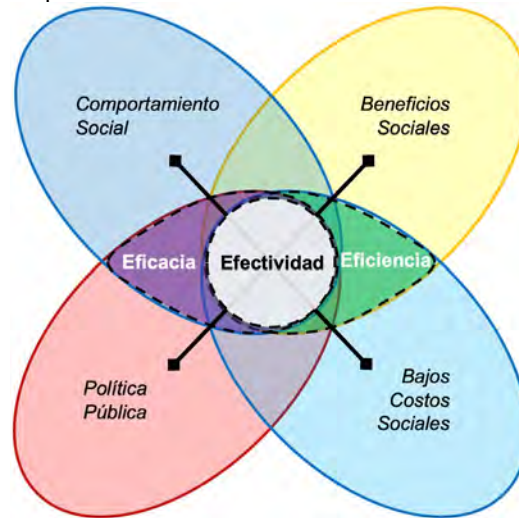
En esencia, la eficiencia en el contexto de la movilidad urbana no motorizada se traduce en maximizar el beneficio social con el menor costo posible. Implica otorgar un alto valor a la movilidad peatonal y ciclista, minimizando simultáneamente los recursos utilizados en infraestructura. En conclusión, la eficiencia es una piedra angular en campos variados, desde la economía hasta la administración de proyectos y la movilidad urbana, y su correcta implementación puede repercutir positivamente en la calidad de vida y sostenibilidad de las urbes.

La Figura 2 propone un enfoque bidimensional para ilustrar la interacción y relación entre la eficiencia, eficacia y efectividad en el ámbito de las políticas públicas enfocadas en la movilidad urbana no motorizada. El plano se caracteriza por dos elipses predominantes: una amarilla, simbolizando los "Beneficios Sociales", y otra verde, aludiendo a los "Bajos Costos Sociales".

La intersección de estas elipses da lugar a dos zonas distintas: una que destaca la eficiencia, representada en verde, denotando el punto óptimo en el que se alcanzan los beneficios sociales máximos reduciendo al mismo tiempo los costos. Por otro lado, la superposición adicional de estas elipses, que vincula las "Políticas Públicas" con el "Comportamiento Social", describe el área de la eficacia. Esta zona señala donde las políticas públicas logran una intervención significativa en el comportamiento social para alcanzar metas en movilidad no motorizada. En el núcleo de este diagrama, la interacción entre eficiencia y eficacia se visualiza mediante una región circular, denotando la efectividad en la implementación de políticas públicas.

El modelo se enriquece con la representación de fuerzas centrípetas, manifestando dos influencias convergentes en el contexto de movilidad urbana no motorizada. Estas fuerzas emergen tanto de las políticas públicas, con su aspiración intrínseca de enaltecer la calidad de vida y respaldar un transporte ecoamigable, como del comportamiento colectivo, que busca minimizar los costos sociales, evitando inconvenientes como la congestión vehicular y contaminación atmosférica. La síntesis de estas fuerzas centrípetas en el centro del gráfico simboliza el punto de efectividad óptima de las políticas públicas. Es el escenario ideal donde se consigue un balance entre maximizar beneficios y minimizar costos, evidenciando que las intervenciones estatales están logrando sus propósitos de forma tanto eficiente como eficaz. En resumen, para que las políticas públicas en movilidad no motorizada sean verdaderamente efectivas, deben equilibrar de manera óptima beneficios y costos, al tiempo que influyen significativamente en el comportamiento ciudadano.

Figura 2. Modelo Conceptual de Fuerzas en Políticas de Movilidad Urbana No Motorizada.



Nota. Elaboración Propia.

Materiales y métodos

El diseño metodológico implementado en la presente investigación, asegurando una estructura coherente y sistemática para alcanzar los objetivos propuestos. El proceso inicia con la "Selección de Muestra", un paso crucial que utiliza criterios estadísticos rigurosos para garantizar que los datos recolectados reflejen adecuadamente el universo de estudio. Esta selección tuvo como base el censo de población y vivienda de 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en el cual se estableció que la ciudad de Chetumal cuenta con 169,028 habitantes.

A partir de esta cifra, se determinó un subconjunto de 139,164 individuos mayores de 12 años como el universo objetivo. Con base en la referencia de Hernández (2014), la muestra fue seleccionada mediante un criterio estadístico riguroso para garantizar una representatividad adecuada. Se empleó un muestreo no probabilístico deliberado, centrando la atención en individuos que tuvieran conciencia y utilizaran algún medio de transporte. Siguiendo las recomendaciones de Sampieri, y considerando un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%, se determinó que el tamaño óptimo de la muestra sería de 384 individuos.

Paralelamente, la "Evaluación de la Eficiencia" se centra en analizar y comparar la circulación con diferentes medios de transporte sobre la misma sección vial. A través de este análisis, se busca determinar qué alternativas de movilidad, ya sean motorizadas o no, ofrecen la mayor eficiencia. Esta evaluación buscó determinar la efectividad de diferentes medios de transporte según las preferencias y necesidades de los usuarios. Enfocándose en variables como las vialidades principales, preferencias de transporte, y demanda de medios de movilidad. Tras recopilar la información, los datos se sometieron a un proceso de análisis y depuración para garantizar su calidad y relevancia para el estudio.

Se seleccionaron las vialidades denominadas Av. Insurgentes, Av. Erick Paolo, Av. Juárez - Av. Constituyentes, Av. Centenario y Boulevard Bahía por ser ejes viales principales de la ciudad y poseer características heterogéneas en términos de infraestructura vial, volumen de tráfico y modalidades de transporte. Utilizando la aplicación Streetmix, se diseñaron diferentes escenarios para cada avenida seleccionada, teniendo en cuenta la incorporación de diferentes tipologías de transporte, como carriles para bicicletas, carriles exclusivos para transporte público y ampliación de banquetas.

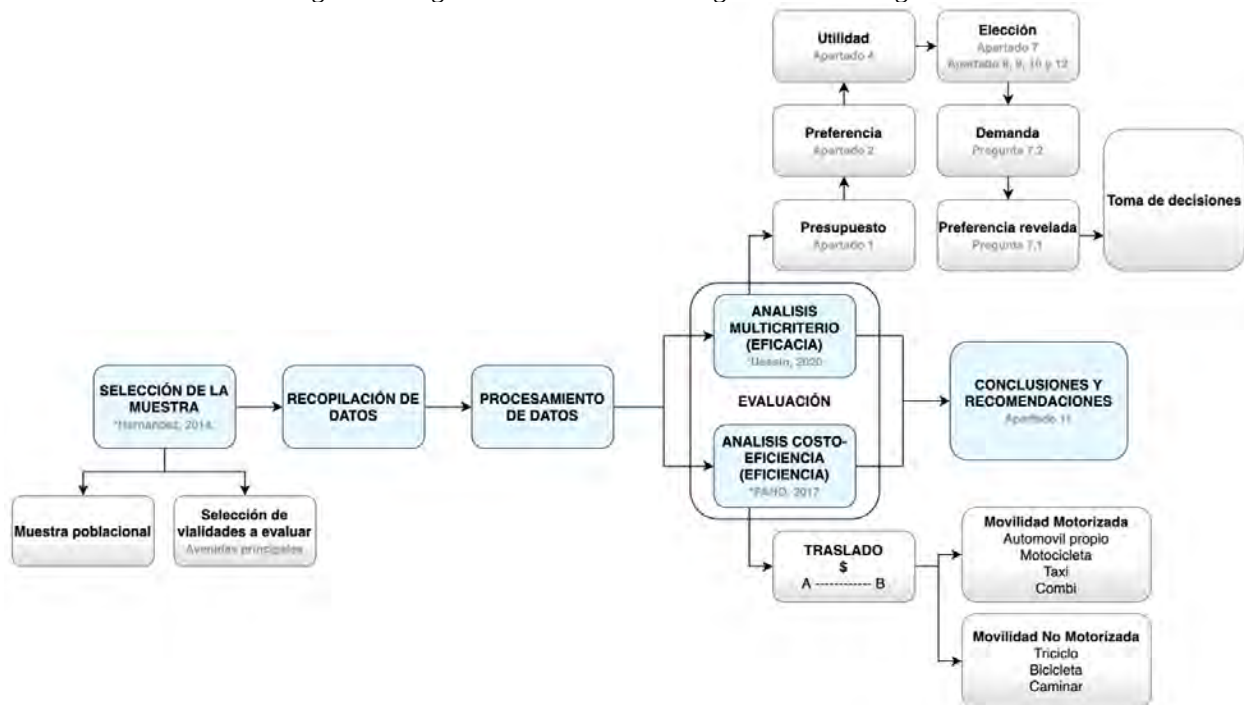
Para cada escenario modelado se calculó la capacidad potencial de circulación, la circulación máxima y el índice de incremento de eficiencia. Estos cálculos proporcionaron una estimación cuantitativa del potencial de mejora en la eficiencia de la movilidad de cada diseño propuesto. Los escenarios propuestos se compararon con la situación actual para determinar cuál de ellos ofrecía la solución de movilidad más eficiente.

Con la muestra definida, el diseño metodológico se bifurca en dos evaluaciones esenciales: "Evaluación de la Eficacia" y "Evaluación de la Eficiencia". La "Evaluación de la Eficacia" emplea un enfoque multicriterio centrado en las preferencias de movilidad de los individuos. En este análisis, se consideran aspectos clave como la utilidad, elección

y demanda, facilitando así la identificación de patrones en las decisiones de movilidad y proporcionando perspectivas sobre la efectividad de las políticas públicas orientadas hacia la movilidad no motorizada.

Finalmente, basándose en los resultados obtenidos de las evaluaciones de eficacia y eficiencia, se extrajeron Conclusiones y Recomendaciones, que sirvieron como base para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas orientadas a mejorar la movilidad urbana. La Figura 3 ilustra una metodología rigurosa y holística que busca evaluar de manera integral tanto la efectividad como la eficiencia de las políticas de movilidad urbana no motorizada en Chetumal. La combinación de una muestra adecuadamente seleccionada y evaluaciones metodológicas precisas asegura hallazgos robustos y relevantes en el ámbito de la investigación.

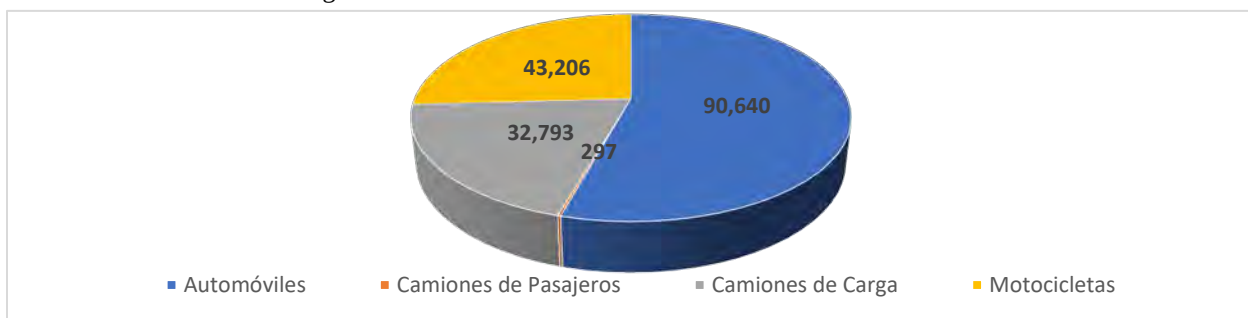
Figura 3. Diagrama de diseño metodológico de la investigación.



Nota. Elaboración Propia.

Según el censo de población de 2020 del INEGI, se constata que actualmente hay aproximadamente un vehículo por habitante en la ciudad. Además, se destaca que las motocicletas representan casi el 50% del total de vehículos particulares en circulación, lo que indica una alta prevalencia de este medio de transporte. En términos generales, los automóviles particulares constituyen el 54% de los vehículos en circulación, seguidos por las motocicletas con el 26%, los camiones de carga con el 20%, y el transporte urbano prácticamente no tiene presencia como se puede observar en la Figura 4.

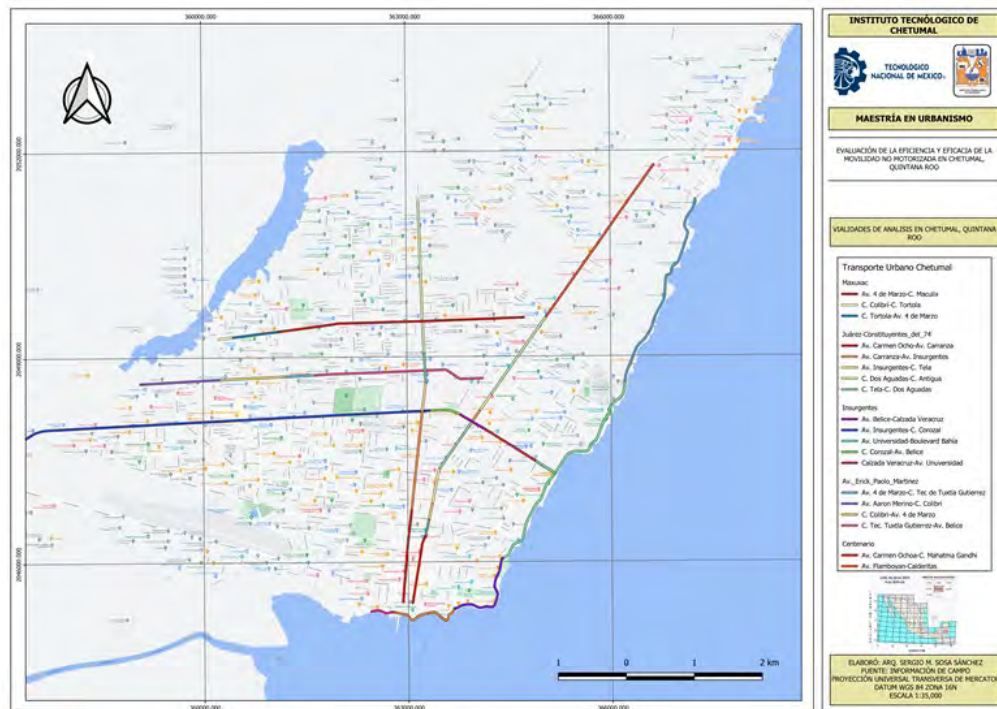
Figura 4. Vehículos motorizados en Circulación en Chetumal.



Nota. Elaboración propia con datos de INEGI (2020). Vehículos de motor registrados en circulación. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp>.

La Figura 5 muestra un detallado mapa de Chetumal, Quintana Roo, en el cual se destacan las principales avenidas de la ciudad analizadas en la investigación. Este análisis tuvo como propósito evaluar la capacidad de circulación actual de estas vialidades y proponer posibles mejoras. Las avenidas evaluadas incluyen Insurgentes, Eric Paolo Martínez, Maxuxac, Juárez, Centenario y Boulevard Bahía. Además de las denominaciones de las avenidas, el mapa incorpora una serie de líneas de colores que parecen representar diferentes rutas o trayectorias de transporte urbano. Cabe mencionar que, según los hallazgos de la investigación, las capacidades de circulación varían notablemente; por ejemplo, la Avenida Juárez tiene una capacidad de 6,000 personas por hora, mientras que la Avenida Insurgentes puede albergar hasta 39,000 personas por hora.

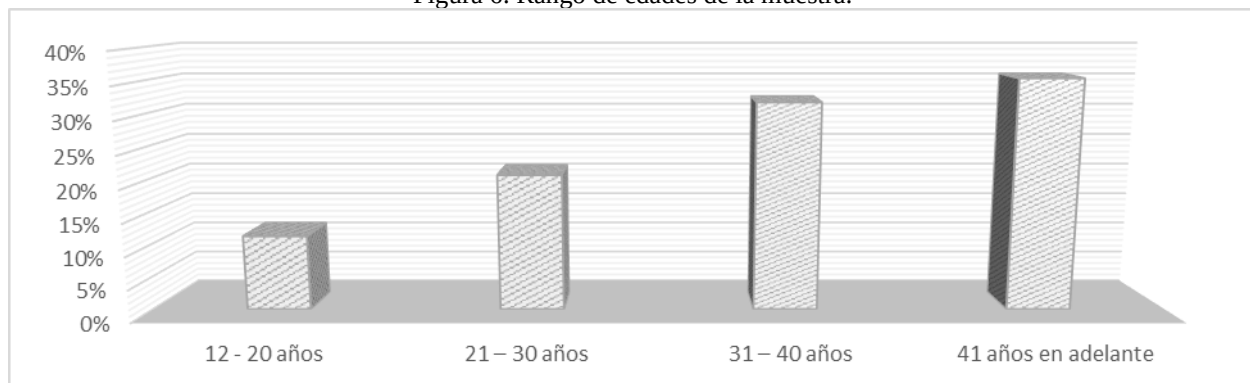
Figura 5. Selección de la muestra de vialidades.



Nota. Elaboración Propia.

La Figura 6 presenta la distribución por rango de edades de la población encuestada. Es evidente que el grupo más numeroso corresponde a personas mayores de 41 años, seguido por el rango de 31 a 40 años. Por otro lado, el grupo de 21 a 30 años tiene una representación ligeramente inferior, mientras que el rango de 12 a 20 años representa la menor proporción. Cabe mencionar que la mayoría de estos encuestados son profesionales empleados que realizan al menos dos viajes diarios, en su mayoría con destinos hacia lugares de trabajo o instituciones educativas.

Figura 6. Rango de edades de la muestra.

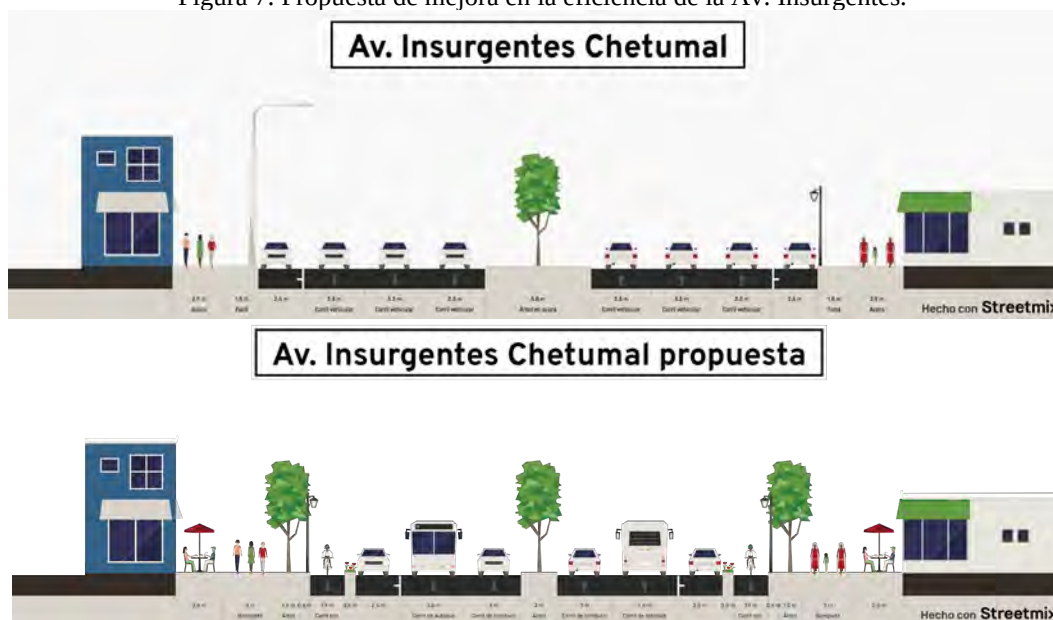


Nota. Elaboración Propia.

Resultados

En la Figura 7 se representa una propuesta para mejorar la eficiencia de la Av. Insurgentes, una arteria principal de la ciudad. Comparando el estado actual con la propuesta, se evidencia un incremento en la capacidad de circulación de 39,000 a 67,000 personas por hora y en la circulación máxima de 42,000 a 74,000 personas por hora. Se analizaron, además, los tiempos de traslado para recorridos específicos en bicicleta y en automóvil, concluyendo que en determinadas circunstancias, los tiempos son comparables, pero con un coste menor para el desplazamiento en bicicleta. Estos hallazgos respaldan la promoción de la movilidad no motorizada como una alternativa eficiente tanto en términos de tiempo como de costos para ciertos trayectos urbanos.

Figura 7. Propuesta de mejora en la eficiencia de la Av. Insurgentes.



El cálculo del "Índice de Incremento" en las vialidades identificadas como Av. Insurgentes, Av. Erick Paolo, Av. Juárez - Av. Constituyentes, Av. Centenario y Boulevard Bahía se basa en la comparación entre la situación actual de movilidad y una situación potencial más eficiente, sin aumentar la sección de la calle. Este índice refleja cuánto se puede mejorar la eficiencia en cada una de estas avenidas al incorporar diversas tipologías de transporte, como el transporte masivo y no motorizado. Los índices de incremento proporcionan una perspectiva valiosa sobre las oportunidades de mejora en la eficiencia de la movilidad urbana en estas avenidas, lo que podría tener un impacto significativo en la calidad de vida de los habitantes y en la sostenibilidad ambiental de la ciudad.

En el caso de Av. Insurgentes, se obtiene un índice de incremento de 1.76. Esto significa que, al implementar un diseño más eficiente que incluye diferentes opciones de transporte sin necesidad de aumentar el tamaño de la calle, la movilidad puede mejorar significativamente. En la Av. Erick Paolo, el índice de incremento es aún mayor, alcanzando 1.95. Esto indica que existen oportunidades considerables para mejorar la eficiencia de la movilidad en esta avenida mediante un diseño más eficiente y la incorporación de diversas tipologías de transporte. En la Av. Juárez - Av. Constituyentes presenta un índice de incremento sorprendentemente alto de 7.25, lo que sugiere un gran potencial de mejora en la eficiencia de la movilidad al adoptar un diseño más eficiente sin aumentar la sección de la calle. La Av. Centenario tiene un índice de incremento de 3.22, lo que señala que la implementación de un diseño más eficiente podría llevar a mejoras significativas en la eficiencia de la movilidad en esta avenida. Finalmente, en el Boulevard Bahía, el índice de incremento es de 1.63, lo que indica que se pueden lograr mejoras sustanciales en la eficiencia de la movilidad mediante un diseño más eficiente que incluye diferentes opciones de transporte, sin necesidad de ampliar la sección de la calle, tal como se resume en la Tabla 1.

La Tabla 1 presenta el "Índice de Incremento" para diferentes avenidas, reflejando el potencial de mejora en eficiencia al implementar variadas tipologías de transporte, sin expandir la infraestructura vial existente. La Av. Insurgentes, por ejemplo, muestra un índice de 1.76, lo que sugiere que con un diseño optimizado, es factible aumentar la eficiencia sin

ampliar la calle. En contraste, la Av. Erick Paolo tiene un índice de 1.95, la Av. Juárez - Av. Constituyentes de 7.25, la Av. Centenario de 3.22, y el Boulevard Bahía de 1.63. Estos valores evidencian el potencial de mejora en la movilidad de estas arterias mediante la implementación de diseños viales más eficientes.

Tabla 1. Tabla de Incremento de Eficiencia en Movilidad Urbana.

Sección 1	Sitio	Capacidad Media	Potencial	Circulación Total	Circulación Máxima	Índice de Incremento
Av. Insurgentes Intervenida	Carril automóvil	3000	4000	67000	74000	1.76
	Carril autobús	10000	16000			
	Carril bicicleta	24000	0			
	Banqueta	30000	0			
Av. Erick Paolo Intervenida	Carril automóvil	3000	4000	67000	74000	1.95
	Carril autobús	10000	16000			
	Carril bicicleta	24000	0			
	Banqueta	30000	0			
Av. Juárez - Av. Constituyentes Intervenida	Carril automóvil	3000	4000	57000	58000	7.25
	Carril bicicleta	24000	0			
	Banqueta	30000	0			
Av. Centenario Intervenida	Carril automóvil	3000	4000	67000	74000	3.22
	Carril autobús	10000	16000			
	Carril bicicleta	24000	0			
	Banqueta	30000	0			
Boulevard Bahía Intervenida	Carril automóvil	6000	8000	60000	62000	1.63
	Carril bicicleta	24000	0			
	Banqueta	30000	0			

Nota: Elaboración propia.

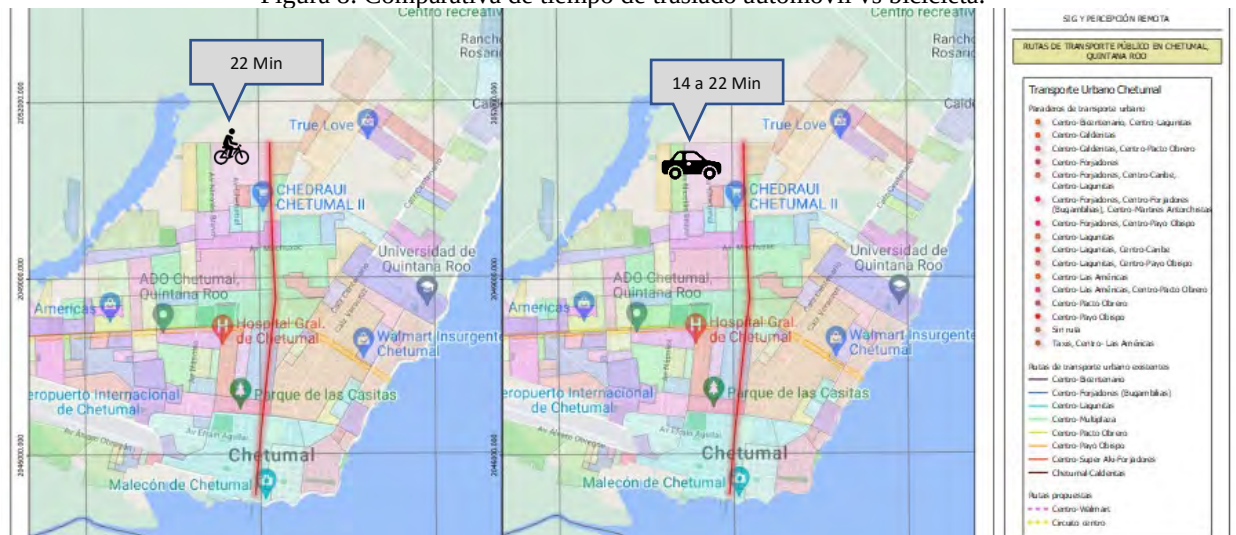
En la evaluación de la eficacia se evaluó el tentativo cambio de comportamiento respecto de las alternativas. En la Figura 8 se aprecia la comparativa de la ruta de Palacio de Gobierno a la Universidad UNINOVA, la cual abarca desde la Av. Juárez con Av. Carmen Ochoa de Merino hasta la Av. Constituyentes del 74 con C. Antigua, entre usar vehículo particular y bicicleta.

La selección subjetiva de los usuarios del transporte desempeña un papel crucial en su comportamiento y, en particular, en la elección entre una alternativa de vehículo motorizado y una no motorizada. Esta decisión se basa en factores intrínsecos, como preferencias individuales, percepciones de comodidad y seguridad, así como factores extrínsecos, como la disponibilidad de infraestructura y servicios de movilidad. Los usuarios consideran una variedad de elementos al elegir entre estas alternativas, incluyendo la percepción de costos y beneficios, el tiempo de viaje, la accesibilidad y la conveniencia. La selección subjetiva refleja no solo las preferencias individuales, sino también la influencia de factores sociales, culturales y económicos que dan forma a las percepciones y decisiones de movilidad. Comprender cómo estas elecciones se desarrollan a nivel individual y colectivo es fundamental para diseñar políticas de movilidad efectivas y promover la transición hacia opciones de transporte sostenibles entornos urbanos.

La Figura 9 ilustra la percepción de la calidad del espacio público destinado para la movilidad no motorizada en una serie de categorías. A través de una representación gráfica en forma de barras, se analizan distintos aspectos relevantes para peatones y ciclistas, tales como calidad general, seguridad, respeto hacia peatones y ciclistas, estado de las banquetas, iluminación de las banquetas, pasos peatonales, ciclovías, drenaje pluvial y presencia de sombras en las banquetas.

En la categoría de calidad general, se observa que un 41% de los encuestados percibe la calidad como regular, mientras que un 28% la considera buena y solo un 12% la califica como muy buena. De manera similar, en cuanto a la seguridad, un 43% de los participantes opina que es regular, el 38% la estima como buena y únicamente el 18% la percibe como muy buena. Estos resultados, al ser analizados en conjunto, indican una necesidad de mejora en las infraestructuras y políticas urbanas destinadas a garantizar una movilidad no motorizada eficiente y segura.

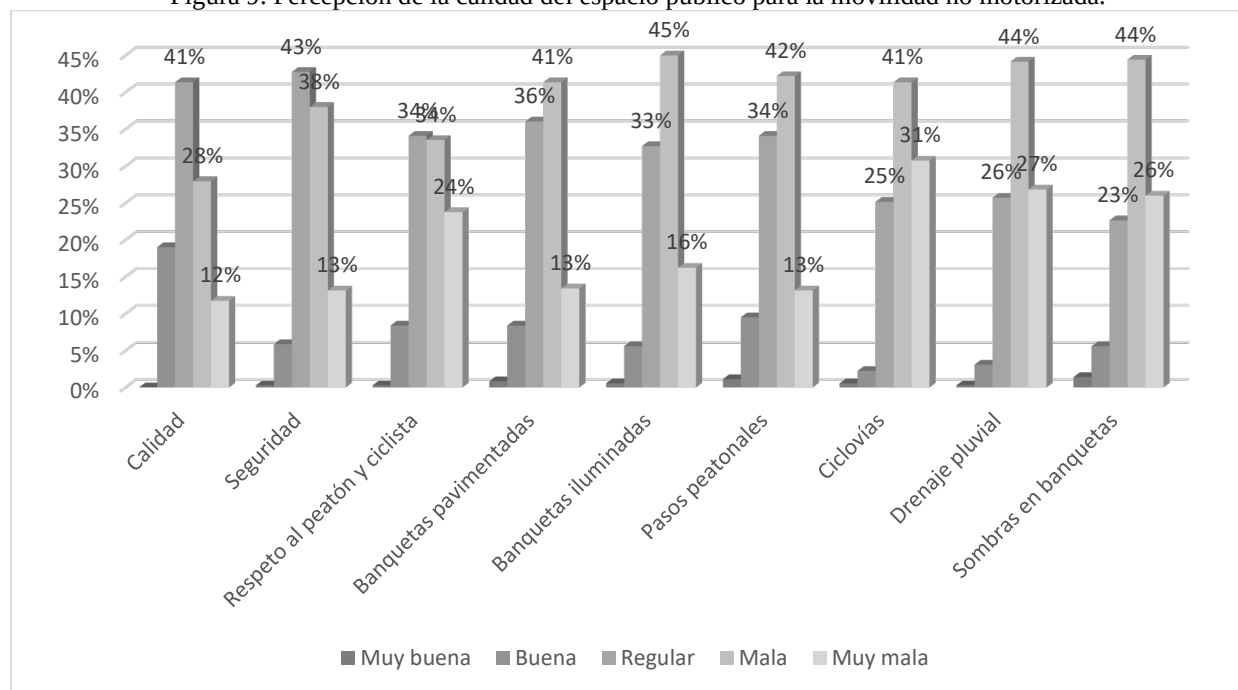
Figura 8. Comparativa de tiempo de traslado automóvil vs bicicleta.



Nota: Elaboración propia. Google maps.

En lo que concierne a la iluminación de las banquetas y los pasos peatonales, las percepciones tienden a ser ligeramente más positivas, pero aún reflejan áreas de oportunidad para mejoras sustanciales. Las ciclovías, por otro lado, muestran una percepción bastante equilibrada entre las categorías de buena y regular. Lo anterior, proporciona una visión comprensiva sobre las percepciones ciudadanas en relación con el espacio público dedicado a la movilidad no motorizada. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar intervenciones urbanas que promuevan una mejor calidad y seguridad en las zonas destinadas para peatones y ciclistas.

Figura 9. Percepción de la calidad del espacio público para la movilidad no motorizada.



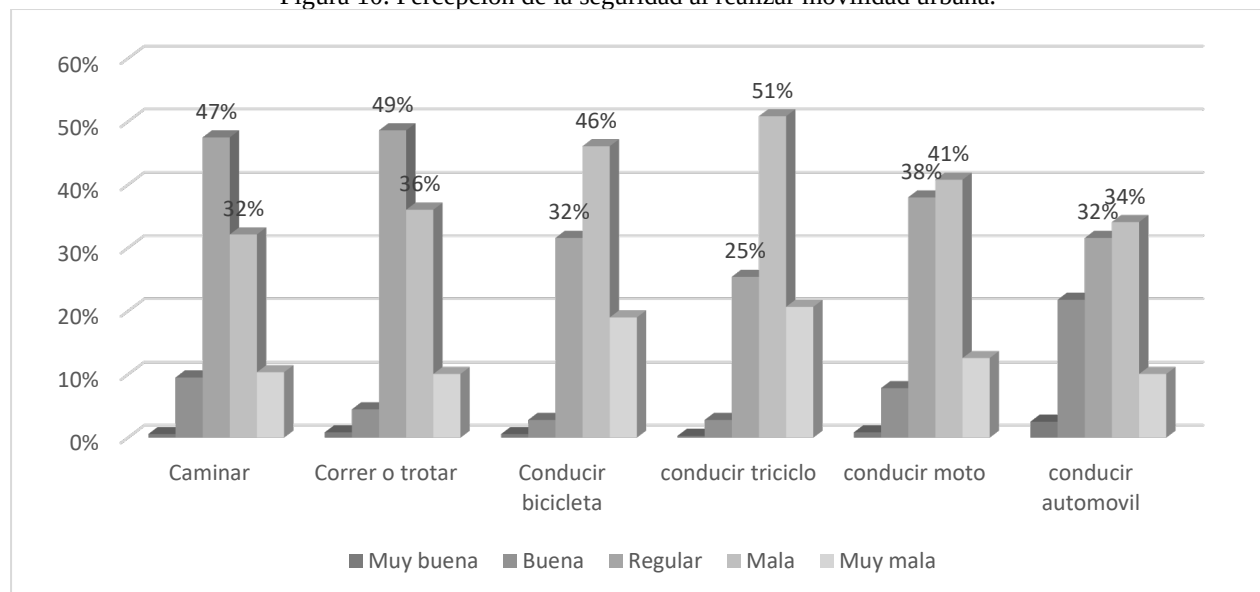
Nota: Elaboración propia.

La Figura 10 presenta un análisis de la percepción de la seguridad al realizar distintas actividades de movilidad urbana, considerando medios tanto motorizados como no motorizados. Las categorías analizadas fueron caminar, correr o trotar, conducir bicicleta, conducir triciclo, conducir moto y conducir automóvil. Se observa que la mayoría de los encuestados (47%) percibe la seguridad como regular al caminar, mientras que un 32% la considera buena. Esto sugiere

que, aunque una proporción significativa de personas se siente segura caminando, todavía hay un margen considerable para mejorar la infraestructura peatonal y las medidas de seguridad. Similar al caminar, el 49% percibe la seguridad como regular y el 35% la considera buena. Esto refleja preocupaciones similares relacionadas con la infraestructura y condiciones para aquellos que practican actividades físicas en espacios urbanos.

La seguridad percibida al conducir bicicleta muestra que un 46% la considera regular y un 32% buena. Dada la creciente promoción del uso de la bicicleta como medio de transporte sostenible, estos resultados enfatizan la necesidad de mejorar las ciclovías y otras infraestructuras relacionadas. En esta categoría, un 51% percibe la seguridad como regular. Aunque no es una forma de movilidad tan común, es relevante considerar la seguridad de estos vehículos en la planificación urbana. Con un 41% percibiendo la seguridad como regular y un 38% como buena, se destaca la importancia de garantizar condiciones seguras para los motociclistas, quienes a menudo enfrentan mayores riesgos en el tráfico. La percepción es ligeramente más positiva en esta categoría, con un 34% considerando la seguridad como regular y un 32% como buena. Sin embargo, aún hay espacio para mejorar en términos de infraestructura vial y medidas de seguridad. En definitiva, independientemente del medio de transporte o actividad, una proporción significativa de los encuestados percibe la seguridad como "regular". Esto subraya la necesidad de abordar las preocupaciones de seguridad en la planificación y gestión urbana para promover una movilidad más segura y eficiente en la ciudad.

Figura 10. Percepción de la seguridad al realizar movilidad urbana.



Nota: Elaboración propia.

Discusión

El análisis detallado presentado en este artículo revela una discrepancia crítica entre las políticas de movilidad urbana vigentes y la realidad de la movilidad en Chetumal. Esta divergencia se manifiesta primordialmente en la preeminencia del uso de vehículos motorizados, un fenómeno que contraviene los principios de movilidad sostenible y eficiente. Esta tendencia ha ocasionado una percepción desfavorable entre una proporción considerable de la población (aproximadamente 42%) respecto a la infraestructura disponible para modos de transporte no motorizados. Este escenario ha conducido, por un lado, a un incremento en la frecuencia de accidentes de tránsito y, por otro, a una creciente sensación de inseguridad para aquellos que optan por caminar o utilizar la bicicleta.

En el ámbito de la eficiencia y eficacia de la movilidad urbana, el estudio identifica un potencial sin explotar en las arterias viales de Chetumal. Estas rutas, que se extienden en direcciones clave, poseen una estructura que podría ser optimizada para mejorar la movilidad no motorizada. En particular, se resalta el uso de la bicicleta como una alternativa de transporte viable y ecológica. La implementación de ciclovías en estas vías no solo incrementaría la eficiencia de la movilidad no motorizada, sino que también promovería una percepción más positiva de la seguridad vial en la ciudad.

Sin embargo, se han identificado ciertos desafíos en la concretización de estos avances, como lo evidencia la situación en el Boulevard Bahía, donde un proyecto inicial de ciclovía fue transformado en una zona peatonal. Este cambio ilustra una desviación de los objetivos de promover un enfoque de movilidad equilibrado y sostenible.

En resumen, la investigación muestra que la prioridad actual hacia la movilidad motorizada en Chetumal ha repercutido negativamente en la calidad del espacio público y la red de movilidad no motorizada. Se evidencia una asignación desproporcionada del presupuesto público hacia infraestructuras que benefician principalmente a los vehículos motorizados, lo cual ha tenido impactos adversos en la salud urbana y la calidad de vida de los habitantes.

Por lo tanto, este análisis subraya la necesidad urgente de revisar y rediseñar las políticas públicas de movilidad en Chetumal. Es crucial adoptar un enfoque más integrado y sostenible que balancee las necesidades de la movilidad motorizada y no motorizada, fomentando así un entorno urbano más saludable y sostenible que beneficie a toda la comunidad.

Conclusiones

La evaluación de la estructura y regulaciones urbanas presentes en el Programa de Desarrollo Urbano para Chetumal y sus regiones circundantes, evidencia una notoria desvinculación entre las políticas de movilidad no motorizada de los tres niveles de gobierno. Esta situación no representa una verdadera iniciativa proactiva, sino más bien una respuesta pasiva a requisitos normativos. Chetumal, con su singular morfología y estructura urbana, posee un potencial intrínseco para la adopción de sistemas de movilidad no motorizada. A pesar de ello, la ciudad no ha logrado establecer una red efectiva en este ámbito, situación que se ve exacerbada por la falta de supervisión y aplicación de las normativas vigentes por parte del instituto de movilidad correspondiente. Un estudio exhaustivo de los patrones de circulación muestra que las vías principales son adecuadas para fomentar la movilidad no motorizada, creando circuitos esenciales. Tomando en cuenta la densidad poblacional y las distancias promedio de desplazamiento, es viable promover trayectos a pie y en bicicleta, optimizando así la conectividad intermodal. Sin embargo, la percepción ciudadana actual favorece el transporte motorizado, principalmente debido a preconcepciones de riesgo y comodidad al caminar o pedalear.

Para una transición exitosa hacia la movilidad no motorizada, es crucial abordar y modificar la concepción cultural que asocia el uso del automóvil con un símbolo de estatus. La concienciación ciudadana sobre los impactos negativos del uso excesivo de vehículos particulares y la mala planificación urbana debe ser prioritaria. Las políticas públicas deben dirigirse hacia una movilidad urbana sostenible, segura y eficiente, que proporcione soluciones efectivas para los desafíos actuales de la movilidad en Chetumal. A nivel de infraestructura, es recomendable la integración de carriles exclusivos para bicicletas en las principales arterias urbanas, acompañado de zonas de estacionamiento y circulación adecuadas. Esta reconfiguración busca no solo incrementar la capacidad total de circulación, sino también mejorar la eficiencia del sistema de transporte urbano. En conjunto, estas estrategias representan una oportunidad para redefinir y mejorar la calidad y eficiencia del sistema de transporte en Chetumal, colocando la movilidad no motorizada en el centro de la agenda urbana.

En conclusión, aunque el estudio ofrece una base sólida sobre la percepción de la calidad y seguridad en la movilidad urbana, existen áreas de oportunidad para ampliar y profundizar el análisis. La integración de múltiples métodos y enfoques proporcionaría una visión más holística y podría guiar de manera más efectiva las políticas y estrategias urbanas futuras. Aunque se proporcionó información sobre la percepción de la calidad y seguridad en diferentes modelos de movilidad, sería relevante conocer la demografía de los encuestados. Factores como edad, género, nivel socioeconómico, y frecuencia de uso de los diferentes medios de transporte pueden influir en las percepciones y proporcionar información detalladas. Las categorías seleccionadas ofrecen una visión general, pero podrían no capturar la complejidad de las percepciones. La incorporación de entrevistas abiertas o cuestionarios más detallados podría ofrecer una mayor profundidad en las respuestas.

Considerar estudios cualitativos que exploren en profundidad las razones detrás de las percepciones puede ser valioso. Asimismo, realizar análisis espaciales para identificar zonas específicas de preocupación en la ciudad puede guiar intervenciones más focalizadas. Las percepciones sobre seguridad y calidad pueden estar influenciadas por factores externos no considerados en el estudio, como la hora del día, condiciones climáticas, o la presencia de elementos como señalización y semáforos. Sería de interés conocer si las percepciones han cambiado con el tiempo, estableciendo estudios longitudinales permitiría analizar si las intervenciones urbanas o políticas públicas han impactado positiva o negativamente en la percepción de la calidad y seguridad de la movilidad. Las percepciones negativas sobre la calidad y seguridad en la movilidad pueden tener repercusiones en la salud física y mental de los ciudadanos, donde estudiar

este impacto podría proporcionar argumentos más fuertes para la implementación de mejoras. Futuros estudios podrían incluir estas variables para ofrecer una visión más completa.

Referencias bibliográficas

- Aconcha, A. & Tinoco, A. (2018). *Análisis de los principios de equidad y eficiencia sobre el impuesto de renta en el sector construcción 2012 – 2016* [Tesis de Pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/contaduria_publica/530
- Álvarez, M. (2010). *Introducción al Derecho* (2ª ed.). Mc Graw Hill.
- Andrade, H., Arteaga, C. & Segura, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*, 18(1), 103-112. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449949161006.pdf>
- Archondo, I. et al. (2018). *Tendencias en la urbanización: Riesgos y oportunidades*. BBVA Research [Archivo PDF]. <https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2018/11/Observatorio-Futuro-de-las-Ciudades.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2012). *México: Retos para el Sistema Educativo 2012-2018* [Archivo PDF]. <http://federalismoeducativo.cide.edu/documents/97536/36092cfa-7133-449f-be68-72dd4dd1d9d1>
- Banco Mundial. (2013). *Informe Anual 2013 del Banco Mundial*. Una estrategia federal para la movilidad sustentable de las ciudades mexicanas, Banco Mundial, <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9944-6>
- Bouza, A. (2000). Reflexiones acerca del uso de los conceptos de eficiencia, eficacia y efectividad en el sector salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, 26(1), 50-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21400107>
- Ciesla, M., Sobota, A. & Jacyna, M. (2020). Multi-Criteria Decision-Making Process in Metropolitan Transport Means Selection Based on the Sharing Mobility Idea. *Sustainability*, 12, 7231. <https://doi.org/10.3390/su12177231>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM], 5 de febrero de 1917, disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Dacal, J. (2016). *Filosofía del derecho*. Editorial Porrúa. <https://sistemabibliotecario.scjn.gob.mx/sisbib/2016/000286049/000286049.pdf>
- Diseño de vialidades Streetmix. <https://streetmix.net/>
- Díaz, M. y Marroquín, J. (2016). Las relaciones entre la movilidad y el espacio público. *Transmilenio en Bogotá. Revista de Arquitectura*, 18(1), 126-139. <https://www.redalyc.org/pdf/1251/125146891010.pdf>
- Gallotti, R. & Barthelemy, M. (2014). Anatomía y eficiencia de la movilidad multimodal urbana. *Representante científico*, 4, 6911. <https://doi.org/10.1038/srep06911>
- García, E. (2008). *Introducción al estudio del derecho*. Porrúa. <https://clea.edu.mx/biblioteca/files/original/7b4d486d917ba42ff21a36b27b0b41cc.pdf>
- Gehl, J. (2018). *La humanización del espacio urbano*. Reverté. <https://www.reverte.com/media/reverte/files/sample-81190.pdf>
- Herce. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad: Propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Editorial Reverté. <https://www.reverte.com/media/reverte/files/sample-89259.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Selección de la muestra. En *Metodología de la Investigación* (6ª ed., pp. 170-191). McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). Vehículos de motor registrados en circulación. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021). Censos y Conteos de Población y Vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=herramientas>
- Instituto Mexicano para la Competitividad [IMCO]. (2012). Índice de Competitividad Urbana 2012. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2012/8/indice_de_competitividad_urbana_2012.pdf
- Kelsen, H. (1982). *Teoría pura del derecho*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/3/1039/1.pdf>
- Mataix, C. (2010). *Movilidad urbana sostenible: un reto energético y ambiental*. TF Artes Gráficas. <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0536159.pdf>
- Obregón, S. y Betanzo, E. (2015). Análisis de la movilidad urbana de una ciudad media mexicana, caso de estudio: Santiago de Querétaro. *Economía, Sociedad y Territorio*, 15(47), 61-98. <https://www.redalyc.org/pdf/111/11132816004.pdf>
- Pan American Health Organization. (2017). Smart Hospitals Toolkit [Archivo PDF]. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/34977>

- Programa de Desarrollo Urbano para Chetumal, Calderitas, Subteniente López, Huay-Pix Y Xul-Há. (2021) [Archivo PDF]. https://drive.google.com/file/d/12_5bjJzzsaNZuX51gnL6xIbFFVTFWkfV/view
- Ramírez, C. (1987). El concepto de eficiencia y su importancia en la Administración Pública. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 1(2), 7–11. <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/926>
- Recasens-Alsina, M. (2020). Desafíos para una movilidad sostenible: Barcelona. *Ciudad y territorio, estudios territoriales*, 52(204), 263-276. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/331412/81337-Texto%20del%20art%20c3%adculo-265197-1-10-20200618.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, L. (2012). *Introducción al estudio del derecho*. Red Tercer Milenio. https://www.aliat.click/BibliotecasDigitales/sistemas/Introduccion_al_estudio_del_derecho.pdf
- Roldán, J. (2019). *Derecho Administrativo*. Oxford University Press. ISBN: 9789706139306
- Real Academia Española. (2023). *Diccionario de la lengua española (23.a ed.)*. <https://dle.rae.es>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. [SEDATU]. (2018). *Anatomía de la movilidad en México. Hacia dónde vamos*. Tinta Roja Editores. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/411314/Anatom_a_de_la_movilidad_en_M_xico.pdf
- Secretaría de Energía. (2018). *Balance Nacional de Energía, 2017*. Secretaría de Energía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf
- Stiglitz, J. E. (2000). *La Economía del Sector Público (3.a ed.)*. Antoni Bosh. <https://desarrollomedellin.files.wordpress.com/2018/08/stiglitz-2000-tercera-edicion.pdf>
- Suárez, E. (2020). *Introducción al derecho*. Ediciones UNL. https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/5535/introduccio%CC%81n_al_%20DERECHO_web.pdf?sequence=1
- Sundqvist, E., Backlund, F. y Chronéer, D. (2014). What is Project Efficiency and Effectiveness? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 278-287. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814021235>
- Tapia, M. (2018). La ciudad, para quién: desafíos de la movilidad a la planificación urbana. *GEO crítica*, XXIII, 1250. <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-1250.pdf>
- Ueasin, N. (2020). Decision-making on Public Transportation Services Based on the Socioeconomic, Psychological, and Environmental Concern Factors. *The Open Transportation Journal*, 14, 22-31. DOI 10.2174/1874447802014010022



<http://chetumal.tecnm.mx/avacient/index.php/revista/index>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a6>

<https://www.facebook.com/avacient>

LA ESCASEZ DE LA PRODUCCIÓN Y SU EFECTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO E INFLACIÓN

Carlos Antonio Moo Novelo¹, Helbert Elí Gazca Santos²

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 05/12/2023 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a7>

Resumen.- El trabajo tuvo como objetivo identificar los factores causantes de la escasez en la producción, así como su afectación en la cadena de suministro y la forma en la que esta contribuye al proceso inflacionario no solo en México, sino a nivel global. Se realizó una investigación descriptiva, identificando los factores que inciden en la cadena de suministro, así como los elementos que generan la inflación, y la escasez de producción, resultando como uno de los elementos la guerra de Rusia con Ucrania, así como el incremento en los precios de los energéticos, y sobre todo la pandemia de la COVID-19, como una de las causas de la reducción en la actividad económica, pues en prácticamente todo el mundo se realizaron cierres temporales de fábricas y empresas con la finalidad de reducir contagios y así controlar el problema, esto se tradujo en la reducción de la distribución de los bienes, propiciando un estancamiento de la cadena de suministro, debido a que los actores involucrados en el todo el proceso carecía de recursos, esto dio como resultado un proceso inflacionario por escasez de materia prima y estancamiento de la cadena de suministro y reducción de la actividad económica.

Palabras Clave: Producción, oferta y demanda, inflación.

THE PRODUCTION SHORTAGE AND ITS EFFECT ON THE SUPPLY CHAIN AND INFLATION

Abstract.- The objective of the work was to identify the factors causing the shortage in production, as well as its impact on the supply chain and the way in which it contributes to the inflationary process not only in Mexico, but globally. A descriptive investigation was carried out, identifying the factors that affect the supply chain, as well as the elements that generate inflation, and production shortages, resulting in one of the elements being the war between Russia and Ukraine, as well as the increase in energy prices, and especially the COVID-19 pandemic, as one of the causes of the reduction in economic activity, since temporary closures of factories and companies were carried out in practically the entire world with the aim of reducing infections. and thus control the problem, this translated into the reduction of the distribution of goods, leading to a stagnation of the supply chain, because the actors involved in the entire process lacked resources, this resulted in an inflationary process. due to shortages of raw materials and stagnation of the supply chain and reduction in economic activity.

Keywords: production, Offer and demand, inflation.

Introducción

Es importante considerar a la producción como el proceso que se lleva a cabo dentro de las organizaciones, con el fin de transformar la materia prima en elementos o artículos que se puedan intercambiar en el mercado, es decir es el proceso mediante el cual se realiza la interacción de los factores productivos (tierra, trabajo, capital y organización), sin la cual difícilmente habría bienes o servicios dentro de la economía. Sin embargo, una vez realizado la producción se necesita de diseñar estrategias y mecanismos que permitan su distribución hacia los mercados finales o hacia las empresas que utilizarán esta producción como materia prima para procesarlo, es aquí en donde destaca precisamente la cadena de suministro como medio que tienen las empresas para distribuir el producto final o para hacerse de materia prima o bienes semielaborados que necesitan otra transformación para así obtener el bien último que se desea, para satisfacer las necesidades del consumidor.

Por lo tanto la cadena de suministro puede verse truncado o roto en cierto momento, cuando dentro de la economía no existan las condiciones idóneas para realizarse la producción de manera eficiente, sea esta por factores climáticos o por acciones que el mismo ser humano ha provocado, este comportamiento conduce a un proceso inflacionario, creado

¹Profesor de tiempo completo, investigador, Universidad Tecnológica Metropolitana, perfil deseable Prodep vigente.

<https://orcid.org/0000-0002-0538-1944> Carlos.moo@utmetropolitana.edu.mx (**Autor correspondiente**).

²Profesor Investigador Universidad tecnológica Metropolitana. <https://orcid.org/0000-0003-1394-2892> Helbert.gazca@utmetropolitana.edu.mx

por la falta de producción y esto a su vez, genera un impacto negativo en la cadena de suministro, dando como resultado un círculo vicioso, que incide en el nivel de precios de los productos. Es necesario tener en cuenta que al momento de realizar el proceso productivo se considere la función de producción, que se refiere a la relación que se establece para transformar los factores en producción. Entendiéndose como el máximo nivel de bienes o servicios que se pueden obtener al combinar de manera efectiva los insumos con los que cuenta la empresa.

Es decir, se tiene una relación directa entre la cantidad y los factores a emplear, como se muestra en la siguiente fórmula: $(Q) = F(\text{capital, trabajo, tecnología,})$ por tanto, la producción que se obtenga depende de la cantidad que se combine de capital, de trabajo, de los recursos naturales y la tecnología, como elementos que se pueden utilizarse para llevar a cabo el proceso productivo. Sin embargo, en ciertas ocasiones esta relación entre los factores a utilizar puede ser que muestren una escasez razón por la cual se reducirá la producción y por ende se frenará la distribución hacia los mercados.

Entonces cuando ocurre escasez en la producción se genera un desabasto en el mercado, por lo tanto, la cadena de suministro no funciona, provocando así el fenómeno inflacionario, ya que al haber más personas que quieren consumir y al no existir el producto se refleja en mayores precios. Ante este panorama el presente trabajo tuvo como objetivo describir las causas de la escasez de la producción, su efecto en la cadena de suministro y el incremento en los niveles de precios, teniendo como hipótesis que la escasez de producción ha ocasionado un desequilibrio en la cadena de suministro tanto de materia prima como de productos terminados, lo cual ha repercutido en el nivel de precios de los bienes y servicios.

Marco teórico.

La producción es la aplicación y combinación de los factores productivos de manera eficiente y óptima con el fin de obtener bienes o servicios que buscan satisfacer las necesidades de los consumidores. En esta etapa entra en juego la cadena de suministro para la empresa, la cual se refiere a un conjunto de actividades que van desarrollando diversos actores, todos con la idea de acercar el insumo para la empresa que lo requiere o el producto hacia el consumidor final.

De acuerdo con Manrique et al (2019): “La cadena de suministro es importante para alcanzar el desarrollo y agilizar la producción, así como la comercialización de bienes y servicios en cualquier economía”. (p.2), evidentemente comprender la función de la cadena de suministro, puede permitir a la empresa diseñar mecanismos para que sean más eficientes, y sobre todo para buscar una reducción de costos, que repercutirá en mejores niveles de productividad en toda la organización y de beneficios económicos.

Para Treviño (2021) los factores de producción representan los elementos que son necesarios combinar, para obtener los bienes y servicios. (p. 39). Ya que sin estos elementos no puede obtenerse los bienes que el mercado demanda, razón por la cual cuando escasean también se ve perjudicado los niveles de producción.

Por tal razón al estancarse la movilidad en la cadena de suministro esta se refleja de manera directa en las actividades económicas, teniendo una fuerte repercusión en el consumidor final, que observa un incremento generalizado del precio de los bienes y por tanto reduce su poder adquisitivo, con lo cual disminuye su bienestar, al decaer su excedente que puede tener al pagar por un bien muy por arriba de su valor. Ya que según Gómez et. al. (2019) la cadena de suministro reviste importancia para las empresas ya que estas pueden ser un foco de potenciación de la competitividad para reducir costos o innovar, al sincronizar y alinear todos los procesos que esto involucra, así como a todos los integrantes. (p.49). Es decir, al afectarse a un elemento de la cadena de suministro esta misma se refleja en todo el eslabón y desde luego en la productividad de las empresas, ya que al carecer de materia prima para su transformación se ve reducida la intensidad de la actividad económica. La cadena de suministro es una red de mutuo acuerdo que se genera entre todos los actores con el fin de satisfacer la demanda o requerimiento del mercado, sin embargo, en ciertas circunstancias este proceso puede verse afectado cuando suceden eventos extraordinarios en la economía global.

Es así como para Catayud & Katz (2019). La cadena de suministro viene siendo un conjunto de procesos que abarca desde el diseño de un producto o servicio hasta su entrega a los consumidores finales. (p.10). Es decir, es un elemento importante ya que permite generar valor agregado en cada etapa de la producción, pues contribuye a elegir a los mejores proveedores, los distribuidores y la forma adecuada de presentar el producto final, hacia el consumidor.

Claramente se puede entender a la cadena de suministro, como la interdependencia que se da en el aprovisionamiento de materia prima, así como en la distribución del producto final, al generar procesos claves para el éxito de la empresa. (De la Ossa & Fabra, 2022, p. 10).

La cadena de suministro de acuerdo con el Centro Regional de Apoyo para América Latina y el Caribe son: procesos que permiten diferenciación y rentabilidad en la cadena de valor de la empresa, pues gestionan los flujos de productos y servicios, así como de información y todas las demás actividades necesarias para desarrollar y entregar un producto hasta el consumidor final, mediante una administración eficiente de la cadena de suministro.

Se puede entender entonces que la cadena de suministro involucra múltiples procesos que una organización de negocios pueda poseer con el fin de incrementar su productividad y que es importante conocer cada uno de los elementos que lo integran con el fin de que la organización se pueda mantener en un entorno globalizado, esto permite desarrollar estrategias de diferenciación con respecto a los competidores. (Fontalvo et. al, 2019, p.109)

Sin embargo, la escasez de productos dentro del mercado puede generar un problema conocido como inflación, este fenómeno puede ocurrir por diversas razones: una de las causas puede ser que al incrementarse los costos de producción se vea reflejado en el precio de los productos, es decir se da el caso que se modifique la oferta agregada de toda la economía, primeramente por un incremento en el precio de los insumos o de los energéticos que repercuten de manera directa en la producción de los bienes y servicios. Pero también se puede deber a que exista un problema con la cadena de suministro, pues al no llegar de manera rápida la materia prima, esto retrasa todo el proceso productivo, y esto ocasiona la poca existencia de bienes en el mercado y mayor demanda de esta, entonces ese efecto se traslada al precio del producto.

El problema de la inflación ha sido potencializado primero, por la pandemia de la COVID-19, al frenar la actividad económica a nivel global, debido a que muchas de las economías adoptaron medidas que influyeron directamente sobre la producción, esto como medida para reducir los contagios, otro acontecimiento que ha incidido en el problema es la escasez de la materia prima debido a la guerra que existe entre Rusia y Ucrania, ya que reduce el proceso de intercambio de materia prima y alimentos a nivel global, haciendo de esta manera que todos los acontecimientos que se viven a nivel internacional, se vean reflejados en los precios de los productos.

Para el Banco de México (2022) la inflación es el aumento sostenido y generalizado de los precios de los bienes y servicios de una economía a lo largo del tiempo. Es decir, para que se puede decir que hay inflación debe ocurrir un incremento de los precios no solo de una mercancía sino de manera general y que este proceso sea sostenido a lo largo del tiempo, por tal razón se identifica algunos determinantes tanto de largo plazo como a corto plazo que pueden ocasionar la existencia del alza generalizada de los precios. Estos determinantes de la inflación en el largo plazo son: Exceso de dinero, déficit fiscal, políticas inconsistentes.

Al mismo tiempo los determinantes de corto plazo son los que se mencionan a continuación:

- Contracción de la oferta agregada
- Incremento de la demanda agregada
- Tasa de interés.

En la actualidad, el factor que ha provocado la inflación dentro de la economía, es precisamente la contracción de la oferta agregada global, ya que los grandes productores, como China, apenas están en proceso de recuperación de su actividad económica, sin embargo, ante la escasez de materia prima, los precios se han visto incrementado de manera general, aunado a esto, también se incrementó la demanda de bienes y servicios por medios digitales, ocasionando así mayor presión sobre el precio de los bienes, pues los productores, al observar el exceso de demanda y poca oferta, adoptan como una medida para contrarlar ese incremento exponencial de la demanda el incremento en el precio de los bienes.

Entonces la inflación es: un aumento generalizado de los precios de todas las mercancías de manera sostenida. (Hernández, et.al, 2019, p.2). por tanto, si se incrementan los precios de manera considerable dentro de la economía, esto repercutirá en el bienestar de las personas, de ahí que resulte importante su control, pues en caso de que la inflación sea de dos cifras dentro de la economía, esto reduciría la capacidad de consumo de las personas, con lo cual se verá también disminuido su bienestar y por consiguiente incrementará los problemas sociales.

Es posible decir que la inflación, se asocia con restricciones derivadas a los menores niveles de producción, que se presenta en el entorno económico. (ChercasKy, 2022, p. 7). Por tanto, la existencia de menos materia prima hace

difícil su aprovisionamiento hacia la empresa, propiciando que se incrementen los costos de producción y esto se refleje en un mayor precio para el consumidor final.

Cuando la tasa de inflación es alta, el efecto directo que tiene sobre las utilidades de la empresa es una reducción, ya que en un primer momento se puede vender a un precio alto los productos, sin embargo, cuando se adquiera nueva materia prima para transformar en bienes y servicios, estas resultarán a un precio mayor, con lo que se obtendrá menores utilidades de la que se esperarían. (Balanategui, 2022, pág. 19), es decir se puede pensar en primera instancia que se está ganando más dinero, pero la realidad es que el valor real de la producción es menor comparado con el año pasado.

Por tanto, para Rosas (2020) “una inflación no solo es perjudicial para la actividad económica, sino también para el crecimiento económico del país, reflejándose en la reducción del bienestar de la población”. (p. 46). Es decir, el fenómeno de la inflación tiene una gran repercusión sobre todo en el bienestar de las personas, pues estas, ven reducido su poder adquisitivo, al no poder adquirir la misma cantidad de bienes con el recurso que disponen en el momento, lo mismo ocurre con la empresa, pues de un presupuesto limitado que tiene, esta no será suficiente para hacer frente a los incrementos en los costos de la materia prima.

De acuerdo con Guerrero (2021). “debido a la crisis que se ha presentado en la cadena de suministro, esta ha afectado a la producción a nivel mundial y por lo tanto esto se ha visto reflejado en los niveles de precios más altos de los productos que se venden en las comunidades o países”. (párr. 1). Efectivamente al haber escasez de los productos, y seguir con una gran demanda de estos, la lógica es que para poder frenar de cierta manera el consumo excesivo sea mediante el incremento del precio, como una alternativa para disipar el problema en tanto se incrementa la producción.

De acuerdo con Tudela & Basurto (2021): Una cadena de suministro está compuesta por fabricantes, proveedores, transportistas, vendedores, entre otros actores, así como también de materiales, información y métodos. (p.72). Cada uno de los elementos o actores de la cadena de suministro, deben contribuir a incrementar el valor de la empresa, y cada integrante busca optimizar sus acciones con el fin de incidir en la productividad, por ejemplo, el transportista busca reducir los tiempos de traslado, monitorear la mercancía y verificar la ruta que siguen los distribuidores, a fin de optimizar sus recursos y reducir costos.

Es así como para Cadena et. al (2020), la cadena de suministro implica un conjunto de elementos que interactúan entre sí desde información, así como materiales existentes en los procesos del proveedor inicial de materia prima, llegando hasta el consumidor final del producto, con lo cual se vinculan entre sí para incidir en los procesos. (pág. 124). En tal caso cuando un elemento de la cadena de abastecimiento sufre una contracción o no puede solventar sus problemas, esto se traslada hacia los otros integrantes, pues como es un proceso integrado y vinculado, lo que suceda en uno de los elementos también repercute en los demás, es decir si la escasez de materia prima ocurre en el otro lado del mundo y la empresa se encuentra en México, esto también tiene un efecto negativo en la producción, pues se altera todo el proceso establecido para contribuir con la producción.

Valenzo et. al (2023), señalan que el uso eficiente de la tecnología de la información en los procesos que tienen que ver con la cadena de suministro puede contribuir a la eficiencia, sobre todo en los tiempos en los que se ha visto acortado la cadena de suministro, pues permite una reacción rápida ante las situaciones adversas. (p. 3)

Según Díaz (2017), la cadena de suministro es una actividad interdisciplinaria que vincula varias áreas de la empresa, iniciando por el área de compras, hasta el servicio post venta, incluyendo ahí el manejo de inventarios y distribución de los productos finales, así como la gestión de toda la información generada en el transcurso del proceso. (p. 11). Tan importante es la cadena de suministro que su mala gestión puede reducir la productividad de la empresa y al mismo tiempo incrementar los costos de operación del proceso productivo.

De acuerdo con González (2019), la cadena de suministro es fundamental para todas las organizaciones, más en el mercado que es tan cambiante, con problemáticas sociales y económicas, pues se busca generar ahorro y posicionamiento en el mercado por parte de las empresas, de ahí que resulte relevante su análisis. (p 320), Con esto se busca facilitar el acceso de la empresa a materia prima y el consumidor final a productos terminados en el mercado, en algunos casos para agilizar el proceso productivo y en otro para contribuir a incrementar los ingresos de las empresas, al poder llegar a más mercados.

Materiales y métodos

Para la realización de esta investigación de tipo descriptiva, se revisaron trabajos que abordan la situación de la cadena de suministro, así como de los efectos de la inflación y la escasez de la producción, con el fin de conocer en qué situación se encuentra la cadena de suministro, así como las variables que motivan la existencia del proceso inflacionario y los problemas que se presentan en la producción, identificando los factores que han ocasionado el incremento de la inflación a nivel mundial, así como los elementos que han ocasionado el desequilibrio en el proceso de suministro de los bienes.

También se realizó la revisión hemerográfica de diarios en línea. Así como revisión de bases de datos de la organización mundial del comercio, de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y también del banco de México entre otros.

La revisión bibliográfica permitió identificar las causas del estancamiento de la cadena de suministro, resultando que la principal es la falta de materia prima para su distribución hacia las empresas debido en primera instancia a la reducción de la actividad económica por la COVID-19 y por otro lado por la guerra entre Rusia y Ucrania, y que esto a su vez es una causa de la escasez de la producción y por ende la falta de productos en el mercado, lo cual se vio reflejado en un incremento de la inflación, destacando que esta se debió a un proceso de exceso de demanda ante una reducción de la oferta, esto al fin al cabo son causas del proceso inflacionario a nivel mundial.

Se destacó también que algunos países como México han adoptado políticas económicas antiinflacionistas, sobre todo orientado al incremento de la producción de bienes de consumo básico, ya que su objetivo principal es mantener estable el precio de los productos de la canasta básica y por tanto evitar un mayor impacto en el bienestar de la población más vulnerable.

Teniendo la información recopilada se procedió al análisis de las variables tal cual ocurren en la realidad, sin intervenir en ellas para realizar cambios, es decir sin una manipulación deliberada de las variables por parte de los investigadores, se recopiló información estadística del precio de los productos del 2015 al 2022, así como el valor de las exportaciones para el mismo periodo, se realizó gráfica del cambio en la oferta agregada, así como tablas de los productos que más cambiaron sus precios.

Resultados

Conocer los factores que han propiciado la escasez de productos en el mercado, su vínculo con la cadena de suministro y con la inflación, es de gran relevancia, esto debido a que la producción es el proceso a través del cual se transforman los recursos naturales en bienes o servicios que se requieren para satisfacer ciertas necesidades, con lo cual se puede generar dinamismo en la economía al poder intercambiarse en el mercado.

Sin embargo, cuando no existen estos bienes o servicios significa que hay factores que pueden estar impidiendo el flujo normal de materia prima hacia las empresas que producen o fabrican los productos, del mismo modo ocurren eventos que condicionan o reducen las actividades económicas que se pueden realizar dentro del mercado, razón por la cual se estanca el proceso de la distribución, ya que la cadena de suministro por un lado no tiene en primera instancia materia prima intermedia que distribuir y por el otro lado tampoco productos terminados. Todo esto hace que se genere un proceso inflacionario en la economía, ya que los consumidores seguirán demandando más bienes, que no llegan al mercado y al haber una reducción de la oferta, entonces se presiona al alza de los precios.

Tal como lo menciona Sánchez et al (2021) La cadena de suministro post COVID-19, con el análisis de los mapas bibliométricos, “se pudo determinar que los mayores retos se encuentran en la gestión eficiente de cadenas de suministro de alimentos e insumos médicos para el enfrentamiento a la pandemia, así como la crisis administrativa y la sostenibilidad” (p.10). Una causa reciente que ha impactado a la producción de los bienes, tanto finales como intermedios, es la situación de la Pandemia de la COVID-19, como fenómeno mundial que ha repercutido en la economía de los países, así como en la salud y en la fuerza laboral, incidiendo en los niveles de producción, esto debido a las medidas que se adoptaron para tratar de reducir su propagación a nivel internacional. Estas acciones trajeron como efecto principal la reducción de la producción en muchas empresas, con lo cual también se vio afectado la cadena de suministro, por un lado, por la falta de bienes y por otro por que las empresas de transporte se quedaron sin capital humano para realizar los procesos de distribución.

Tal como se menciona en México la actividad económica para los meses de abril y mayo del 2020 se contrajo en un 19.9% y 22.7%, lo que sin duda representa una caída en la producción y por ende genera presiones al alza en el precio. (Esquivel, 2020. p.3)

Sin embargo, como señala el Banco Mundial (2020) citado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020):

Debido a que el virus avanzó esto ocasionó la interrupción de las actividades económicas en Asia, Europa, América del Norte y el resto del mundo esto ha ocasionado el cierre de fronteras, con el consiguiente efecto en el aumento del desempleo y la reducción de la demanda de bienes y servicios, en un primer momento, ocasionando de esta manera una contracción en la economía. (p.2)

Es decir, lo que se ha provocado es precisamente una contracción en la dinámica de producción, por los cierres temporales de las empresas, como medidas para mitigar la propagación de la enfermedad, esto mismo redujo la actividad comercial entre los países. Tal como lo menciona CEPAL (2020):

Por lo tanto, el valor de las exportaciones e importaciones de bienes se redujo en un 17% entre enero y mayo de 2020 en comparación con el mismo período de 2019. Ambos flujos se desplomaron hacia el final del período de cinco meses en 2020, con una caída interanual del 37% en mayo (p. 3)

De acuerdo con el Banco Mundial (2022):

El hecho de que se incrementa el precio de los productos básicos está frenando la reducción de la pobreza y lo está agravando, ya que los precios de los productos básicos se han incrementado de manera considerable. (párr. 6).

Esto trae como consecuencia la reducción de la producción de los bienes debido al incremento de los costos, básicamente la razón fundamental por la que se está incrementando los precios de los productos necesarios para el consumo directo, es por el incremento del precio de las energías. Entonces pareciera ser que no es una cuestión de escasez de producción si no es más de incremento de costos de los insumos, lo cual realmente reduce la producción, ya que al incrementarse estos costos también se refleja en las ganancias de las empresas, y en lugar de incrementar el volumen de producción para contrarrestar el efecto de la demanda de estos bienes, lo que se opta es por incrementar los precios.

La COVID-19 hizo que por ejemplo que las empresas en Ecuador se contrajeran en un 70% en sus actividades económicas, resultando más afectados el área de comercio, servicios, manufactura y agricultura. (Rodríguez et. al, 2020, p. 14). En ese mismo sentido Rodríguez y Molina (2023), señalan que el proceso inflacionario se ha dado en primera instancia por la COVID-19, así como por las tasas de interés bajas, que potencializaron el consumo. (p.6)

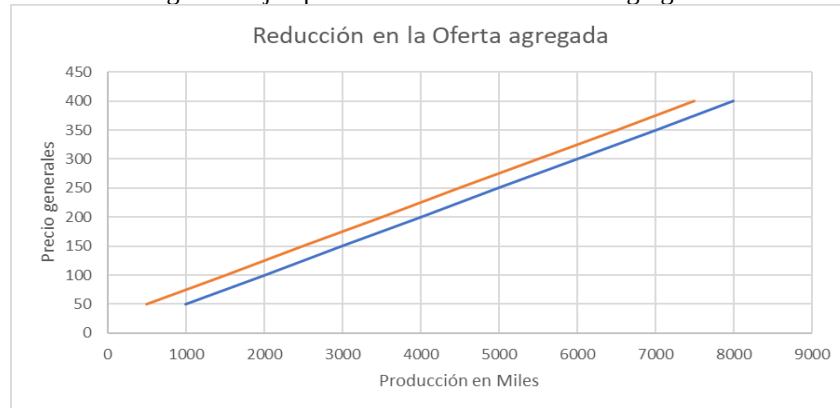
Esto se puede reflejar en la curva de la oferta agregada, al pensar que este efecto de la inflación estará afectando a toda la producción mundial o del país, se tiene que la curva de oferta agregada se refiere a la cantidad total de bienes y servicios que las empresas de un país están dispuestas a producir y vender a un precio determinado, en un periodo de tiempo, por lo que gráficamente sería posible ejemplificar el efecto que puede suceder con la oferta agregada total de la economía, cuando existe costos elevados de materia prima y escasez de las mismas.

Este efecto se puede observar en la Figura 1. Pensando en una producción global hipotética en el que al principio con el nivel general de precios vigentes en la economía se tiene el comportamiento de la oferta representada por la línea azul, sin embargo, por diversas circunstancias ocurre escasez de materia prima y elevación de precios de los energéticos, esto orienta a la empresa a reducir su producción, el cual se ve reflejado con un desplazamiento de la oferta hacia arriba representado por la línea de color naranja. Sin embargo, esto se relaciona de manera directa con la demanda, pues al haber mayor demanda y poca oferta, lo que ocurrirá será un incremento de los precios generalizados, ocasionando de esta manera un proceso inflacionario.

Es posible vincular la reducción de la producción total de los países a los diversos problemas que se tienen en la cadena de suministro, ya que en todo este proceso de aprovisionamiento participan múltiples actores, que facilitan la proveeduría de materia prima hacia las empresas para producir, pero también son los encargados de acercar los productos a los diversos mercados y así poder consumirlos, sin embargo cuando ocurre un desequilibrio en la producción se impacta también la cadena de suministro incidiendo en la existencia de bienes finales en el mercado y por tanto se genera cambios en los niveles de precios de los productos, esto se potencializa por la escasez de materia prima, o encarecimiento de los mismos por lo que se traslada estos costos al precio del producto finalizado.

Tal como sucedió en el 2021 cuando se generó un atasco de los barcos en los puertos de los ángeles y Long Beach, Estados Unidos, por falta de personal para descargar los contenedores, propiciando el incremento de los precios, a la vez que disparó el comercio electrónico, es decir se incrementó la demanda, propiciando mayor presión sobre los precios. De acuerdo con Méndez (2021) a raíz de la pandemia de la Covid-19 se ha generado problemas en la cadena de suministro y como consecuencia se está percibiendo un alza en la inflación, adicional a esto, muchas empresas han recortado su producción para los próximos meses debido a la escasez de materia prima.

Figura 1. Ejemplo de reducción de la oferta agregada.



Nota. Desplazamiento de la oferta agregada hacia arriba lo que muestra una reducción, elaboración propia.

De acuerdo con Catayud & Katz (2019), los principales actores que participan en la cadena de suministro son:

- Proveedores de insumos de primer y segundo nivel.
- Empresas manufactureras
- Mayoristas y Minoristas
- Proveedores de servicios logísticos, empresas de transporte y operadores de infraestructura.
- Organismos de control
- Proveedores de tecnología
- Proveedores de servicios financieros (p.11)

Entonces quiere decir que cuando algunos de los actores que participan en la cadena de suministro tienen problemas esto mismo se presenta en las empresas, tal como las que menciona Georgieva, et.al (2022):

Hubo un impulso a la inflación de precios al productor en la zona del euro, aunque también lo ha sido debido a la fuerte demanda. Con lo que se tiene que en el componente manufacturero de la inflación de precios al productor fue aproximadamente 10 puntos porcentuales mayor respecto al año anterior a la pandemia en los tres primeros trimestres de 2021. Explicando de esta manera la inflación por un aumento de la demanda y por un aumento de precios de las manufacturas. (párr. 4)

Es decir, de acuerdo con el párrafo anterior lo que se presenta es un problema de escasez de suministro de materiales, así como de productos terminados, que, junto con el aumento de la demanda, han estado impulsando un efecto inflacionario en todas las economías, sin embargo, el problema del suministro gira en torno a la disminución de la dinámica de las actividades económicas, en principio por la reducción de la movilidad y en segundo lugar por la falta real de materia prima para ciertas actividades. Aunque ha habido una reapertura gradual desde hace algunos meses, esto no ha impedido que se siga una escalada de precios a nivel mundial, sobre todo en los productos de consumo básico.

Tal como lo menciona Valenzuela & Reinecke (2021), quienes han identificado los efectos de la pandemia en el que hacer de las Cadenas Mundiales de Suministro (CMS), estableciendo al menos tres causas directas de disrupción:

- Ocurre una disrupción de la oferta por prohibiciones de funcionamiento: las medidas de confinamiento llevaron a prohibir el funcionamiento de las empresas no catalogadas en el sector de atención directa a la crisis sanitaria, afectando tanto su capacidad productiva como la de venta de sus productos.

- Ocurre cambios en la demanda por reducción de ingresos: Por el lado de la demanda, la reducción de los ingresos de los consumidores y la incertidumbre llevaron a una contracción y modificación de los patrones de consumo.
- Disrupción de encadenamiento por dificultades de logística y de abastecimiento de insumos: La crisis ha impactado en el abastecimiento de insumos y en los pagos a proveedores en muchas cadenas, poniendo en peligro no solo la producción sino también la sobrevivencia de los escalones más débiles. Ante esto ha influenciado el incremento de los costos de muchos insumos. (pp 5-6)

Otro de los efectos que se presentó ante la escasez de producción de materia prima fue la que se suscitó en la producción de electrodomésticos en Nuevo León México, debido a que la cadena de suministro se interrumpió por una falta de producción del chips para los electrodomésticos, lo que impacto de manera negativa en la producción de los bienes (Leija et.al, 2023, p. 10)

Ante estas modificaciones de la cadena de suministro las empresas deben reorientar la manera en la que se abastecen o se hacen de los insumos, así como para la distribución de los productos, ya que las dos fuerzas del mercado, tanto la oferta como la demanda, han sufrido una contracción, razón por la cual junto con la ruptura de la cadena de suministro esto ha orientado a que se incrementen los precios de los productos en los mercados.

Aunque es cierto que se incrementó la modalidad de la compra por internet, al tener problemas la cadena de suministro, esto retrasó la llegada de los productos, al mismo tiempo que se han incrementado los costos de los productos y unido a la escasez de los insumos, todos estos efectos se materializaron en un aumento de los precios.

De acuerdo con Kilpatrick & Barter (2020) Algunas de las empresas para reducir el impacto de la escasez de producción se dieron a la tarea de que desarrollar agilidad dentro de sus redes de producción y distribución para reconfigurar rápidamente y mantener la oferta, y de esta manera reducir la presión en la demanda global y también tuvieron que invertir en la planificación de la cadena de suministro, con el fin de minimizar el efecto inflacionario (p.4). Es decir, lo mejor que debe realizar la empresa es estar atenta a las variaciones del mercado con respecto al suministro de los recursos necesarios para llevar a cabo su proceso productivo, es decir hacer que su sistema de abastecimiento sea flexible ante los cambios que se presentan para que puedan reaccionar de la mejor manera posible y así evitar mayores impactos.

Por tanto, Según Sánchez &Serna (2021) el mejoramiento de las prácticas de abastecimiento, mediante el uso de tecnologías, abastecimiento dual o múltiple pueden ayudar a cumplir de mejor manera las compras y provisionamiento, así como de las operaciones logísticas dentro de la organización. (p.17). Entonces las empresas deben invertir en mejorar sus procesos, con la finalidad de poder observar y percibir las situaciones del entorno, pero sobre todo para que puedan generar innovaciones que les permitan estar siempre por delante de los acontecimientos, que pudiesen frenar su producción, tal como sería el caso de la inflación.

Del mismo modo Rosas & López (2018), plantean que un costo que genera la inflación es la incertidumbre respecto a la manera en la que se comportará los precios en el futuro, propiciando en algunos casos la toma de decisiones erróneas. (p. 352), es decir que, al generarse la incertidumbre sobre los precios, tanto los consumidores como los productores, entrarán en pánico y harán compras sin pensar, agudizando de esta manera la inflación dentro de la economía, incidiendo en sus niveles de utilidad en el caso de las empresas y por el lado de los consumidores, reduciendo su excedente que pudieran tener, al pagar un bien a un precio mucho mayor.

Por tanto, la inflación reduce el poder adquisitivo de la población, disminuye el ahorro, pues las familias destinan mayor ingreso para poder adquirir los bienes y servicios para alcanzar a satisfacer sus necesidades. (Calderón et. al, 2019, p.4). Esto a su vez repercute en la disminución en la adquisición de otros bienes y servicios que le permitiría mejorar su bienestar, ya que, por el hecho de designar mayores recursos a bienes básicos, no se tiene suficiente recurso para destinar a actividades de esparcimiento. Esta situación es posible observarla debido a la escasez de materia prima, lo cual genera riesgos para la producción llevando a pérdidas de ventas y ocasionando costos de penalización o desabasto al no poder cumplir con la demanda de los clientes. (Hasbum, et al. 2022, p. 198).

Esto quiere decir que la inflación es ocasionada en un primer momento por la oferta es decir al reducirse la producción tanto de materia prima como de bienes finales, y al haber mayor demanda de estos, el mercado lo que hace es incrementar el precio de los bienes y el costo de la materia prima con el fin de buscar equilibrar la situación en el

mercado. Este efecto es posible observarlo en las variaciones del índice de precios de los productos básicos a nivel mundial, que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), se tiene lo siguiente.

En la Tabla 1 se puede observar que el índice de precio de los alimentos en el 2021 llegó a 125.7 puntos, mientras que en el 2022 se proyectó alcanzar un nivel de 150.4, puntos, lo cual representa un cambio porcentual de 19.64% pudiéndose interpretar como un aumento en el nivel de precios de estos, lo cual ocasiona una pérdida del poder adquisitivo de las personas, pues el valor del dinero no podrá obtener el mismo nivel de productos que en el periodo anterior. De esta manera se incrementa el precio de la canasta básica, repercutiendo en la población que menos recursos tiene, es decir en la población vulnerable, haciendo de esta manera que disminuya aún más su bienestar.

Tabla 1. Variación del índice precios a nivel mundial (FAO)

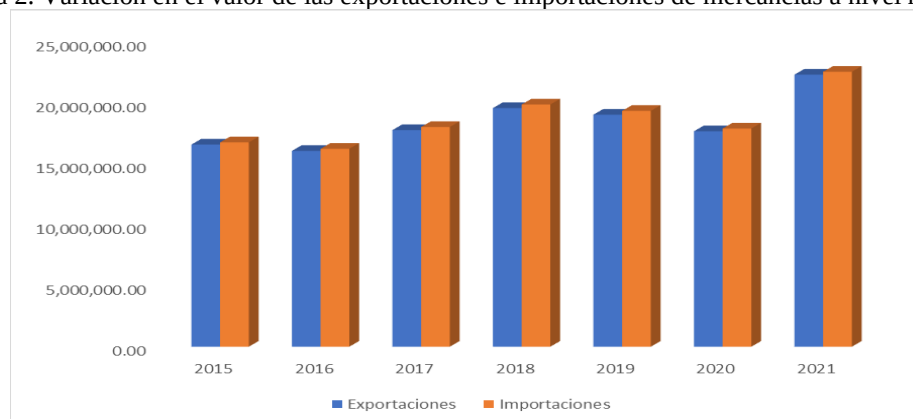
Años	Índice de precio de los alimentos	Índice de precio de la carne	Índice de precio de la leche	Índice de precio de cereales	Índice de precio de aceite	índice de precio del azúcar
2015	93.0	96.7	87.1	95.9	89.9	83.2
2016	91.9	91.0	82.6	88.3	99.4	111.6
2017	98.0	97.7	108.0	91.0	101.9	99.1
2018	95.9	94.9	107.3	100.8	87.8	77.4
2019	95.1	100.0	102.8	96.6	83.2	78.6
2020	98.1	95.5	101.8	103.1	99.4	79.5
2021	125.7	107.7	119.1	131.2	164.9	109.3
2022	150.4	117.6	141.7	159.8	221.3	116.6

Nota: Elaboración propia con datos de la FAO, 2022.

Al analizar un producto en particular por ejemplo el caso del aceite vegetal, esta tuvo un cambio drástico al pasar de 164.9 puntos a 221.3 puntos, lo cual en términos porcentuales refleja un incremento del 34.20% que del grupo de los productos básicos es el que tuvo un mayor incremento en el nivel de precios del 2021 al 2022. Esto evidencia la influencia que tuvo la reducción de la producción, reducción del suministro y sobre todo el incremento en el costo de los energéticos y de los insumos en el precio final que pagan los consumidores, ya que, al iniciar la reactivación económica, la demanda sobre pasó a la oferta.

En la Figura 2, se puede apreciar una tendencia creciente en el valor de las exportaciones y de las importaciones de mercancías a nivel mundial, sin embargo, al analizar el último año, se puede decir que es muy probable que el incremento del valor del comercio mundial de las mercancías se deba a la existencia de cambios de incremento en los precios de los productos, es decir que sea por razón de un incremento en el índice de precios al consumidor, más que por un incremento de la producción, observando que el mayor valor engloba el efecto de la inflación y no realmente una recuperación de la oferta global en su totalidad.

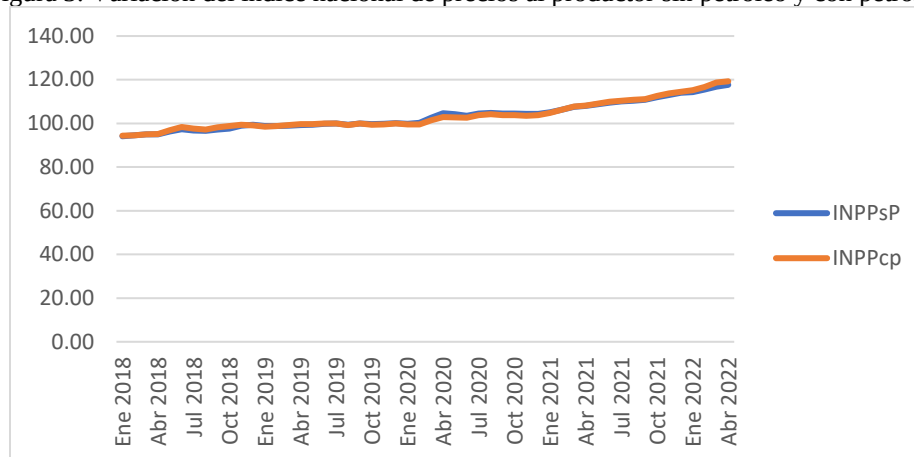
Figura 2. Variación en el valor de las exportaciones e importaciones de mercancías a nivel mundial.



Nota: Elaboración propia con datos de la Organización mundial del comercio. (wto, 2022)

En cuanto a la situación de la inflación en México se puede observar entonces que ha ocurrido una variación con respecto al índice nacional de precios al productor en México tal como se aprecia en la figura 3, donde se muestra la tendencia del índice nacional de precios considerando el precio del petróleo y sin el precio del petróleo, por ejemplo, hasta marzo del 2022 el índice nacional del precio considerando el petróleo era de 119.27 puntos, mientras que sin considerar el precio de los energéticos el valor de la inflación es ligeramente inferior, esto debido a que los energéticos tiene una volatilidad, muy alta. No existe una diferencia muy significativa en el comportamiento del índice de precios al consumidor, considerando el valor de los energéticos y no considerarlo, por tal razón en la figura 3 se observa que casi tienen el mismo nivel de comportamiento.

Figura 3. Variación del índice nacional de precios al productor sin petróleo y con petróleo.



Nota: Elaboración propia con datos del INEGI.

Teniendo la información de los precios al productor se puede conocer la inflación que hubo al realizar el cálculo de enero 2018 a enero del 2019, la cual indicaría lo siguiente tomando los valores $98.78-94.11/94.11 \times 100 = 4.96$, lo que significa que hubo una inflación con respecto a enero del 2018 a enero del 2019 del 4.96%. En términos de precios del productor.

Por lo tanto, aplicando el mismo procedimiento se puede obtener que la inflación de enero del 2019 a enero 2020 fue de 1.10%, en tanto que para enero de 2020 a 2021 la inflación fue de 5.25%, y mientras que la inflación de enero de 2021 a enero de 2022 fue de 8.75% en promedio, claramente se observa que la repercusión de la falta de suministro en especial de materia prima ha generado un incremento de la inflación en la producción, reflejado en el incremento de los precios.

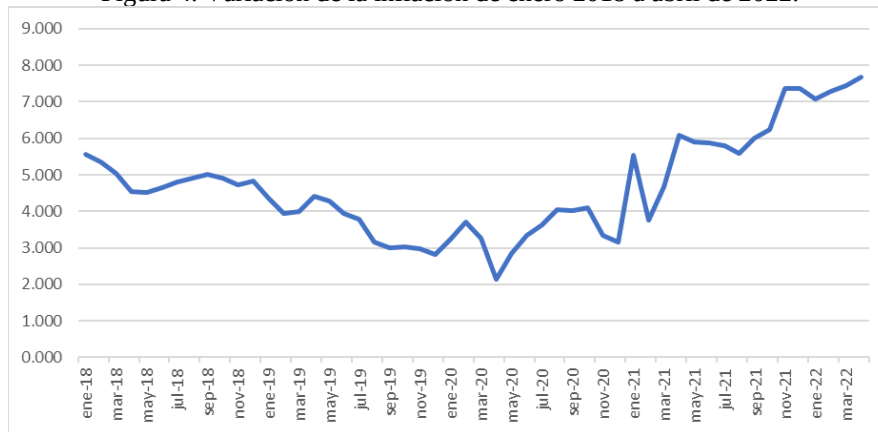
Al comparar el índice nacional de precios al productor considerando el petróleo, se observa que la tasa de inflación de enero de 2021 a enero 2022 fue de 9.81% anual. Claramente también evidencia que al incrementarse el costo de la energía influye en los costos de producción de las empresas que luego esta será transferida al consumidor final.

En el caso de la tasa de inflación, medido con el índice nacional de precios al consumidor, en la figura 4, se puede observar la variación que ha tenido, es decir se tiene que en enero de 2018 la inflación estuvo en 5.55% y para enero del 2019 esta presentó un ligero descenso a 4.370%, en tanto que para enero del 2020 se tuvo una reducción a 3.240%, en enero del 2021 esta tasa de inflación se ubicó en 3.540%, pero es de llamar la atención que es precisamente en este año a como efecto de las restricciones para tratar de controlar la pandemia, que la inflación se ubicó a 6.080% y en octubre del mismo año subió a 6.240%, hasta que en diciembre llegó a 7.36%, lo cual se ha agudizado en el 2022 ya que para abril de este año se tuvo una inflación del 7.680%, lo que evidencia la subida de precios de los productos, no solamente en la economía nacional, sino a nivel mundial. Otro del efecto que se puede observar por la reducción de la producción y estancamiento de la cadena de suministro es el dato que registra el CPB (2022) donde se observó que el comercio mundial cayó un 0.2% en marzo, comparado con el mes de febrero del mismo año.

Complementado, de acuerdo con el Banco de México en julio de 2022 el índice general de precios al consumidor se ubicó a una tasa del 8.15%, como efecto de la prolongación de la pandemia, pero también por los otros factores que están ocurriendo a nivel internacional, por lo que se vislumbra que el efecto inflacionario en las economías domésticas,

sea relativamente prolongado, pues hasta marzo del 2023 la tasa inflacionaria en México fue de 6.85% superior al promedio que se manejaba antes de la emergencias sanitaria que se vivió a nivel mundial.

Figura 4. Variación de la inflación de enero 2018 a abril de 2022.



Nota: Elaboración propia con datos del INEGI.

Ante esta situación el gobierno de México ha implementado un plan antiinflacionario, esto con el fin de coadyuvar en la reducción de la inflación y así evitar un mayor impacto en el bienestar de la población, en especial para los más vulnerables, para eso en mayo de 2022 presentó el paquete contra la inflación y la carestía (PACIC) y en octubre de ese mismo año se emitió el Acuerdo de Apertura contra la Inflación y la Carestía (APECIC).

En el caso específico del PACIC, esta tiene 4 grandes estrategias, que buscaban incrementar la producción, estabilizar el costo de los energéticos, distribuir fertilizantes, cero aranceles para la importación de productos básicos e insumos, así como agilizar el despacho de las mercancías en las aduanas, reducir costos y tiempos de despacho, no incrementar el peaje en las carreteras, así como conformar una reserva de maíz, todas estas acciones alineadas a cada una de las estrategias que se puede observar en la Figura 5.

Figura 5. Medidas contra la inflación en México.



Nota. Elaboración propia con datos del PACIC.

Para fortalecer estas acciones emitidas en primera instancia, el gobierno federal emitió el Acuerdo de Apertura contra la Inflación y la Carestía (APECIC), estableciendo 10 puntos en donde las empresas participantes estuvieron de acuerdo, esto con la finalidad de reducir el impacto de la inflación, mejorar la producción y dinamizar la cadena de suministro dentro de la economía. Estas medidas son las siguientes:

- Otorgar una licencia única universal a las empresas que realizan actividades de importación y distribución de alimentos, para que se les exima de realizar algunos trámites por estas actividades.
- Suspender toda regulación que impida o encarezca la importación, así como la internación de alimentos y su movilidad dentro del país.

- Las empresas se comprometen a verificar que los alimentos e insumos que se importen y distribuyan sean de calidad.
- Buscar fortalecer la producción nacional.
- Cancelar la exportación de maíz blanco, frijol, sardina, chatarra de aluminio y acero.
- Buscar reducir el costo de la canasta básica en un 8%.
- En cuanto a la harina de maíz para elaborar tortilla se comprometen a no incrementar el precio.
- Se acepta la verificación de la Procuraduría Federal del Consumidor.
- Se realizará una revisión permanente al desempeño de este acuerdo en reuniones con empresas.

Se espera que estas acciones implementadas de manera correcta reduzcan el impacto de la inflación en el bienestar de la población, ya que este fenómeno económico si no es controlado, puede propiciar no solo la pérdida del poder adquisitivo de las personas, sino también de las empresas, y es posible que pueda desencadenar crisis económica. De acuerdo con Cherkasky (2022), la inflación puede ser resultado de restricciones asociadas a los menores niveles de producción. (p.7), de aquí que las acciones que se implementen deben buscar incentivar la producción de bienes de consumo básico e industrial, para contribuir a reducir la presión inflacionaria ocasionada por la demanda tanto de bienes finales como de materia prima.

Discusión.

Pensar en la inflación es pensar en un problema, no solo para las autoridades sino para toda la sociedad, que de acuerdo con Cherkasky (2022), la inflación es resultado de un menor nivel de producción, por lo que se puede argumentar que esto es precisamente lo que ha sucedido a nivel mundial, pues se redujo la producción por un lado por la COVID y por el otro por la escasez de materia prima, razón por la cual en el caso particular de México, las acciones que se implementaron se hicieron con el fin de tratar de frenar el incremento drástico de los precios de los productos, pues lo que se buscó ante todo fue incrementar la producción tanto de bienes finales como de bienes intermedios.

Por otra parte, como lo plantea Mayorga et al (2015) la producción es una Actividad mediante la cual uno o varios factores productivos se transforman en bienes y servicios. Eso es cierto cuando existen los recursos y materiales suficientes para llevar a cabo el proceso productivo, sin embargo esta producción puede verse afectado cuando, por un lado existe un exceso de demanda de bienes, pero por otro lado no se cuenta con materia prima suficiente para realizar la producción, por lo tanto se genera una escasez de la oferta, lo cual induce a un incremento en el precio de los productos, como una respuesta del mercado para realizar un ajuste que busca frenar esa demanda excesiva ante una escasez de la oferta, en los tiempos actuales se tiene que para el lado de la oferta hay un limitado acceso a las materias primas y un incremento en el costo de los energéticos, dando como resultado la reducción en la producción de los bienes.

De acuerdo con el Banco de México (2022) una de las causas que puede generar la inflación es la contracción en la oferta, esto es precisamente lo que ha sucedido en el caso de México ya que la inflación se ha generado por el lado de la oferta, razón por la cual se ha buscado incrementar la producción sobre todo de bienes de consumo básico, mediante acciones como: otorgar fertilizantes a los productores agrícolas, reducción del costo de los energéticos, reducción de aranceles para incrementar la entrada de alimento en el país y así poder estabilizar el proceso inflacionario.

En la teoría económica, se argumenta que cuando existe una demanda excesiva de los bienes y poca oferta, se utiliza el proceso de incremento de los precios para tratar de reducir su demanda, generando una consecuencia negativa en el bienestar de la población al disminuir su poder adquisitivo. Este incremento en el precio de los productos no solamente está ocurriendo en los satisfactores básicos, sino también en bienes como automóviles, maquinaria y tecnología, así como en productos nuevos, y en productos seminuevos, esto debido a esa escasez.

Esto mismo se puede analizar a través de la teoría de la producción mencionado por Mayorga (2015) en donde se establece que cuando existe escasez, y por consiguiente un incremento en el costo de los factores de producción, la oferta se contrae, repercutiendo también en los niveles de precios de los productos en el mercado, esto también es una fuente de generación de un proceso inflacionario, desde la perspectiva de la oferta, ya que el productor al observar que sus costos son mayores y que se reducirá su ganancia, disminuye su producción con el fin de impulsar el alza en el precio de los productos en el mercado, razón por la cual son importantes las estrategias que busquen estabilizar los precios de los insumos así como el incremento de productos en el mercado mediante la facilidad de las importaciones.

En este sentido en México se adoptaron las siguientes estrategias: paquete contra la inflación y la carestía (PACIC) y en octubre de ese mismo año se emitió el Acuerdo de Apertura contra la Inflación y la Carestía (APECIC). Algunos de los resultados del PACIC fue que en mayo del 2022 los precios de los bienes y servicios que componen el paquete contra la inflación y la carestía bajaron 0.9%, destacando las mayores reducciones en energéticos 3.49%, Electricidad 20.36% y Gas LP, 0.86%, en cuanto a los alimentos algunos de los que sufrieron una disminución son el limón con 37.7%, Cebolla 20.6% y Zanahorias, 2.2%.

Al contrastar estos resultados con lo que plantea Chopra y Meindl (2013). Donde establecen que la cadena de suministro involucra a diversos actores y que de su funcionamiento correcto depende también el aprovisionando con éxito hacia la empresa y el mercado, sin embargo en la actualidad se ha visto que la cadena de suministro se ha restringido porque por ejemplo ha habido problemas con el transporte, y el almacenamiento, lo cual da como resultado una reconfiguración del mercado, pues influye en el proceso de producción de los bienes, y de distribución, para que sea accesible a los consumidores finales, por tanto, al desequilibrarse la producción de materia prima, se reduce también la producción de bienes finales y entonces se ve afectado la cadena de suministro, ocasionando incrementos en el precio de los productos.

Cadena et. al (2020), establecen que la cadena de suministro implica un conjunto de elementos que interactúan entre sí desde información, así como materiales existentes en los procesos del proveedor inicial de materia prima, llegando hasta el consumidor final del producto, con lo cual se vinculan entre sí para incidir en los procesos productivos, es así que actualmente la situación de la cadena de suministro de acuerdo con la información recopilada se observa que tienen dificultades entre los diversos elementos que lo conforman, pues ha habido una ruptura en los procesos, por una escasez en el abastecimiento de las materias primas, afectando de manera individual a cada uno de los agentes que participan en la cadena de suministro. Vinculado a esa ruptura de la cadena de suministro Rosas (2020) plantea que una inflación alta es perjudicial no solo para la actividad económica, sino para el crecimiento económico de un país, que se refleja en la reducción del bienestar de la población, esto mismo ha sucedido a nivel mundial en donde las variaciones más altas de los precios fueron para productos como la carne, leche, cereales, aceite y azúcar, en el caso de México este efecto se vio reflejado en el incremento del precio de los productos básicos, como frijol, tortilla y huevo, ocasionando problemas, en el bienestar de las familias. Para el caso de México se ha previsto que crecerá en el 2023 un promedio de 3%, procurando que la inflación no sea mayor a 4.5%.

Del mismo modo con respecto a la inflación se identificó dos razones por las que ha ocurrido: a) se debe a la contracción de la oferta agregada b) y al incremento de la demanda agregada, esto claramente es lo que ha sucedido no solo en México sino a nivel mundial, pues la producción se redujo por las restricciones impuestas por los gobiernos, pero la demanda en vez de disminuir se incrementó, ejerciendo de esta manera presión sobre los precios iniciales de los productos, la reacción del mercado ante este desajuste es en primer lugar buscar un ajuste mediante el incremento de los precios, ya que la oferta se desplaza hacia arriba y la demanda hacia la derecha, lo que genera nuevos precios, pero mayores al original.

Y por último Guerrero (2021). Establece que “La crisis actual de las cadenas de suministro han afectado la producción a nivel mundial y por tanto afecta la inflación de los productos que se venden a nivel local en cada país debido a la escasez”, efectivamente los datos recabados muestran esta tendencia que plantea el autor, En el caso de México la inflación ha oscilado entre el 8.2% a 7%, hasta febrero del 2023, esto a pesar de que se ha incentivado acciones para impulsar la producción de los bienes básicos, pero como estos no han alcanzado su máximo parecido al de prepandemia, y la demanda sigue alta, entonces no se ha reducido tan rápido como se esperaría, esto también se debe que a nivel internacional todavía no se normaliza el flujo de materia prima y tampoco se ha estabilizado la cadena de suministro, ocasionado las variaciones en las tasas de inflación.

Conclusiones

El acceso a las materias primas en el proceso de producción es fundamental para tener un mercado dinamizado, es decir un mercado en el que se cuente con suficientes productos, para satisfacer la demanda que se genere, sin embargo, cuando no es posible acceder a los factores de producción a tiempo, esto ocasiona desajustes en los procesos de producción y en los mercados, pues se crea la escasez de bienes terminados, intermedios y de consumo directo, afectando de esta manera el bienestar de la sociedad, ya que esto repercute en el incremento de los precios de los productos. Razón por la cual la cadena de suministro juega un papel muy importante en todo este proceso, destacando que es necesario su adaptación y reacción ante las situaciones que se pudiesen presentar en toda la cadena de suministro y de distribución, con el fin de minimizar el impacto de la escasez de materia prima en la actividad de producción.

Pero también los productores de materias primas tendrán que elaborar planes de contingencia anticipados, para enfrentar problemas de naturaleza sanitaria.

Por lo tanto, es importante que los diversos actores involucrados en la cadena de suministro puedan invertir en mejores tecnologías, que sean flexibles y adaptables a sus entornos, con el fin de reaccionar de manera rápida ante cualquier eventualidad que se pudiese presentar, y así poder reducir el impacto negativo no solo en las empresas que dependen de las mercancías y recursos naturales, sino también para las mismas organizaciones que se dedican a la distribución.

Al mismo tiempo el control del incremento de los precios es fundamental, pues este problema económico tiene una gran repercusión en el bienestar de la sociedad, más si se llega a tener un proceso inflacionario de dos dígitos. Se destaca que, de acuerdo con la FAO, existen algunos productos básicos que han mostrado una tendencia hacia el alza de sus precios, los cuales son, los alimentos con un 150.4 por ciento, lo mismo que el índice de precio del azúcar alcanzó un 116.6%, en el 2022 comparado con el año anterior lo cual evidencia la inflación pues se incrementó el índice de precios.

Entonces es posible decir que la causa del proceso inflacionario y la escasez de la producción es debido a:

- Factores externos de la economía doméstica de cada país.
- Escasez de materia prima, para la producción, como ejemplo en la industria automotriz la falta de chip.
- El rompimiento o estancamiento de la cadena de suministro en algunos casos por falta de personal, en otros por la reacción tardía ante la eventualidad que se ha presentado.
- Reducir en las economías las actividades que no fueron catalogados como prioritarios.
- Falta de mayor inversión tecnológica en los actores que participan en la cadena de suministro.
- Toma de decisiones tardías por parte de las autoridades para reducir el proceso inflacionario.

Todas las acciones orientadas en este momento para reducir la inflación tendrán que ser principalmente para lograr el incremento de la oferta con la única finalidad de frenar la escasez y así poder equilibrar los precios, sin embargo, los precios de las mercancías no regresarán a nivel como estaban antes de la pandemia, pues los precios una vez que se incrementen, buscan su estabilidad más arriba de la que estaba de manera original. Sin embargo, es posible alcanzar niveles de inflación entre 4% y 4.5%, pero el valor del dinero será menor en el tiempo actual que antes de la pandemia.

Recomendaciones

Sin duda uno de los grandes retos que tienen los gobiernos ante la crisis inflacionaria que se está viviendo a nivel mundial, es pensar en políticas públicas que posibiliten la mitigación del impacto de este problema en la vida de las personas, con el fin de no ver reducido de manera drástica su poder adquisitivo. Sin embargo, lo que tienen que hacer las empresas privadas que participan del proceso de la cadena de suministro, es realizar una mayor inversión en tecnología, preparar todas sus áreas para ser más flexibles para reaccionar ante estas emergencias. En cuanto a la producción las empresas tendrán que buscar ser innovadoras, así como mejorar procesos para ser más productivos y eficientes, con el fin de contrarrestar el efecto del incremento de los costos de producción.

Desde luego las empresas hoy en día tendrán que considerar dentro de su plan estratégico acciones que puedan hacer frente a eventualidades como las pandemias, ya no es suficiente en pensar en estrategias solo para mitigar efectos económicos, sino también efectos de las enfermedades que cada día son más frecuentes, por la misma acción del ser humano para con la naturaleza, también se tendrá que rediseñar y repensar la planeación estratégica dentro de cada organización. Es importante considerar políticas de autosuficiencia en la producción de bienes y materias primas, con el fin de no depender en su totalidad del comercio mundial, mejorar los sistemas de salud y sobre todo incrementar la inversión en innovación empresarial. Es necesario que se genere una adecuada coordinación entre, Sociedad, gobierno y sector privado, para mirar por el bien común no solo del ser humano, sino de todos los seres vivos que están en el planeta.

Pensar por parte de las empresas en la economía circular, es una opción ya que con eso es posible disponer de materias primas para generar su proceso de producción y con eso reducir el impacto de las eventualidades en el mercado por la falta de bienes o servicios, pero también se estará contribuyendo con el cuidado del medio ambiente, al reducir los desperdicios.

En este momento que los precios se han incrementado, lo que se debería realizar por parte de la empresa es generar procesos productivos competitivos, mediante un reajuste en sus estrategias, y por otro lado que el gobierno impulse

mayores cambios en los salarios, es decir que las empresas extranjeras que inviertan en el país o estado paguen salarios dignos y suficientes para no perder en demasía el poder adquisitivo, que estas empresas generen innovaciones y no solo sea para ensamblar o manufacturar.

Es importante realizar acciones que permitan incrementar la producción dentro de la economía, tales como: impulsar innovaciones empresariales mediante subsidios, en este caso que el sistema de administración tributaria identifique empresas, que han reinvertido sus utilidades en nueva tecnología, y brindarles un subsidio. Proporcionar apoyo económico en el ámbito local a las empresas, micro y pequeñas, para generar producción y consolidar centros logísticos de distribución y prepararse para la aplicación de la economía circular.

Referencias Bibliográficas

- Banco Mundial (26 de abril de 2022). *Las perturbaciones de los precios de los alimentos y la energía causadas por la guerra de Ucrania podrían durar años, comunicado de prensa*. <https://bit.ly/49jZvYM>
- Banxico Educa (2022). Inflación, recuperado de <http://educa.banxico.org.mx/economia/inflacion-economia.html>
- Balanzategui García, A. I; Vega Flor, J.G; & López Naranjo, A.L (2022) Cadena de suministro de bienes y servicios en las empresas industriales. *Polo del conocimiento*, vol 7(1), pp 978-997.
- Calatayud, A; & Katz, R. (2019) Cadena de suministro 4.0, Mejores Prácticas Internacionales y hoja de ruta para América Latina. *Banco Interamericano de Desarrollo*. doi: <http://dx.doi.org/10.18235/0001956>
- Calderón, Brito, A., Quinde-Quinde, Érika, Orellana-Osorio, I., & Reyes-Clavijo, M. (2019). Determinantes de la inflación en Ecuador en el periodo 2000-2018. *UDA AKADEM*, 1(3), 35–64. <https://doi.org/10.33324/udaakadem.v1i3.202>
- Cadena, J.L; Llumiquinga, K.S; Sarzosa, M.D. & Sarrade, F. (2020) Análisis de la cadena de suministro de las grandes empresas del sector de alojamiento y servicios de comida en el distrito metropolitano de Quito-Ecuador, *Revista Espacios*, v.41(34) 2020.
- CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis (25 de mayo de 2022). *World trade monitor march 2022*. <https://www.cpb.nl/en/world-trade-monitor-march-2022>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (6 de agosto de 2020). *Los efectos del COVID-19 en el comercio internacional y la logística*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45877/1/S2000497_es.pdf
- Cherkasky, M. (2022). Inflación global en el bienio 2021-2022 y su impacto en América Latina, *serie estudios y perspectivas*. Oficina de la CEPAL en la Argentina, No. 55 (LC/TS.2022/169, LC/BUE/TS. 2022/16) Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.
- De la Ossa Escobar, S. A. & Fría Fabra, F. F. (2022). Cadena de suministro internacional y sus retos para las empresas frente a la pandemia COVID-19. [Trabajo de grado modalidad Monografía], Universidad De Córdoba – Campus Montería.
- Díaz, C.A. (2017) Gestión de la Cadena de Abastecimiento, Fundación universitaria del área andina, Bogotá D.C, primera edición, edición. Fondo editorial Areandino.
- Esquivel, G. (2020) Los impactos económicos de la pandemia en México, <https://cutt.ly/0wZ0PemL>
- Fontalvo-Herrera, T., De-la-Hoz-Granadillo, E., & Mendoza-Mendoza, A. (2019). Los Procesos Logísticos y La Administración de la Cadena de Suministro. *Saber, Ciencia Y Libertad*, 14(2), 102–112. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2019v14n2.5880>
- Georgieva, Kristalina; Celasun, Oya & Kammer, Alfred (18 de febrero 2022) Las interrupciones del suministro aumenta la inflación y obstaculiza la recuperación en Europa. *Blogs, Fondo Monetario Internacional*. <https://acortar.link/QDEzYn>
- Gobierno de México. (12 de mayo 2023). *Paquete contra la inflación y la carestía (PACIC)* <https://cutt.ly/NwZ0PAXl>
- Gobierno de México. (12 de mayo 2023). *Acuerdo de Apertura contra la Inflación y la Carestía* <https://www.gob.mx/presidencia/documentos/acuerdo-de-apertura-contr-la-inflacion-y-la-carestia-apepic>
- González Arispe, J.L. (2019). La cadena de suministro verde: Su importancia e integración en las organizaciones contemporáneas. *DAENA: International Journal Of Good Conscience*. 14 (1) pp 920-334, junio 2019.
- Gómez-Montoya, R. A., Zuluaga-Mazo, A., Ceballos-Atehortua, N. P., & Palacio-Jiménez, D. (2019). Gestión de la cadena de suministros y productividad en la literatura científica. *I+D Revista De Investigaciones*, 14(2), pp 40–51. <https://doi.org/10.33304/revinv.v14n2-2019004>
- Guerrero Sánchez, P., & Pérez Mayo, A. R. (2022). Complexity and scarcity in supply chains as a consequence of the Just-In-Time model. *Religación. Revista De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 7(31), e210881. <https://doi.org/10.46652/rgn.v7i31.881>

- Guerrero Sánchez, P (22 de noviembre de 2021). *Crisis de las cadenas de suministros, complejidad, inflación y afectación en las PYMES*. <https://cutt.ly/1wZ0AepU>
- Hasbum, I; Arevalo Pena, J; Brenes Rojas, A.A; Chavarria Cordero, R; Leiva Chinchilla, M.E; Sánchez Tobal, F; Valerio Zúñiga, J.P; Viquez Dormond, L.F. (2022) Impacto del COVID-19 en la cadena de suministro: Metodologías y estrategias aplicadas por las empresas antes y durante la pandemia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, especial COVID-19, mayo 2022, pp. 196-204. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.5337>
- Hernández Gaitán, J.; Monsalve Dávila, M.P.; y Barrientos Monsalve, E. (2019) Análisis de la inflación de la ciudad de Cúcuta en el 2014 a 2018. *Reflexiones contables UFPS*, vol 2 (1) pp 46-58, <https://doi.org/10.22463/26655543.3712>
- Kilpatrick, J. & Barter, L. (2020). COVID -19: Gestión del riesgo y las interrupciones en la cadena de suministro. Deloitte.
- Leija Monreal, K.N.; Chávez Paredes, P.; Galindo Lozano, P.; Martínez González, P.V.; Y Nava Aguirre, K.M. (2022) Escasez de Chips en la industria de electrodomésticos y su impacto en la inversión extranjera directa: El caso de Nuevo León México. *Revista academia y negocios*. Vol. 8(2) pp.163-182. <https://www.redalyc.org/journal/5608/560872306009/560872306009.pdf>
- Manrique Nugent, M.A.; Teves Quispe, J.; Taco Llave, A.M.; Flores Morales, J. A. (2019) Gestión de Cadena de Suministro: Una mirada desde la perspectiva teórica, Revista venezolana de gerencia. Universidad del Zulia. <https://www.redalyc.org/journal/290/29062051009/html/>
- Méndez Urich, L. (15 de octubre 2021). *Preocupación por crisis en la cadena de suministros a nivel global en medio de una alta demanda*. France 24. <https://bitly.ws/3bxAT>
- Rosas Rojas, E. (2020) Los efectos asimétricos de la inflación, la incertidumbre inflacionaria y el crecimiento económico en México. *Análisis Económico*, Vol. 35, Núm. 90, septiembre-diciembre 2020, pp 45-66.
- Rosas Rojas, E., y López González, T. (2018). Inflación e incertidumbre inflacionaria: la postura del Banco de México, 1969-2017. *Revista Finanzas Y Política Económica*, 10(2), 349-372. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2018.10.2.6>
- Rodriguez, K. G; Ortiz, O.J.; Quiroz, A. I; Parrales, M. L. (2020). El e-commerce y las Mipymes en tiempos de Covid-19. *Revista Espacios*, 41(42), 1-19 <https://revistaespacios.com/a20v41n42/a20v41n42p09.pdf>
- Rodriguez Contreras, R. y Molina Roma, O. (2023) Indexación y adaptación de la negociación colectiva sectorial a la crisis de inflación. *Anuario iet de trabajo y relaciones laborales*. Vol. 9, pp-49-72 <https://doi.org/10.5565/rev/aiet.113>
- Sánchez Suárez, Yasniel; Pérez Castañeira, Jessie A; Sangroni Laguardia, Naylet; Cruz Blanco, Cesar y Medina Nogueira, Yuly E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, ISSN 1815-5936. Vol. XLII, No. 1, Enero-Marzo (2021)
- Sánchez Flores, R.B y Serna, G.E. (2021). *The impact of COVID-19 on supply Chain Management*. Richard wilding (ed). <https://doi.org/10.51432/978-1-8381524-2-0-1>
- Tudela, J y Basurto, S (2021). Crisis en la cadena global de suministro, Moneda, *Revista de Comercio exterior*, diciembre 2021. <https://bit.ly/3w13Txs>
- Treviño Rozas, J.G. (2021) *Factores productivos y rentabilidad de la producción agrícola de piña en el centro poblado de pilcopata, distrito de kosñipata, provincia de Paucartambo-cusco,2018*. [tesis para optar por el título profesional de economista, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco] Repositorio institucional-UNSAAC. <https://bit.ly/3vWommZ>
- Valenzuela, María E.; y Reinecke, Gerhard (2021). Impacto de la COVID-19 en cadenas mundiales de suministro en América Latina: Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Organización Mundial del Trabajo. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_771742.pdf
- Valenzo Jiménez, M.A.; Béjar Tinoco, V. & Martínez Arroyo, j.A. (2023) Análisis de la Competitividad del sector hotelero en Michoacán a través de las tecnologías de la información de la cadena de suministro. *Repositorio De La Red Internacional De Investigadores En Competitividad*, 16(16), 1667-1688. Recuperado a partir de <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/2179>
- World trade organization (2022).Merchandiseexports by product group-annual (million us dollar). *Wto stats*. <https://stats.wto.org/>



TÉCNICAS DE COCCIÓN Y FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA CARNE DE CERDO

Carlos Daniel Basto-Us¹, Fidel Morales-Couoh²,
Orlando Adrián Chan-May³, Lilian Viviana Catzin-Navarrete⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 29/01/2024 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a8>

Resumen.- La ganadería intensiva ha revolucionado la producción y consumo de carne, consolidándose como una fuente esencial de grasas y proteínas. Este trabajo recopila datos sobre las técnicas de cocción, su influencia en las propiedades nutricionales de la carne porcina y los factores que inciden en su calidad. Los métodos de cocción de la carne de cerdo resultan en pérdidas considerables de materia, las cuales varían dependiendo del proceso y el músculo utilizado. También pueden provocar la desnaturalización de proteínas y afectar sus propiedades físicas, incluyendo la distribución del agua, textura y color. Estos métodos de cocción afectan las propiedades sensoriales y la composición nutricional, incluso las reacciones químicas, como la de Maillard, encargada de generar sabores y aromas distintivos. La intensidad de esta reacción aumenta en la medida que el tiempo y la temperatura se incrementan. Las variaciones en las propiedades nutricionales destacan la necesidad de elegir la técnica adecuada para cocinar la carne porcina, además de considerar el sabor y textura. Los métodos de cocción desempeñan un papel crucial en la variación de la calidad nutricional de la carne de cerdo.

Palabras Clave: Carne, cerdo, cocción, proteínas, grasas.

COOKING TECHNIQUES AND FACTORS AFFECTING THE QUALITY OF PORK

Abstract.- Intensive livestock farming has revolutionized meat production and consumption, establishing itself as an essential source of fats and proteins. This work compiles data on cooking techniques, their influence on the nutritional properties of pork, and the factors that impact its quality. Cooking methods for pork result in considerable losses of matter, which vary depending on the process and the muscle used. They can also lead to protein denaturation and affect its physical properties, including water distribution, texture, and color. These cooking methods affect sensory properties and nutritional composition, including chemical reactions such as the Maillard reaction, responsible for generating distinctive flavors and aromas. The intensity of this reaction increases as time and temperature increase. Variations in nutritional properties highlight the need to choose the appropriate technique for cooking pork, in addition to considering flavor and texture. Cooking methods play a crucial role in varying the nutritional quality of pork.

Keywords: Meat, pork, cooking, proteins, fats.

Introducción

La cría intensiva de animales ha cambiado la perspectiva y enfoque sobre la producción y consumo de carne, debido a la cría de una gran variedad de especies, destinadas para el consumo humano (Broad, 2020) y la urbanización; se estima que en los próximos diez años habrá un incremento en el consumo de carne (OECD/FAO, 2021).

La carne es una fuente significativa de grasas, proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, destacados como la vitamina A, complejo B, zinc, selenio, hierro, fósforo y cobre, todos fundamentales para mantener una dieta equilibrada y nutritiva (Smith et al., 2022). La calidad de la carne de cerdo está determinada por factores como el bienestar, manejo de los animales y la composición genética (Auqui et al., 2019; Martins et al., 2020; Večerek et al., 2020). La cocción de la carne desencadena una serie de reacciones químicas, siendo la reacción de Maillard una de las más relevantes. Está reacción, influenciada por factores como tiempo y temperatura, resulta en la formación de compuestos volátiles que confieren a la carne su característico sabor y aroma. Además, la cocción a altas temperaturas

¹Estudiante del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. Correo: l.201t0019@suryucatan.tecnm.mx
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9732-8668>

²Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. fmorales@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3424-7656>

³Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. ochan@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8120-6945>

⁴Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. lcatzin@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0003-1014-3040> (**Autor Corresponsal**).

puede provocar una mayor oxidación de los lípidos en la carne, lo que puede influir en la calidad y sabor final del producto (Wang et al., 2023; Cheng et al., 2023).

La cocción de la carne implica una pérdida considerable de materia; estos rendimientos varían según el corte y proceso efectuado (Gerber et al., 2009). La aplicación de diversos métodos de cocción puede resultar en la desnaturalización de proteínas, lo que altera la estructura de la carne y tiene un impacto en sus propiedades físicas, incluyendo la distribución del agua, la textura y el color (Song et al., 2021). Por ejemplo, en el asado, a temperaturas más elevadas, la carne pierde humedad y concentra una mayor cantidad de grasas extraíbles (Gaffield et al., 2020). Mientras que al freír lonchas de cerdo, la composición de la carne, ya sea magra o grasa, afecta la migración del agua durante la cocción, lo que tiene implicaciones importantes para la textura y jugosidad del producto final (Wang et al., 2021). Asimismo, en la cocción al vacío existen diferencias notables en humedad, contenido graso y proteínas entre la carne cruda y cocida (Rezler et al., 2023). Ahora bien, Afé et al. (2021) indican que los compuestos químicos presentes en el humo, como fenoles y aldehídos, no solo influyen en el sabor y aroma, sino que también pueden extender la vida útil del producto al inhibir el crecimiento de bacterias, aunque esto implica cambios en las propiedades nutricionales.

La presente investigación documental describe algunos de los métodos de cocción de la carne de cerdo, los factores que afectan la composición nutricional antes y después de la cocción y la influencia de la reacción de Maillard en estos métodos. Dada la importancia de la carne de cerdo como fuente principal de alimentación es conveniente comprender aquellos cambios en sus propiedades para generar la menor pérdida posible en su contenido nutricional.

Materiales y métodos

Este artículo se enfocó principalmente en la revisión de artículos científicos recientes listados en el *Journal Citation Reports*. En la fase inicial, se llevó a cabo una búsqueda selectiva de estudios publicados en los últimos cinco años que abordaran específicamente aspectos relevantes sobre la carne de cerdo. Se enfatizó en la comprensión del impacto de diversas técnicas de cocción, la composición nutricional de la carne, así como la reacción de Maillard y los factores determinantes durante el proceso de cocción. Posteriormente, se analizó cada artículo, centrándose particularmente en las secciones de resultados y discusión, para identificar las contribuciones y hallazgos más relevantes en el tema. La estructura del artículo se diseñó con el objetivo de presentar la información de manera lógica y comprensible al lector. Las citas se hicieron siguiendo la séptima edición de la norma APA.

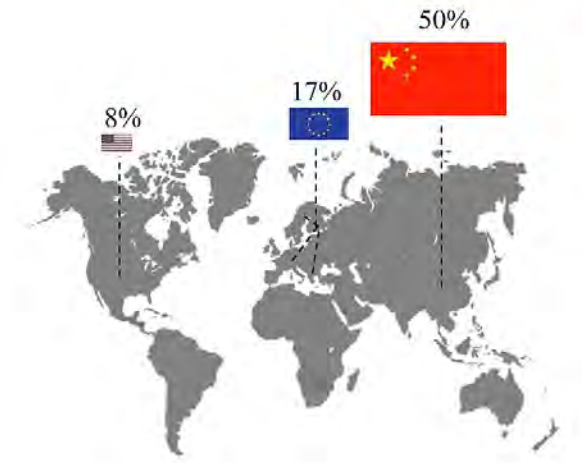
Resultados y discusión

Carne

En las últimas décadas se ha producido un cambio notable en la percepción y en las prácticas sociales relacionadas con la producción y consumo de carne, principalmente debido al surgimiento de la ganadería intensiva, un término que hace referencia a la producción masiva de animales de granja (Broad, 2020). Según la OECD/FAO (2021) el consumo de carne está influenciado por una serie de factores como el crecimiento demográfico y la urbanización, incluso los ingresos, precios, consideraciones éticas y de salud. Asimismo, se advierte que el crecimiento demográfico se rige como el principal motor del aumento en el consumo, y se proyecta un incremento del 11% a nivel mundial, que contribuirá a un aumento del 14% en el consumo total de carne para el año 2030. De igual modo, la producción de carne, se espera que para 2030 llegue a casi 44 millones de toneladas adicionales, alcanzando un total de 373 millones de toneladas. En la Figura 1 se muestra el mercado mundial de la carne de cerdo, el cual está dominado por China, la Unión Europea y Estados Unidos.

La carne engloba los músculos esqueléticos y tejidos afines de una amplia gama de especies animales, incluyendo mamíferos, aves, reptiles, anfibios y criaturas acuáticas, que generalmente se crían para el consumo humano (Broad, 2020). La carne es una fuente esencial de grasas, representando el 29% del consumo global, y de proteínas, aportando el 21% a nivel mundial; también contribuye del 16% al 32% de la disponibilidad global de aminoácidos esenciales. La carne contribuye principalmente en vitamina A y varias del complejo B, así como en minerales como zinc, selenio, hierro, fósforo y cobre, que son esenciales para una dieta equilibrada y nutritiva (Smith et al., 2022). Por su parte Ma et al. (2019b) señalan que el procesamiento de la carne de cerdo modifica el aspecto físico y conlleva una oxidación natural de la carne, lo que provoca un oscurecimiento en su apariencia; incluso, observaron una variación significativa en el contenido de proteínas, dependiendo del tipo y tiempo del procesamiento.

Figura 1. Principales mercados de la carne de cerdo a nivel mundial.



Nota. Elaboración propia a partir de Govoni et al. (2022).

Sin embargo, la preservación de nutrientes en la carne de cerdo es influenciada por el agua retenida en ella, así como en su calidad y formación de tejido muscular; incluso, la resistencia al corte refleja la ternura de la carne. Duan et al. (2023) advierten que la cantidad de grasa, proteínas, colesterol y ácidos grasos, presentes en la carne de cerdo, proporcionan información sobre sus propiedades nutricionales. En la Figura 2, de acuerdo a los consumidores, se puede observar una carne de cerdo de calidad, ya que, a menudo, suelen asociar al momento de elegir la carne a comprar, el tono, textura y marmoleo visual sobresaliente con carne más tierna, jugosa y sabrosa; no obstante, el marmoleo visual en la carne de cerdo no influye tanto en su calidad (Duan et al., 2023; Gaffield et al., 2020). Si bien estos factores afectan la calidad de la carne, el más crucial de acuerdo a Gaffield et al. (2020) es la temperatura de cocción.

Figura 2. Carne de cerdo de calidad según los consumidores.



Nota. Elaboración propia a partir de Gaffield et al. (2020).

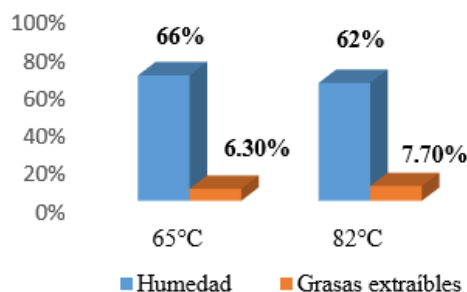
Técnicas de cocción

Los rendimientos de cocción varían según el músculo y el proceso empleado, y conllevan a una pérdida sistemática y significativa de materia. La cocción también induce cambios estructurales que afectan la capacidad de retención de agua, provocando una variación considerable en el contenido de grasa en comparación con los cortes crudos. En cuanto a los minerales, se presenta una disminución en calcio, sodio, potasio, magnesio y fósforo, cuando se prepara usando agua en forma de vapor. Es importante destacar que al cocinar carne con utensilios de acero inoxidable se observa un aumento en el contenido de hierro. En general, las condiciones de cocción juegan un papel crucial en las pérdidas de vitaminas en la carne, especialmente para las vitaminas solubles en grasa (Gerber et al., 2009). Las diferentes técnicas de cocción, temperaturas internas y el tipo de músculo tienen un impacto significativo en la pérdida de agua, la ternura y otros atributos de la carne de cerdo (Cauble et al., 2021). Incluso puede provocar la desnaturalización de proteínas, lo que resulta en alteraciones en la estructura de la carne y repercute en sus características físicas, como la distribución del agua, la textura y el color (Song et al., 2021). Doležalová et al. (2023) añaden que la transferencia de calor y la duración (tiempo) son importantes en el proceso de cocción debido a que evita la aparición de bacterias y hongos.

Asado

Gaffield et al. (2020) reportaron que los asados de cerdo cocinados a 82 °C tenían 1.4 % más de grasas extraíbles en comparación a los cocinados a 65 °C. En cuanto a la temperatura del asado se observó que cuando aumentaba la temperatura, lo hacían de igual forma las grasas extraíbles, mientras que la humedad descendía (Figura 3). Durante la cocción por el método asado de chuletas de cerdo se perdió humedad, lo que hace que los lípidos extraíbles se concentren (Gaffield et al., 2020). Por su parte, Gerber et al. (2009) encontraron que los jugos de cocción producidos durante el calentamiento, están compuestos de agua que contienen proteínas miofibrilares o sarcoplásmicas, colágeno, lípidos, sal, polifosfatos y componentes aromáticos. Estas pérdidas aumentan con la temperatura y el tiempo de cocción, lo que da una explicación de manera general de cómo se relacionan los rendimientos con el proceso de cocción. De igual forma, se observó que los índices de rendimiento variaron dependiendo del tipo de músculo, por ejemplo, el filete de cuello registró la mayor disminución de peso durante el proceso de cocción.

Figura 3. Comparación de humedad y grasas extraíbles de la chuleta asada a dos temperaturas.



Nota. Elaboración propia a partir de Gaffield et al. (2020).

Neill et al. (2022) compararon 6 muestras de lomo de cerdo de 2 cm de grosor, las cuales se cocieron por el método de asado a 180°C por 15 minutos aproximadamente sin la adición de condimentos; en este trabajo no se observó diferencias significativas en la concentración de vitaminas D en comparación con la carne cruda. En la tabla 1 se muestra dos tipos de corte en la cual el proceso de cocción y el equipo fue el mismo, pero el rendimiento fue diferente. El filete del cuello tuvo un menor rendimiento comparado con la panceta de cerdo.

Tabla 1. Comparación de rendimientos de cocción en dos cortes de carne de cerdo.

Tipo de corte	Proceso de cocción	Equipo	Rendimiento (%)
Filete de cuello	Asado a 72 °C	Parrilla	67.6 ± 1.88
Panceta	Asado a 72 °C	Parrilla	75.1 ± 2.92

Nota: Adaptado de Gerber et al. (2009).

Freír (aire y salteado)

Estudios realizados por Wang et al. (2021) en lonchas de cerdo salteadas advierten que la carne magra es rica en proteínas y de tejido muscular denso, mientras que la carne pura de grasa tiene una estructura más suelta y contiene mayor cantidad de grasa. Incluso, la carne magra sin mezclar mostró mayor contenido de agua (74.88%), en contraste con la carne pura de grasa que presentó el contenido de agua más bajo (6.73%). Asimismo, las muestras compuestas de carne magra y grasa en una proporción de 3:1 y 1:1 experimentaron una marcada reducción en su contenido de agua a 0.77% y 0.55% respectivamente, después de 30 minutos de cocción. Paralelamente, el contenido de grasa en carne magra pura aumentó progresivamente con la extensión del tiempo de cocción mientras que, en la carne grasa se observó una reducción inicial del contenido de grasa en los primeros 30 minutos del 64%, seguida de un aumento de 70% en 60 minutos. Las proporciones de carne magra y grasa tuvieron un porcentaje similar. Los cambios en el contenido de agua, grasa, composición y estructura influyen en la migración del agua durante la cocción (Tabla 2).

Bejerholm y Aaslyng (2004) examinaron el efecto de freír carne de cerdo en forma de hamburguesas y filetes en una sartén. La reacción de Maillard en la superficie de la carne contribuye al característico sabor y aroma de carne asada. Sin embargo, en el caso de las hamburguesas, se observó una alteración en la textura debido a la descomposición de las estructuras musculares causada por el proceso de molienda. Asimismo, el estudio realizado por Neill et al. (2022) en la que se manejó lomo de cerdo por el método de freír en una cacerola con 5 g de aceite vegetal a temperatura media

por 10 minutos aproximadamente, no se observaron diferencias significativas en la concentración de vitaminas D en comparación con la carne cruda, según las seis muestras analizadas de lomo de cerdo. Sin embargo, Cheng et al. (2023) observaron diferencias significativas en el grado de oxidación entre los distintos métodos de cocción, en la que las muestras sometidas a fritura al aire mostraron niveles de oxidación considerablemente altos en la carne de cerdo tibetana, debido a que se utiliza aire caliente, favoreciendo la interacción entre el oxígeno y los componentes de la carne y, a su vez, promoviendo la oxidación de los lípidos.

Tabla 2. Comparación de migración de agua en dos tipos de muestras de carne de cerdo durante la cocción.

Tipo de muestra	Composición	Estructura	Migración de agua	Contenido de agua
Carne Magra	Alta en proteínas y tejido muscular	Compacta	Menor migración	74.88%
Carne Grasa	Alta en grasa y citoplasma graso	Suelta	Mayor migración	6.73%

Nota: Elaboración propia a partir de Wang et al. (2021).

Así, el método de cocción parece generar una menor pérdida de humedad en comparación con otros métodos. Esta característica podría tener implicaciones nutricionales significativas, ya que un tiempo de cocción más breve podría resultar en la retención de un mayor contenido de nutrientes en el producto final (Bejerholm y Aaslyng, 2004).

Ahumado

Existen dos tipos de procesos de ahumado: el frío, donde la temperatura del producto no excede los 30°C, y el caliente, que implica la cocción del alimento. El ahumado es un método de conservación de alimentos que se emplea para prolongar su durabilidad al reducir la humedad y la presencia de microorganismos, y es utilizado para realzar las características sensoriales, como sabor, aroma y aspecto en alimentos. Durante este proceso generado por la quema parcial de madera, los productos se exponen aproximadamente 380 compuestos, algunos de estos, como los fenoles, carbonilos, derivados furánicos, ácidos orgánicos y sus ésteres, influyen en la calidad sensorial y pueden incluso prolongar la vida útil del producto al inhibir el crecimiento de bacterias que lo deterioran (Afé et al., 2021).

Un estudio llevado a cabo por Migdal et al. (2020) reveló notables variaciones en la composición nutricional de los solomillos ahumados tradicionales, dependiendo de la raza de cerdo. Específicamente, se identificaron diferencias en los niveles de proteínas y grasas entre las muestras procedentes de las razas Pulawska, Zlotnicka Blanca y Zlotnicka Manchada. Los solomillos de cerdos Pulawska presentaron una menor proporción de grasa en comparación con los obtenidos de cerdos de las razas Zlotnicka Blanca y Manchada. Esto indica el impacto que la raza de cerdo tiene en la composición de nutrientes de la carne, un aspecto crucial en la percepción de calidad por parte de los consumidores.

Horneado

La evaluación de la calidad sensorial de la carne se ve influenciada por la temperatura interna durante la cocción y la técnica utilizada. Se comparó la cocción en horno con la fritura en sartén, se observó que la primera da lugar a un color más oscuro mientras que las características de textura y jugosidad varían significativamente entre las muestras cocidas a diferentes temperaturas como 65, 75 y 80 °C entre los músculos lomo dorsal y bíceps femoral. La textura aumenta en el bíceps femoral al elevar la temperatura de 75 a 80 °C, mientras que en el lomo dorsal disminuye. Esta disparidad puede atribuirse a las divergencias en el contenido y solubilidad del tejido conectivo entre los dos músculos, lo que influye en la textura a distintas temperaturas. Las variaciones más significativas se aprecian en la textura y jugosidad a 75 °C (Bejerholm y Aaslyng, 2004).

Bejerholm y Aaslyng (2004) indicaron que la cocción de la carne de cerdo en horno a 90°C resultó con menor pérdida de humedad en comparación con la cocción a 140°C en el horno, lo que condujo a una mayor pérdida de cocción. Este último método puede generar una coloración intensa y una textura menos suave y jugosa. Además, la cocción a altas temperaturas implica una mayor pérdida de nutrientes debido al intenso calor. De acuerdo a Ivić et al. (2019) al evaluar sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), se observó un incremento en la oxidación lipídica. Inclusive la exposición a una temperatura de 163°C, resultó en niveles significativamente superiores en las chuletas de cerdo lo que sugiere que el horneado a temperaturas elevadas podría potenciar la oxidación lipídica.

Hervido

El método de hervido se basa en el uso de agua como medio de calentamiento. La presencia de agua facilita la reacción entre los aminoácidos y los productos de oxidación de lípidos en la carne de cerdo, lo que contribuye al elevado nivel de oxidación de las proteínas (Cheng et al., 2023). Un estudio realizado por Kim et al (2018), en el lomo de cerdo, indica que es importante mantener una temperatura final interna de 75°C, debido a que juega un papel significativo en la pérdida de agua.

Durante el proceso de cocción de la carne de cerdo mediante el método de hervido se observó una disminución en los niveles de proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares en la que la segunda fue superior en cuanto a pérdidas de proteínas comparado con la primera. La tasa de reducción en los contenidos de proteínas sarcoplasmáticas se ralentizó después de aproximadamente 9 minutos de cocción, mientras que en el caso de las proteínas miofibrilares, se ralentizó después de aproximadamente 20 minutos de cocción (Ma et al., 2019a). Asimismo, el método de hervido resultó en una menor emisión de partículas en comparación con los procedimientos de asar y freír, dado a que evita que la grasa se libere durante la cocción y se disperse en el aire, aunque este método puede aún producir partículas, su impacto en la calidad del aire interior parece ser menor que el de otras técnicas de cocción (Won et al., 2020).

Cocción al vacío

Rezler et al. (2023) identificaron diferencias en los niveles de humedad, contenido graso, materia seca sin grasa y proteínas entre la carne cocinada, así como la carne en su estado crudo. Inicialmente, se evidenció que la carne sin procesar exhibía el más alto porcentaje de humedad, lo que marcaba una distinción notable en comparación con las muestras tratadas mediante ambos métodos de cocción. Asimismo, indican que durante el proceso de cocción al vacío se observaron cambios significativos en la composición esencial de las muestras de carne de cerdo. Se observó una reducción del contenido de agua en las muestras cocidas al vacío en diferentes intervalos de tiempo, variando entre el 23.19% y el 26.72%. A medida que el tiempo de cocción aumenta, se evidenció un aumento leve en la pérdida de agua. En cuanto a vitaminas D, Neill et al. (2022) no encontraron diferencias significativas en la concentración en contraste con la carne cruda, según las seis muestras analizadas en la que se manejó lomo de cerdo por el método al vacío a 60°C por aproximadamente 1 hora. Las muestras de carne sometidas a cocción al vacío tuvieron un aumento tanto de temperatura como del tiempo de cocción (Hwang et al., 2019; Kurp et al., 2022).

La variación en el contenido proteico de la carne se debe a la pérdida de humedad durante el proceso de cocción al vacío. Este fenómeno se origina por la mayor expulsión de agua y otros componentes presentes en la carne, como proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, colágeno, lípidos, vitaminas, minerales y compuestos que contribuyen al sabor (Rezler et al., 2023). Estos resultados coinciden con Gerber et al. (2009) y (Aaslyng et al., 2003) que indican que la temperatura tiene impacto en la capacidad de la carne para retener agua y, por lo tanto, proteínas.

Cocción a vapor

Cocinar la carne en una olla obtuvo resultados semejantes en términos de pérdida de humedad en contraste con hornear a temperaturas altas. Aunque ofrece una textura y jugosidad superiores en comparación con la fritura en sartén, no alcanza la misma eficacia que cocinar a baja temperatura. Respecto a la nutrición, cocinar en una olla podría preservar los nutrientes al realizarse en un entorno sellado y en presencia de líquidos (Bejerholm y Aaslyng, 2004). Durante el proceso de cocción, la principal pérdida de agua ocurre debido a la liberación de líquidos provocada por la alteración de las proteínas. Esta transformación conlleva una reducción en la capacidad de solubilidad de las proteínas musculares, ya que forman conglomerados insolubles que no pueden ser recuperados. Cuando las proteínas se desnaturalizan de manera significativa, pierden su habilidad para retener agua, lo que resulta en una disminución de la humedad. Esta desnaturalización térmica desencadena modificaciones en la estructura y en el estado del agua en la carne (Song et al., 2021). Por otro lado, al evaluar diferentes tiempos y temperaturas durante la cocción de lomo de cerdo, se obtuvo que la textura y dureza aumentó conforme la temperatura se incrementaba (Ruirui et al., 2019).

Los experimentos de Song et al. (2021) sobre cocción de chuletas de cerdo al vapor indican que se perdió una parte considerable de humedad originada en los jugos expulsados por la desnaturalización de las proteínas. Los cambios en la solubilidad de las proteínas del músculo indican un incremento en la desnaturalización de estas, dado que su solubilidad disminuye a causa de la formación de agregados proteicos que no pueden ser disueltos. Por lo que al afectar la desnaturalización también se repercute en la retención de agua y, en consecuencia, en mayor pérdida de humedad.

Microondas

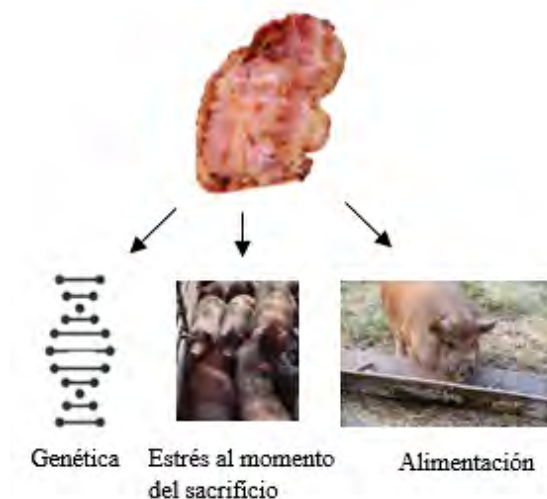
Lian et al. (2023) evaluaron el efecto del tiempo de exposición a microondas en la composición y calidad de los productos de cerdo, observando que la grasa constituye alrededor del 80% del peso total del producto. El volumen de las muestras tratadas con microondas disminuyó y su color cambió, pasando de blanco a marrón oscuro. Se evidenció una mejora en la pérdida de grasa y la temperatura central al aumentar el tiempo de exposición a microondas. Asimismo, observaron un incremento en la oxidación de lípidos a medida que aumentaba el tiempo de exposición a microondas lo que indica que el tratamiento tuvo un impacto en el proceso de oxidación de los lípidos en los productos cárnicos. En el análisis del perfil de ácidos grasos, se detectaron cambios significativos con el tratamiento de microondas. Los ácidos grasos saturados experimentaron un aumento, mientras que los monoinsaturados y poliinsaturados mostraron una disminución, posiblemente debido a la descomposición térmica de los compuestos de sabor volátiles producidos por los ácidos grasos poliinsaturados.

Wang et al. (2020) evaluaron aspectos clave acerca de la carne de cerdo por microondas y la combinación de microondas con calor convencional. En cuanto a la ternura, se observó que la carne cocida con microondas resultó menos tierna que la tratada con el método combinado, indicando posibles variaciones en la transferencia de calor. Además, la cocción por microondas conllevó una mayor pérdida de agua y un menor contenido de humedad, lo que se tradujo en una carne menos jugosa y tierna. Al examinar la distribución del agua, se constató que la muestra cocida con la combinación de métodos presentó una proporción más elevada de agua inmovilizada. Estos resultados destacan la influencia significativa de los métodos de cocción en la textura y calidad de la carne, subrayando la ventaja del enfoque combinado en términos de retención de agua y ternura. Empero, se advierte que la cocción mediante microondas provocó un incremento en la hidrofobicidad de la superficie de las proteínas, indicando una mayor exposición de grupos hidrofóbicos en comparación con otras técnicas de cocción. Este cambio en la hidrofobicidad implica una modificación en la estructura proteica. Estos ajustes en la estructura de las proteínas pueden influir en la formación de una red gelatinosa más fuerte y resistente al calor por lo que este fenómeno podría contribuir a una mayor capacidad de retención de agua y una mayor ternura en la carne cocida con microondas en comparación con otras técnicas culinarias.

Factores que afectan la calidad de la carne antes y durante su cocción

La suavidad de la carne después de cocinar depende de la textura inicial de la carne fresca, el proceso de envejecimiento después del sacrificio y la técnica utilizada durante la cocción (Ježek et al., 2019). En la figura 4 se observan algunos factores que pueden ocasionar variaciones en la pérdida por cocción, como el estrés al momento del sacrificio, la alimentación y la genética.

Figura 4. Factores que afectan la cocción de la carne.



Nota. Elaboración propia a partir de Gaffield et al. (2020).

Antes del sacrificio es común encontrar suciedad en el cuerpo y lesiones cutáneas, mientras que después del sacrificio, las afecciones respiratorias como la pleuresía y la neumonía son las más visibles, por eso es relevante un adecuado manejo y transporte de los animales en el proceso de producción (Ghidini et al., 2021). Večerek et al. (2020) señalan

que en los cerdos para engorda se puede observar daños en áreas como los pulmones, riñones e hígado, posiblemente debido a las condiciones de cría intensiva y la exposición al polvo.

El estudio realizado por Martins et al. (2020) indica que la raza es un factor esencial al momento de obtener una carne de calidad. Para ello se comparó el crecimiento, las características del canal y la calidad de la carne entre cerdos de las razas Alentejano y Bísaro, así como los cruzamientos entre ellas. En los primeros, el crecimiento es lento, pero tienen más grasa intramuscular, lo que mejora la terneza y calidad de la carne; mientras que los cerdos Bísaro tienen un mayor rendimiento en cortes magros y menos grasa, haciéndolos más adecuados para productos curados de alta calidad; y los cruces entre razas muestran características intermedias, lo que sugiere que podrían ofrecer beneficios tanto en términos de calidad de carne como de rendimiento comercial, siendo una estrategia prometedora para los agricultores y para la sostenibilidad de la producción porcina local.

En este mismo sentido, Auqui et al. (2019) examinaron la calidad de la carne en cerdos de la raza Chato Murciano, divididos en dos grupos según su peso al momento del sacrificio: peso ligero y peso pesado. Aunque no se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad entre los grupos, se observaron disparidades en los niveles de proteínas y grasas. El grupo peso pesado exhibió un menor contenido de proteínas con un 22.27% en comparación con el grupo ligero con un 23.46%, posiblemente relacionado con un aumento en el contenido de grasa. Además, se identificó que las razas rústicas como el Chato Murciano tienden a tener un mayor contenido de grasa intramuscular, lo que puede influir positivamente en la jugosidad de los productos cárnicos y, por ende, en la aceptación del consumidor. En cuanto al perfil de ácidos grasos, el grupo peso pesado mostró una menor proporción de ácidos grasos saturados y una mayor proporción de ácidos grasos insaturados y poliinsaturados en comparación con el grupo ligero. Estos estudios proporcionan una visión integral de diversos aspectos de la industria porcina, desde la calidad de la carne hasta el bienestar animal y la selección de razas. Cada uno subraya la importancia de considerar diferentes factores, como genética, manejo y condiciones de cría, para mejorar la producción de calidad porcina.

Reacción de Maillard

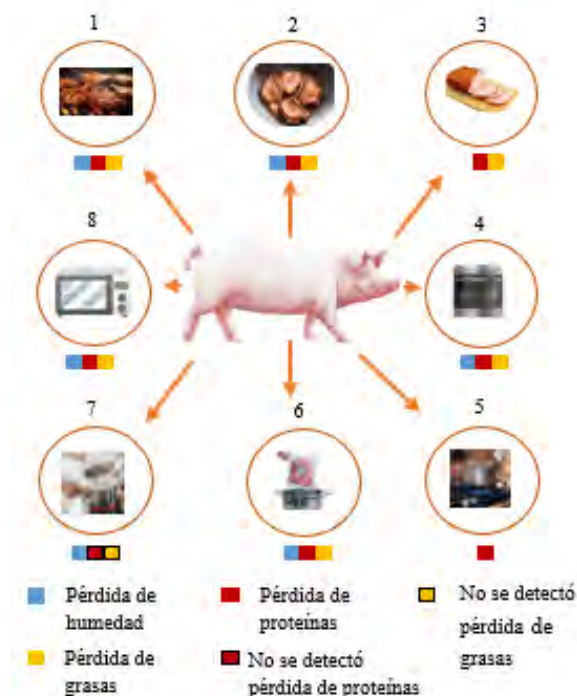
El proceso de cocción de la carne trae consigo una serie de reacciones químicas que influyen en sus propiedades sensoriales y composición nutricional. Los componentes no volátiles presentes en el tejido graso y magro interactúan, dando lugar a la formación de compuestos volátiles que determinan las características aromáticas y el sabor distintivo de la carne (Wang et al., 2023).

Uno de los mecanismos clave involucrados en este proceso es la reacción de Maillard, una serie de complejas reacciones químicas que ocurren cuando los azúcares reductores interactúan con los aminoácidos, péptidos o proteínas libres en la carne. Esta reacción está influenciada por diversos factores como el tipo y concentración de los reactivos, el tiempo, pH, temperatura y actividad del agua. La reacción de Maillard progresa a través de tres etapas: temprana, intermedia y final, generando una amplia gama de productos, incluidos compuestos de sabor volátiles y pigmentos marrones. La intensidad de esta reacción está directamente relacionada con el tiempo y la temperatura de calentamiento, siendo más pronunciada a temperaturas más elevadas (Wang et al., 2023).

Bejerholm y Aaslyng (2004) observaron que al asar la carne de cerdo en una sartén, la reacción fue especialmente prominente. A 80 °C, se intensificó el sabor y aroma a carne asada, indicando que la reacción de Maillard estaba en su punto óptimo. Esto sugiere que a esta temperatura, los aminoácidos y azúcares presentes en la superficie de la carne interactuaron de manera óptima para producir compuestos aromáticos y sabores característicos de la carne asada. A temperaturas más bajas, se percibieron otros matices aromáticos y sabores, posiblemente asociados a otras reacciones químicas que tienen lugar a temperaturas más suaves, como la cocción en agua. Por otro lado, a temperaturas más elevadas, el perfil de sabor y aroma se inclinó más hacia el característico de carne asada, indicando que la reacción de Maillard continuaba, pero posiblemente a un ritmo más acelerado. El impacto en el sabor y aroma, la reacción de Maillard también puede influir en la textura de la carne. La formación de compuestos durante esta reacción puede contribuir a la ternura de la carne, lo que podría explicar por qué se observó un incremento en la ternura bajo ciertas condiciones de cocción en el estudio.

En la Figura 5 se observan las diferentes variaciones en cuanto a pérdida de humedad, proteínas y grasas tras diferentes métodos de cocción como asar (1), freír (2), ahumar (3), por horno (4), hervir (5), al vacío (6), al vapor (7), y por microondas (8). Los resultados obtenidos fueron que cocciones como asar, freír, por microondas, al vacío y por horno detectaron pérdidas en grasas, proteínas y humedad mientras que al hervir y al vapor resultaron con menos pérdidas.

Figura 5. Análisis comparativo de los métodos de cocción.



Nota. Elaboración propia a partir de Bejerholm y Aaslyng (2004); Gerber et al. (2009); Gaffield et al. (2020); Wang et al. (2021); Cheng et al. (2023) y Rezler et al. (2023).

Conclusiones

La carne es esencial en la dieta global por sus propiedades nutricionales la cual ha experimentado transformaciones en producción y consumo, especialmente con la urbanización. Al cocinar carne de cerdo, se produce inevitablemente pérdidas de sus propiedades y alteraciones en su estructura, factores como el tipo de corte y métodos de cocción influyen en la composición nutricional y características físicas, mientras que las condiciones de cocción afectan la conservación de vitaminas. Diferentes técnicas culinarias influyen en la retención de agua, ternura, entre otros, por ejemplo, el asado a temperaturas elevadas resulta en mayor contenido de grasas extraíbles y menor humedad, afectando así a las proteínas. La fritura provoca cambios notables en agua y grasa, por otro lado, el ahumado y la cocción a altas temperaturas impactan en la durabilidad y propiedades sensoriales de la carne, alterando la textura y el color. La cocción al vacío modifica la composición esencial de la carne. En esta investigación documental podemos encontrar algunas lagunas, como la necesidad de evaluar diferentes métodos de cocción en tipos específicos de carne para comparar propiedades nutricionales y determinar la utilidad de cada parte, según el método de cocción, por lo que conectar estos aspectos es crucial para comprender integralmente el impacto de diversos factores en la carne.

Referencias bibliográficas

- Aaslyng, M. D., Bejerholm, C., Ertbjerg, P., Bertram, H. C., y Andersen, H. J. (2003). Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference*, 14(4), 277-288. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(02\)00086-1](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(02)00086-1)
- Afé, O. H. I., Kpoclou, Y. E., Douny, C., Anihouvi, V. B., Igout, A., Mahillon, J., Hounhouigan, D. J., y Scippo, M. (2021). Chemical hazards in smoked meat and fish. *Food Science and Nutrition*, 9(12), 6903-6922. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2633>
- Auqui, S., Egea, M., Peñaranda, I., Garrido, M. D. P., y Linares, M. B. (2019). Rustic Chato Murciano Pig breed: Effect of the weight on carcass and meat quality. *Meat Science*, 156, 105-110. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.022>
- Bejerholm, C., y Aaslyng, M. D. (2004). The influence of cooking technique and core temperature on results of a sensory analysis of pork-depending on the raw meat quality. *Food Quality and Preference*, 15(1), 19-30. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(03\)00018-1](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(03)00018-1)

- Broad, G. M. (2020). Making Meat, Better: The metaphors of Plant-Based and Cell-Based Meat innovation. *Environmental Communication-a Journal of Nature and Culture*, 14(7), 919-932. <https://doi.org/10.1080/17524032.2020.1725085>
- Cauble, R. N., Ball, J. J., Zorn, V. E., Reyes, T. M., Wagoner, M. P., Coursen, M. M., Lambert, B., Apple, J. K., y Sawyer, J. T. (2021). Characteristics of pork muscles cooked to varying End-Point temperatures. *Foods*, 10(12), 2963. <https://doi.org/10.3390/foods10122963>
- Cheng, L., Li, X., Tian, Y., Qia, W., Li, X., An, F., Luo, Z., Shang, P., Liu, Z., y Huang, Q. (2023). Mechanisms of cooking methods on flavor formation of Tibetan pork. *Food Chemistry: X*, 19, 100873. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100873>
- Doležalová, J., Kameník, J., Bednář, J., Macharáčková, B., Ježek, F., Haruštiaková, D., Páral, V., y Pyszek, M. (2023). Effect of various cooking methods on cooking loss, sensory and instrumental properties of pork neck. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 32, 100737. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100737>
- Duan, S., Tang, X., Zhan, J., Liu, S., y Zhang, Y. (2023). The establishment of evaluation models for the cooking suitability of different pork muscles. *Foods*, 12(4), 742. <https://doi.org/10.3390/foods12040742>
- Gaffield, K. N., Schunke, E. D., Lowell, J. E., Dilger, A. C., y Harsh, B. N. (2020). Evaluation of the changes in composition of pork chops during cooking. *Translational animal science*, 4(3). <https://doi.org/10.1093/tas/txaa154>
- Gerber, N., Scheeder, M. R. L., y Wenk, C. (2009). The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat. *Meat Science*, 81(1), 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.012>
- Ghidini, S., Alborali, G. L., De Luca, S., Maisano, A., Guadagno, F., Conter, M., Ianieri, A., y Zanardi, E. (2021). Predictivity of antemortem findings on postmortem inspection in Italian heavy pigs slaughterhouses. *Animals*, 11(8), 2470. <https://doi.org/10.3390/ani11082470>
- Govoni, C., Chiarelli, D. D., Luciano, A., Pinotti, L., y Rulli, M. C. (2022). Global Assessment of Land and Water Resource Demand for pork Supply. *Environmental Research Letters*, 17(7), 074003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac74d7>
- Hwang, S., Lee, E., y Hong, G. (2019). Effects of temperature and time on the cookery properties of sous-vide processed pork loin. *Food Science of Animal Resources*, 39(1), 65-72. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e4>
- Ivić, M., Tomović, V., Jakanović, M., Škaljac, S., y Šojić, B. (2019). The influence of cooking methods and juniper essential oil on lipid oxidation in pork chops. *IOP conference series*, 333, 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012064>
- Ježek, F., Kameník, J., Macharáčková, B., Bogdanovičová, K., & Bednář, J. (2019). Cooking of meat: Effect on texture, cooking loss and microbiological quality – a review. *Acta Veterinaria Brno*, 88(4), 487-496. <https://doi.org/10.2754/avb201988040487>
- Kim, T., Hwang, K., Kim, Y., Jeon, K., Leem, K., y Choi, Y. (2018). Effects of pre-cooking methods on quality characteristics of reheated marinated pork loin. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(5), 970-980. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e29>
- Kurp, L., Danowska-Oziewicz, M., y Kłębukowska, L. (2022). Sous vide cooking effects on physicochemical, microbiological and sensory characteristics of pork loin. *Applied sciences*, 12(5), 2365. <https://doi.org/10.3390/app12052365>
- Lian, F., Cheng, J., y Sun, D. (2023). Insight into the effect of microwave treatment on fat loss, fatty acid composition and microstructure of pork subcutaneous back fat. *LWT*, 187, 115297. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115297>
- Ma, J., Cheng, J., Sun, D., y Liu, D. (2019a). Mapping changes in sarcoplasmatic and myofibrillar proteins in boiled pork using hyperspectral imaging with spectral processing methods. *LWT*, 110, 338-345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.095>
- Ma, J., Sun, D., Pu, H., Wei, Q., y Wang, X. (2019b). Protein content evaluation of processed pork meats based on a novel single shot (snapshot) hyperspectral imaging sensor. *Journal of Food Engineering*, 240, 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.032>
- Martins, J., Fialho, R., Albuquerque, A., Neves, J., Freitas, A. M. C., Nunes, J. T., y Charneca, R. (2020). Growth, blood, carcass and meat quality traits from local pig breeds and their crosses. *Animal*, 14(3), 636-647. <https://doi.org/10.1017/s1751731119002222>
- Migdal W., Kulig, R., Walczycka, M., Węsierska, E., Zając, M., Tkaczewska, J., Migdał, Ł., Migdał, A., y Krępa-Stefanik, K. (2020). The quality of traditionally smoked tenderloins obtained from meat of native pig breeds. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 36(1), 49-61. <https://doi.org/10.2298/bah2001049m>
- Neill, H., Gill, C., McDonald, E. J., McRoberts, W. C., Loy, R., y Pourshahidi, L. (2022). Impact of cooking on vitamin D3 and 25(OH)D3 content of pork products. *Food Chemistry*, 397, 133839. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133839>

- OECD/FAO. (2021). Carne. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030* (pp. 181-196). OECD. <https://doi.org/10.1787/6c9145fc-es>
- Rezler, R., Krzywdzińska-Bartkowiak, M., y Piątek, M. (2023). The influence of the sous vide cooking time on selected characteristics of pork loin. *Molecules*, 28(16), 6102. <https://doi.org/10.3390/molecules28166102>
- Ruirui, W., Huang, F., Zhang, L., Liu, Q., Zhang, C., y Zhang, H. (2019). Changes in the texture, microstructures, colour and volatile compounds of pork meat loins during superheated steam cooking. *International Journal of Food Science Technology*, 54(10), 2821-2830. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14198>
- Smith, N. W., Fletcher, A., Hill, J. P., y McNabb, W. C. (2022). Modeling the contribution of meat to global nutrient availability. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.766796>
- Song, Y., Huang, F., Li, X., Han, D., y Zhang, C. (2021). Effects of different wet heating methods on the water distribution, microstructure and protein denaturation of pork steaks. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9), 4627-4638. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15248>
- Večerek, V., Voslářová, E., Semerád, Z., y Passantino, A. (2020). The health and welfare of pigs from the perspective of post mortem findings in slaughterhouses. *Animals*, 10(5), 825. <https://doi.org/10.3390/ani10050825>
- Wang, S., Chen, H., Sun, J., Zhang, N., Wang, S., y Sun, B. (2023). Effects of cooking methods on aroma formation in pork: A Comprehensive review. *Food Chemistry: X*, 100884. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100884>
- Wang, X., Wang, X., Muhoza, B., Feng, T., Xia, S., y Zhang, X. (2020). Microwave combined with conduction heating effects on the tenderness, water distribution, and microstructure of pork belly. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 62, 102344. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102344>
- Wang, Z., Cai, R., Yang, X., Gao, Z., Yuan, Y., y Yue, T. (2021). Changes in aroma components and potential maillard reaction products during the stir-frying of pork slices. *Food Control*, 123, 107855. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107855>
- Won, S. R., Shim, I., Kwon, M., Ji, H. A., Park, K., y Ghim, Y. S. (2020). Particle number size distributions generated by different Korean pork cooking methods. *Air Quality, Atmosphere & Health*. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00837-3>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Li, H., Guo, T., Jia, J., Zhang, P., Wang, L., Xia, N., Qian, Q., Peng, H., Pan, Z., Liu, D., y Zhao, L. (2022). Comparison of nutrition and flavor characteristics of five breeds of pork in China. *Foods*, 11(17), 2704. <https://doi.org/10.3390/foods11172704>



GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE ORQUÍDEAS Y ESPECIES ARBÓREAS MEDIANTE ESCARIFICACIÓN

Adrián Alejandro Ruiz-Sierra¹, Arturo Alvarado-Segura²,
Orlando Adrián Chan-May³, Pedro Rogelio Catzim-Navarrete⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 21/11/2023 Aceptado: 07/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a9>

Resumen.- La germinación de semillas es un proceso vital de las plantas, pero enfrenta obstáculos como la dormancia y la presencia de sustancias inhibitoras. La escarificación, a través de tratamientos específicos, busca mejorar el porcentaje de germinación. El presente trabajo resume investigaciones recientes sobre diferentes sustancias y técnicas utilizadas en la escarificación de semillas, así como su desarrollo, centrándose en algunas orquídeas y especies arbóreas. En árboles, el uso de medios mecánicos y ácidos para superar la dormancia física acelera la germinación y mejora la propagación. Esto es esencial para la restauración de ecosistemas degradados y la conservación de la biodiversidad. Las condiciones de cultivo, sustratos y factores ambientales como la luz y la temperatura son cruciales en el desarrollo de plántulas. Por otro lado, las orquídeas (Orchidaceae), a pesar de presentar dormancia fisiológica, requieren concentraciones menores de sustancias, como agua desionizada y sacarosa, en lugar de ácidos. Este contraste resalta la diversidad de estrategias adaptativas. Además, las sustancias utilizadas varían según la especie. Aunque la escarificación ha demostrado eficacia, se necesita más investigación sobre el crecimiento a largo plazo y la variabilidad genética. La micropropagación puede ser beneficiosa para una propagación eficiente de plántulas.

Palabras clave: Dormancia, escarificación, arbóreas, orquídeas, germinación.

GERMINATION OF ORCHID AND TREE SPECIES SEEDS THROUGH SCARIFICATION

Abstract.- Seed germination is a vital process of plants, but it faces obstacles such as dormancy and the presence of inhibitory substances. Scarification, through specific treatments, aims to improve the germination percentage. This paper summarizes recent research on different substances and techniques used in seed scarification, as well as their development, focusing on some orchids and tree species. In trees, the use of mechanical means and acids to overcome physical dormancy accelerates germination and enhances propagation. This is essential for the restoration of degraded ecosystems and the conservation of biodiversity. Growing conditions, substrates, and environmental factors such as light and temperature are crucial in seedling development. On the other hand, orchids (Orchidaceae), despite exhibiting physiological dormancy, require lower concentrations of substances, such as deionized water and sucrose, instead of acids. This contrast highlights the diversity of adaptive strategies. Furthermore, the substances used vary by species. Although scarification has demonstrated effectiveness, more research is needed on long-term growth and genetic variability. Micropropagation may be beneficial for efficient seedling propagation.

Keywords: Dormancy, germination, orchids, scarification, tree.

Introducción

La germinación de semillas es un proceso fundamental en la vida vegetal; sin embargo, puede afrontar obstáculos que desafían la habilidad de estas especies para reproducirse y persistir en su entorno natural. Los desafíos abarcan desde la dormancia fisiológica y física hasta la presencia de sustancias inhibitoras en los tejidos de las semillas (Burrows et al., 2019; Dessi et al., 2021; Jaganathan, 2018; Salazar y Ramírez, 2019; Šoch et al., 2023; Sugiyama et al., 2021).

La escarificación es esencial para mejorar la tasa de germinación (Deltalab et al., 2023). Lo anterior es importante para restaurar ecosistemas altamente degradados de especies nativas de árboles (Salazar y Ramírez, 2019). No obstante, la

¹ Estudiante del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. 1.201t0005@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0009-0002-9543-8592>

² Docente del TecNM, perfil deseable PRODEP, campus Sur del Estado de Yucatán. aalvarado@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-7386-2205>

³ Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. ochan@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-8120-6945>

⁴ Docente del TecNM, campus Sur del Estado de Yucatán. pcatzim@suryucatan.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6831-2228> (**Autor correspondiente**).

baja disponibilidad de semillas y la falta de conocimientos sobre las mejores formas de germinar limitan la disponibilidad de plántulas de árboles en áreas de reserva (Luera et al., 2021). Por otro lado, algunas especies de árboles se vuelven invasoras al mostrar una amplia plasticidad, germinando en cualquier temperatura, ya sea en condiciones de luz o de oscuridad, una vez que se rompe la dormancia física por escarificación mecánica. Por tanto, la escarificación se vuelve un elemento clave para controlar las especies invasoras, cuando se conocen las condiciones óptimas para su germinación (Dessi et al., 2021). En general, las semillas de las especies arbóreas presentan dormancia física, dado que tienen una capa protectora que las mantiene en estado latente en el suelo hasta que las condiciones ambientales les permiten comenzar a crecer y germinar en el momento adecuado (Jaganathan, 2018).

Las orquídeas, al igual que las especies arbóreas, se han investigado ampliamente, debido a que son plantas ornamentales que poseen diversas formas y colores en sus flores. Asimismo, la germinación de sus semillas no es una excepción, puesto que también requiere de tratamientos específicos para superar la dormancia y garantizar un desarrollo adecuado (Deconninck y Gerakis, 2021). No obstante, la diferencia se presenta en que la escarificación implica el uso de soluciones desinfectantes. Esto es importante en el cultivo *in vitro* para prevenir el crecimiento de microorganismos que reducen la tasa de germinación (Katsalirou et al., 2019). Las orquídeas epífitas y terrestres establecen vínculos con varios hongos a través de sus raíces; al llevar a cabo la escarificación junto con especies de hongos específicos, es posible aumentar la tasa de germinación (Novotná et al., 2018; Quijia-Lamiña et al., 2023; Rasmussen, 1992). Sin embargo, la falta de éxito en algunas evaluaciones puede deberse a que el hongo utilizado no es apropiado para la germinación o el desarrollo de las plántulas (Novotná et al., 2018).

La germinación de semillas no solo es un tema de interés científico, sino que también tiene implicaciones económicas y ambientales (Šoch et al., 2023). En el caso de la producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) en México, se ha observado una disminución debido a la falta de aplicación de tecnologías adecuadas al cultivo. Un análisis de productividad a nivel internacional y nacional durante el periodo de 2003 a 2014 revela que México no logró aumentar sus exportaciones de vainilla, atribuyendo este estancamiento a la escasa superficie cultivada (Santillán-Fernández et al., 2018). Un ejemplo de los desafíos en la producción de vainilla está relacionado con las dificultades en la germinación de sus semillas, lo cual impacta directamente en la producción final. En este contexto, la escarificación ácida de las semillas se ha explorado como una estrategia para mejorar la germinación (Šoch et al., 2023).

Este trabajo sintetiza la información de publicaciones científicas recientes sobre la escarificación de semillas, explorando enfoques y tratamientos utilizados para superar los desafíos en la germinación de 20 especies de orquídeas y 23 especies arbóreas. Además, se explica la importancia de la escarificación como herramienta esencial en la propagación *in vitro* de orquídeas y se analizan los desafíos y avances en este campo en constante evolución.

Materiales y métodos

Esta revisión documental presenta información sobre los tratamientos de escarificación de semillas en especies de orquídeas y especies arbóreas. En su elaboración se utilizaron artículos pertenecientes a revistas científicas enlistadas en el Journal Citation Reports (JCR). Además, se incluyen algunos artículos fundamentales publicados entre 1990 y 2015 para establecer una base sólida y conocer la evolución del tema en las últimas décadas. Esta revisión siguió las pautas del estilo APA 7, respecto a la forma de realizar las citas, la creación de tablas y figuras. A partir del análisis de datos y establecimiento de relaciones presentadas en tablas, se determinaron cuáles son los tratamientos más comunes y con mayor tasa de germinación. En un primer momento se abordaron algunas especies arbóreas del mundo, con énfasis en especies del continente americano; posteriormente, se presentaron las especies de la familia Orchidaceae. El objetivo fue proporcionar una visión integral y actualizada de la escarificación de semillas en estas plantas, beneficiando a la comunidad científica y público con interés en este campo de estudio.

Resultados y discusión

Especies arbóreas del mundo

En general, las especies de la familia Fabaceae presentan latencia física, caracterizada por una capa impermeable al agua en las semillas, lo que puede dificultar la germinación (Kuswantoro y Li'aini, 2022; Nourmohammadi et al., 2019). Se exploraron diversos métodos para superar la dormancia física en las semillas de *Gleditsia caspica*, que pertenece a dicha familia. Se probaron 20 tratamientos centrándose en dos aspectos: la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas. Se descubrió que la inmersión en ácido sulfúrico concentrado al 98% durante 60 minutos fue el tratamiento más efectivo para mejorar tanto la germinación como el crecimiento de las plántulas, lo que permitió que el 99-100% de las semillas germinara con éxito (Tabla 1). Además, se observaron mejoras en diferentes aspectos de las plántulas, como su altura, peso de raíces y brotes, tamaño de las raíces, cantidad y tamaño de las hojas,

y grosor del cuello de las plántulas. Otros tratamientos, como la exposición al agua fría, agua hirviendo y KNO_3 , no mostraron mejoras significativas en la germinación o el crecimiento de las plántulas (Nourmohammadi et al., 2019).

En el caso de la especie *Gleditsia assamica*, que también pertenece a la familia Fabaceae, se estudió la escarificación mecánica, que implica la realización de una incisión en un lado de la semilla con un cortador de uñas. Se llevaron a cabo pruebas de tinción con tetrazolio en las semillas tratadas y en las no tratadas (grupo de control), encontrando una mejora en la absorción del 88.42%, al paso de 48 horas, en contraste con el grupo de control sin escarificación de 13.24%. De esta manera, se obtuvo un 96.8% en el porcentaje de germinación final de las semillas y un aumento significativo en el índice de velocidad de germinación. Estos hallazgos son de importancia para la conservación y domesticación de esta especie (Kuswanto y Li'aini, 2022).

La mayoría de las acacias australianas presentan dormancia física pronunciada (Burrows et al., 2019; Dessi et al., 2021; Sugiyama et al., 2021), la cual varía entre una población de semillas producidas por una sola planta (Dessi et al., 2021). Estas semillas con dormancia física pueden permanecer en el suelo durante mucho tiempo sin comenzar a crecer. Sin embargo, de acuerdo con las temporadas climáticas, las condiciones ambientales como la humedad y la temperatura apropiadas rompen la dormancia de las semillas para comenzar a germinar y crecer (Jaganathan, 2018). A pesar de que diversos tratamientos con fuego y agua caliente eliminan la dormancia física rápidamente, la germinación es tardada. Debido a que alguna parte de la cubierta de las semillas impide el acceso de agua al embrión, lo cual explica por qué no todas las semillas de una población germinan cuando se presenta lluvia leve. Es decir, parece que una parte de la semilla sirve como “medidor de fuego” y en otra parte como “medidor de lluvia”. Entonces podría estudiarse el elemento que retarda el acceso del agua al embrión después de que se rompe la dormancia física (Burrows et al., 2019). En contraste, se investigó cómo la ubicación de las semillas de *Cassia roxburghii* en diferentes micrositios afecta la pérdida de la dormancia física. Se descubrió que las semillas enterradas en un sitio abierto perdían la dormancia en mayor cantidad en comparación con las semillas bajo una capa de vegetación, debido a las diferencias de temperatura entre los micrositios. Esto sugiere que la variación en las temperaturas y las condiciones ambientales específicas de cada micrositio influye en la capacidad de germinación de las semillas de *C. roxburghii* para romper la dormancia y formar bancos de semillas en el suelo (Jaganathan, 2018).

Para lograr la germinación de semillas de *Acacia dealbata* y *Acacia mearnsii*, en hábitats mediterráneos, se evaluaron semillas escarificadas (las cubiertas fueron cortadas manualmente con un bisturí) y no escarificadas en diferentes condiciones de temperatura y luz. Ambas especies germinaron mejor a 25 °C en semillas no escarificadas, con diferencias entre poblaciones. En el caso de *A. dealbata* alcanzó un máximo de 55% y *A. mearnsii* un 40%. Por su parte, las semillas escarificadas germinaron más del 95% a diferentes temperaturas, excepto a 5 °C en oscuridad. La escarificación fue crucial para eliminar la latencia física, contribuyendo al entendimiento de su comportamiento invasivo y con ello planificar estrategias de control. Además, la disponibilidad de agua y las introducciones intencionales aumentan su invasividad en la región mediterránea (Dessi et al., 2021). Por otro lado, se observó que las semillas de *Acacia koa*, que provenían de fuentes de menor altitud, requieren de tratamientos de escarificación más intensos para superar la dormancia física. Por lo tanto, hervir las semillas a 100°C fue efectivo para la imbibición, aunque fue perjudicial para la tasa de germinación. La repetida exposición al agua no reduce el porcentaje, pero sí afecta negativamente el rendimiento de las plántulas, aumentando la mortalidad temprana. Sin embargo, las semillas que se imbibieron sin ningún tratamiento tenían porcentajes de germinación similares a las semillas limadas manualmente, pero producían plántulas de menor calidad. Se concluyó que los métodos de escarificación deberían adaptarse a la fuente de semillas específica para maximizar el éxito en la restauración (Sugiyama et al., 2021).

Con relación al ácido giberélico, se ha observado que su aplicación puede ser beneficiosa para superar la dormancia en diferentes especies vegetales (Nicolás et al., 1996; Rehman y Park, 2000; Samuel et al., 2009). En un estudio sobre la escarificación de la especie *Givotia rottleriformis* Griff, se descubrió que la degradación de la cubierta con ácido sulfúrico y el uso de ácido giberélico (GA_3) en combinación con un medio de cultivo específico de Murashige y Skoog (MS) permitieron alcanzar una alta tasa de germinación, a pesar de que esta planta tiene semillas con una larga dormancia física. Además, las plántulas generadas *in vitro* y las plantas multiplicadas por micropropagación se trasplantaron con una tasa de éxito del 70% y el 60%, respectivamente (Samuel et al., 2009). Por otro lado, las semillas de *Fagus sylvatica* presentan dormancia física y endógena (influenciada por factores internos) que se supera eliminando la cubierta de la semilla y aplicando un tratamiento en frío a 4°C durante un periodo de más de 8 semanas, junto con ácido giberélico (GA_3). La aplicación de ácido abscísico (ABA) en combinación con un tratamiento en frío reduce la síntesis de proteínas, pero aumenta ligeramente la de ARN, evitando la liberación de la dormancia y manteniendo las semillas en estado no germinativo. La aplicación de ácido giberélico (GA_3) rompe la dormancia y

contrarresta los efectos del ABA en el ADN y proteínas, lo que indica que ABA y GA₃ regulan el metabolismo de ácidos nucleicos y proteínas durante la dormancia, actuando de manera antagónica (Nicolás et al., 1996).

Las semillas de *Koeleria paniculata* Laxm sin escarificar no germinan debido a una cubierta dura e impermeable (Rehman y Park, 2000). La eliminación de esta cubierta ayuda a superar la dormancia física (Nicolás et al., 1996). La aplicación de ácido giberélico (GA₃) en concentraciones de 100, 200 y 300 ppm mejoró la germinación de las semillas escarificadas mecánicamente al perforar las semillas con una aguja en el extremo del cotiledón (Tabla 1). Además, el preenfriamiento en agua destilada durante 60 días aumentó la germinación al 44%. Las semillas enfriadas con GA₃ también mostraron una mejora significativa en la germinación, alcanzando tasas máximas después de 30 días. Sin embargo, se observó que un enfriamiento prolongado en GA₃ tenía efectos negativos en la germinación. Es importante destacar que las semillas fueron esterilizadas en su superficie en una solución al 5% de NaOCl durante 10 min, seguido de un enjuague con agua esterilizada antes del pretratamiento. En resumen, las semillas de *K. paniculata* tienen latencia tanto exógena como endógena, y la combinación de GA₃ y el enfriamiento ayudó a superar esta latencia en un período relativamente corto (Rehman y Park, 2000).

En otro estudio, se recolectaron frutos de *Prosopis juliflora* en la región de la Caatinga, Brasil, y se almacenaron las semillas. Luego, se realizaron tratamientos de escarificación en dos grupos de semillas: aquellas con endocarpos intactos y aquellas sin endocarpos. Los tratamientos consistieron en escarificación química con ácido sulfúrico en diferentes tiempos y escarificación mecánica con papel de lija. Las semillas con endocarpo se sumergieron en H₂SO₄ durante 30, 60 o 90 minutos, y las semillas sin endocarpo se sumergieron en H₂SO₄ durante 5, 20 o 40 minutos. Después de cada tratamiento, se enjuagaron las semillas y se esterilizaron. Las semillas se colocaron en cajas de germinación y se evaluó a lo largo del tiempo, registrando el tiempo de germinación y la sincronización. Las plántulas germinadas se trasladaron a bolsas con tierra y arena. Se observó que la escarificación con ácido sulfúrico aceleró el proceso, pero tratamientos prolongados dieron lugar a plántulas deformes (Miranda et al., 2011).

Con el objetivo de mejorar la germinación de las semillas de *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima* y *Fraxinus excelsior*, se probaron diferentes tratamientos con ácido sulfúrico y agua caliente (Tabla 1). Los resultados indicaron que el tratamiento con un 50% de ácido sulfúrico tenían las tasas de germinación más alta para las semillas de *R. pseudoacacia*, *A. altissima* y *F. excelsior*, mientras que el control y los tratamientos con un 95% de ácido sulfúrico tenían las tasas más bajas, en especial en *F. excelsior* (Figura 1). Reducir la concentración de ácido sulfúrico mejoró la germinación al dañar menos los embriones de las semillas y reducir la latencia, especialmente en *R. pseudoacacia*. En general, el tratamiento óptimo fue utilizar un 50% de ácido sulfúrico a 3°C durante 20 días (Deltalab et al., 2023).

Figura 1. Efecto de la escarificación con ácido sulfúrico en *Fraxinus excelsior*.



Nota. Elaboración propia con base a Deltalab et al. (2023).

Otro estudio describe tratamientos previos a la siembra atribuidos a la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de diversas especies, incluyendo *Terminalia chebula*, *Terminalia bellirica*, *Pongamia pinnata*, *Santalum album* y *Tamarindus indica*. Se investigaron diferentes métodos de escarificación para determinar el porcentaje, la tasa y el período de germinación. Los resultados mostraron que el tratamiento con ácido sulfúrico proporcionó la germinación más rápida y el mayor porcentaje, seguido del tratamiento con agua de coco, mientras que la escarificación mecánica retrasó la germinación. De esta manera, se recomienda el tratamiento con ácido sulfúrico concentrado al 10% durante una hora para la producción a gran escala de plántulas en viveros debido a su practicidad y bajo costo (Priyadharshini y Lekha, 2021). Sin embargo, es importante destacar que el uso de ácido sulfúrico concentrado tiene impactos ambientales adversos y debe tomarse precaución (Nourmohammadi et al., 2019).

Alrededor del 10% de las especies de árboles a nivel mundial enfrentan riesgo de extinción, y los patógenos desempeñan un papel creciente en dichas amenazas. La coextinción y las amenazas a los organismos asociados, resultantes de la pérdida o deterioro de sus árboles huéspedes, son fenómenos que deben ser evaluados con mayor profundidad (Jönsson y Thor, 2012). Un caso de esta situación es el marchitamiento del fresno europeo (*Fraxinus excelsior*), provocado por el hongo *Hymenoscyphus fraxineus*. Sin embargo, su extinción podría evitarse con el uso de los embriones cigóticos (semillas) para la organogénesis auxiliar indirecta que ha demostrado ser el tipo de explante más efectivo para la micropropagación. Lo anterior permite obtener muchas plántulas a partir de poco material vegetal, con la capacidad de aclimatarse de manera exitosa por el enraizamiento (Nawrot-Chorabik et al., 2023).

La luz y agua son factores importantes para la aclimatación de plantas, tanto silvestres y como cultivadas en invernaderos. El estudio de estos aspectos aporta conocimientos para la conservación de plantas en peligro de extinción. Las plántulas silvestres demuestran una mayor resistencia a la deficiencia de agua, mientras que la intensidad lumínica afecta la fotosíntesis. En contraste, en las plántulas cultivadas ocurre lo opuesto, ya que requieren una elevada luminosidad para su saturación, dado que han sido expuestas a altas intensidades de luz. De esta manera, las plántulas cultivadas son capaces de realizar ajustes fotoquímicos para sobrevivir y tolerar condiciones de deficiencia de agua y exceso de luz (Hernández-González et al., 2020).

La mejora de la germinación de semillas de especies nativas es esencial para apoyar la restauración de ecosistemas degradados. En este contexto, las semillas de la especie *Schizolobium parahyba* tienen baja germinación por su dormancia física, impidiendo su propagación. Se evaluaron los efectos de tratamientos de escarificación mecánica y ácida. Se encontró que las semillas sometidas a escarificación mecánica tuvieron una alta germinación, superando a las semillas tratadas con ácido. En particular, las soluciones de ácido clorhídrico al 50% y 75% mostraron resultados prometedores para mejorar la propagación a gran escala de *Schizolobium parahyba* (Tabla1), lo que puede ser fundamental para la conservación en ecosistemas degradados (Salazar y Ramírez, 2019).

Tabla 1. Comparación de tratamientos de escarificación en especies arbóreas en el mundo.

Especie	Tratamiento	Porcentaje de germinación
<i>R. pseudoacacia</i>	Control (Agua destilada)	34
	Ácido sulfúrico al 95%	28
	Ácido sulfúrico al 50%	72
	Agua caliente a 95°C	48
<i>A. altissima</i>	Control (Agua destilada)	26
	Ácido sulfúrico al 95%	20
	Ácido sulfúrico al 50%	60
	Agua caliente a 95°C	40
<i>F. excelsior</i>	Control (Agua destilada)	18
	Ácido sulfúrico al 95%	12
	Ácido sulfúrico al 50%	56
	Agua caliente a 95°C	32
<i>S. Parahyba</i>	Control	17.5
	Disrupción mecánica	92.5
	Ácido sulfúrico al 10% durante 5 min	50
	Ácido clorhídrico al 50% durante 10 min	61
	Ácido clorhídrico al 75% durante 5 min	64
<i>G. caspica</i>	Control	4
	Ácido sulfúrico 98% durante 60 min	99
	KNO ₃ al 1% durante 48 h	7
	Agua caliente a 100°C	77
<i>K. paniculata</i>	Control	0
	Perforación con aguja + GA 100 ppm	17
	Perforación con aguja + GA 200 ppm	18
	Perforación con aguja + GA 300 ppm	15

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Deltalab et al. (2023), Salazar y Ramírez (2019), Nourmohammadi et al. (2019) y Rehman y Park (2000).

Especies arbóreas en América

Un estudio se centró en tres especies importantes con tasas de germinación o supervivencia de plántulas variables: *Ebenopsis ebano*, *Cordia boissieri* y *Zanthoxylum fagara*. Se evaluaron los efectos de diferentes tratamientos químicos de semillas (ácido sulfúrico, ácido giberélico y ácido indol-3-butírico) en la germinación, así como los efectos en el crecimiento de las plántulas. Se evidenció que la germinación de *E. ebano* mejoró con el tratamiento de ácido sulfúrico, la de *C. boissieri* con ácido giberélico, mientras que *Z. fagara* fue baja en todos los tratamientos (Tabla 2). Estos resultados sugieren que la mejora de las prácticas de germinación podría aumentar la germinación de *E. ebano* en un 10 a 20% y potencialmente duplicar la germinación de *C. boissieri*. No obstante, el ácido indol-3-butírico (IBA) no promovió la germinación en ninguna de las especies estudiadas (Luera et al., 2021).

En el ámbito de la investigación, se ha sugerido que la escarificación mecánica es una estrategia eficaz para estimular la germinación de semillas (Kuswanto y Li'aini, 2022; Miranda et al., 2011; Rehman y Park, 2000; Salazar y Ramírez, 2019). En un estudio, se emplearon tratamientos de escarificación mecánica y choques con agua hirviendo durante diferentes duraciones para promover la germinación de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Piscidia piscipula* (Tabla 2). La escarificación mecánica resultó eficaz para mejorar la germinación de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum*, alcanzando una tasa del 92%. Respecto a las semillas de *Piscidia piscipula* (Figura 2), el tratamiento de choque con agua hirviendo durante 10 segundos resultó en una tasa de germinación del 76% (Arceo-Gómez et al., 2022). Otras metodologías respaldan la idea de que el agua a 100°C acelera la emergencia y favorece la obtención de un mayor número de plántulas en *P. piscipula* (Castillo et al., 2020). Por otro lado, es posible emplear la escarificación ácida para lograr la germinación *in vitro* en *Piscidia piscipula*, debido a las características de sus semillas (Figura 2).

Tabla 2. Comparación de tratamientos de escarificación en especies arbóreas en América

Especies	Tratamiento	Porcentaje de germinación
<i>E. ebano</i>	Control	0
	Ácido sulfúrico durante 50 min	100
	Ácido giberélico a 100 mg/L	15
	Ácido indol-3-butírico	0
<i>C. boissieri</i>	Control	0
	Ácido sulfúrico a 120 min	3
	Ácido giberélico a 500 mg/L	20
	Ácido indol-3-butírico	0
<i>Z. fagara</i>	Control	0
	Ácido sulfúrico	0
	Ácido giberélico	0
	Ácido indol-3-butírico	0
<i>E. Cyclocarpum</i>	Control	9
	Escarificación mecánica con bisturí	92
	Agua hirviendo durante 10 s	61
<i>P. piscipula</i>	Control	23
	Escarificación mecánica con bisturí	38
	Agua hirviendo durante 10 s	76

Nota. Elaboración propia basado en Luera et al. (2021) y Arceo-Gómez et al. (2022).

Los tratamientos de escarificación y choques térmicos aplicados representan una prometedora solución para superar la dormancia física, lo cual podría tener un impacto significativo en la agricultura sostenible, la restauración de ecosistemas degradados, la investigación botánica y la conservación de la biodiversidad en la región de la Península de Yucatán. Estos métodos no solo facilitan la germinación de estas especies de árboles, sino que también abren nuevas posibilidades a la comprensión y el fomento de la propagación de plantas nativas en este ecosistema.

Figura 2. *Piscidia piscipula*: a) Fruto tipo vaina b) Semillas sin tratamiento, c) Germinación *in vitro* de semillas después de un tratamiento ácido.



Nota. Elaboración propia.

Escarificación de semillas de orquídeas

Orquídeas terrestres

En el ámbito de la germinación de semillas de orquídeas (familia Orchidaceae) se han explorado diversos enfoques y tratamientos para superar los desafíos relacionados con la dormancia (Deconninck y Gerakis, 2021; Katsalirou et al., 2019; Pierce et al., 2018; Rasmussen, 1992; Zale et al., 2022). Se ha observado que la relación de los hongos y las raíces de diversas orquídeas terrestres pueden influir en el proceso de germinación (Pierce et al., 2018; Rasmussen, 1992). En *Epipactis palustris* las semillas necesitan ser incubadas con un hongo y sometidas a una escarificación con $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (Tabla 3). Este proceso implica la incubación a temperatura de 20°C, seguida de una estratificación en frío a 4-8°C durante 8-12 semanas. A pesar de que la tasa de germinación es baja, se considera un éxito, ya que es complicado cultivarla en condiciones *in vitro*. La escarificación de la testa con hipoclorito incrementa la germinación, pero la mayoría de las semillas requieren incubación a 20°C antes de responder a temperaturas frías. La presencia de un hongo compatible resulta importante para la germinación, lo cual coincide con el hábitat natural donde las semillas permanecen húmedas en el suelo durante meses antes del frío invernal. Las bajas temperaturas activan procesos esenciales para el desarrollo de plántulas y micorrizas (Rasmussen, 1992). En la germinación, las condiciones ambientales y los hongos específicos del hábitat de las orquídeas asociadas desempeñan un papel fundamental (Quijia-Lamiña et al., 2023; Rasmussen, 1992).

Por otro lado, se examinó el impacto de la enzima lacasa fúngica en la germinación de las semillas de *Anacamptis morio*. Se encontró que la lacasa estimula de manera más efectiva la germinación de sus semillas en comparación con el método convencional de escarificación química mediante lejía (NaClO) (Tabla 3). La acción de la lacasa se centra en descomponer la lignina presente en la cubierta de la semilla, facilitando así la absorción de agua. Este descubrimiento sugiere que la técnica enzimática de escarificación puede ser una alternativa eficaz y menos invasiva para mejorar la germinación de las semillas de esta especie de orquídea (Pierce et al., 2018). La descomposición de la lignina por parte de la lacasa resalta la importancia de entender los procesos bioquímicos implicados en la dormancia de las semillas y señala posibles innovaciones en las estrategias de propagación y cultivo de orquídeas terrestres.

En la propagación sexual *in vitro* de orquídeas terrestres, la desinfección de las semillas es crucial para prevenir infecciones y estimular la germinación. Se llevó a cabo una comparación de tres métodos de desinfección/escarificación para semillas de *Anacamptis laxiflora* (Tabla 3). Primero, las semillas se remojaron en solución desinfectante de 5 a 85 minutos. Después, se sembraron en Malmgren, un medio de cultivo modificado. Se encontró que un tratamiento químico prolongado mejora la germinación y reduce infección, la centrifugación no afecta, pero ralentiza la germinación y el pretratamiento con sacarosa y NaClO fue superior al uso de NaClO solo, ya que estimula la germinación de esporas en las semillas (Deconninck y Gerakis, 2021).

En otra investigación en orquídeas se evaluaron los tiempos óptimos de escarificación para especies con capas de semillas delgadas semipermeables (*Anacamptis laxiflora*) y gruesas impermeables (*Himantoglossum robertianum*). Se encontró que cuanto más dura el tratamiento químico, menor es el porcentaje de infección y mayor es el porcentaje de germinación en el rango de tiempos probados (Tabla 4). Un tratamiento químico de 85 minutos con solución de NaClO al 0.5% resulta en una germinación satisfactoria para ambos tipos de semillas (Katsalirou et al., 2019).

Tabla 3. Comparación de tratamientos de escarificación en especies de la familia Orchidaceae

Especies	Tratamiento	Porcentaje de germinación
<i>A. morio</i>	Control (NaClO al 10% durante 10 min)	23.7
	Lacasa 1 U durante 6 meses	49.8
<i>A. laxiflora</i>	NaClO al 0.5% durante 85 min	50
	NaClO al 0.5% + centrifugación durante 85 min	19
	Sacarosa + NaClO al 0.5% durante 85 min	55
<i>V. planifolia</i>	Control (Cal clorada 66 g/L durante 30 min)	30
	0.1 M HCl durante 30 min	62
	50% H ₂ SO ₄ durante 3 min	5
<i>E. elongatum</i>	Control durante 48 h	14.6
	Cloro 0.5% durante 6 h	58.6
	Cloro 1% durante 6 h	1.3
	Agua desionizada durante 24 h	100
	Sacarosa 10% durante 48 h	97.3
<i>E. fimbriatum</i>	Control durante 48 h	9.3
	Cloro 0.5% durante 6 h	2.6
	Cloro 1% durante 6 h	12
	Agua desionizada durante 48 h	96
	Sacarosa 10% durante 24 h	98.6
<i>E. elongatum</i>	Control durante 48 h	81.3
	Cloro 0.5% durante 24 h	96
	Cloro 1% durante 24 h	82.6
	Agua desionizada durante 48 h	98.6
	Sacarosa 10% durante 48 h	96
<i>E. palustris</i>	Ca(OCl) ₂ por 0.5 h	9.2
	Ca(OCl) ₂ por 1 h	19.8
	Ca(OCl) ₂ por 2 h	28.2
	Ca(OCl) ₂ por 4 h	24
	Ca(OCl) ₂ por 8 h	21.8

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Pierce et al. (2018); Deconninck y Gerakis (2021); Šoch et al. (2023); Salazar Mercado et al. (2020).

En el caso de *Spiranthes ochroleuca* se resalta la importancia de un breve periodo de escarificación debido a las estrategias particulares desarrolladas por esta especie para lograr la germinación. Estas estrategias están relacionadas con su delgada cubierta de semillas, la presencia de aire entre las capas, la composición química específica y su capacidad de absorber agua. Por lo tanto, las semillas de *S. ochroleuca* requieren de una esterilización rápida (3 minutos) con hipoclorito de sodio al 10%, ya que un tiempo prolongado podría resultar en daño o muerte de las semillas. Para mejorar la germinación de las semillas de *S. ochroleuca*, se sugiere probar diversos métodos de preparación. Esto incluye considerar el tratamiento ultrasónico después de una limpieza química inicial o el cultivo de embriones jóvenes (Zale et al., 2022). Estas estrategias alternativas podrían ofrecer enfoques más efectivos y menos perjudiciales para optimizar el proceso de germinación de esta especie en particular.

En el proceso de crecimientos de las plántulas de *S. ochroleuca* se ha comprobado la importancia de la iluminación y se han identificado los sustratos óptimos para la aclimatación de estas. Las observaciones realizadas durante este proceso indican que las plántulas que crecen en completa oscuridad presentan signos de etiolación, un fenómeno caracterizado por un crecimiento anormal y alargado debido a la falta de luz (Figura 3). En plántulas cultivadas en la oscuridad, la etiolación se relaciona con la escotomorfogénesis. La exposición a la luz induce la desetiolación, marcada por la transición de etioplasto a cloroplasto y un cambio a crecimiento fotomorfogénico (Armarego-Marriott et al.,

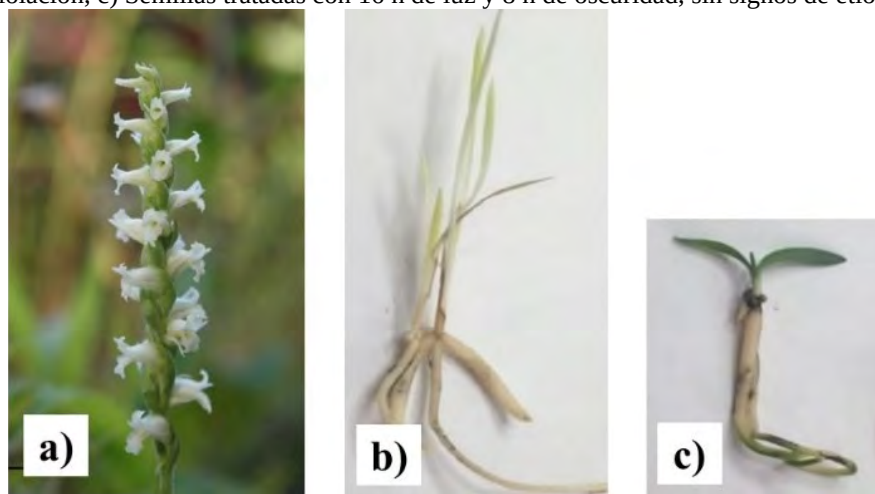
2019). Por lo tanto, se evidencia que las plántulas expuestas a la luz experimentan un crecimiento más saludable (Zale et al., 2022). La conexión entre estos fenómenos destaca la importancia crucial de las condiciones lumínicas en el desarrollo adecuado de las plántulas.

Tabla 4. Porcentajes de germinación del tratamiento con NaClO al 0.5% en las especies de *A. laxiflora* y *H. robertianum*

Duración (min)	<i>A. laxiflora</i>	<i>H. robertianum</i>
5	9.5	25
15	15	31
25	23	40
35	34	49
45	48	57
55	60	65
65	75	72
75	85	79
85	90	84

Nota. Elaboración propia con datos tomados de Katsalirou et al. (2019).

Figura 3. *Spiranthes ochroleuca*: a) Flor, b) Semillas tratadas con 0 h de luz y 24 h de oscuridad, mostrando signos de etiolación, c) Semillas tratadas con 16 h de luz y 8 h de oscuridad, sin signos de etiolación.



Nota. Elaboración propia a partir de Zale et al. (2022).

En el proceso de aclimatación ex vitro, se debe prestar especial atención a la selección de sustratos adecuados para asegurar la supervivencia de las plantas en ambientes naturales, como un invernadero o hábitat natural (Zale et al., 2022; Kang et al., 2020). Se ha observado que diferentes sustratos tienen un impacto significativo en las tasas de supervivencia de *Spiranthes ochroleuca*, siendo el musgo de Nueva Zelanda (NZ) el que presenta la tasa más alta de supervivencia (95%) y flores (20%), mientras que la mezcla de componentes de Jardines de Longwood (LWG) muestra la tasa más baja de supervivencia (55%) y flores (10%) (Zale et al., 2022).

Orquídeas epífitas

A medida que las semillas de *Vanilla planifolia* maduran, la capa exterior de la cubierta se vuelve impermeable debido a la acumulación de lignina y compuestos fenólicos, que inducen dormancia en las semillas (Yeh et al., 2021). Utilizando *V. planifolia* como caso de estudio debido a las características de sus semillas (Figura 4), se emplea una combinación de ácido y soluciones de hipoclorito para romper la dormancia física y fisiológica de sus semillas (Tabla 3), logrando una mejora significativa en el porcentaje de germinación (Šoch et al., 2023; Yeh et al., 2021). Sin embargo,

es preciso tener en cuenta que no se deben utilizar concentraciones fuertes de ácido sulfúrico, ya que esto podría causar daño a las semillas, impidiendo su germinación (Yeh et al., 2021). Además, se ha observado que remojar las semillas maduras de *V. planifolia* en una solución de hipoclorito de sodio al 4% durante un tiempo de 80 minutos incrementa la tasa de germinación. Durante el desarrollo, se aprecian cambios anatómicos en las semillas que influyen en el proceso de germinación (Yeh et al., 2021).

Este enfoque revela una adaptación de este tipo de semillas a la dispersión por animales, fenómeno conocido como dispersión endozoocórica (Šoch et al., 2023). En un estudio anterior, se demostró por primera vez la endozoocoria en *Vanilla*, y se destacó la importancia de la escarificación química de las semillas para sincronizar la germinación. Esto se debe a que las semillas son consumidas por aves y las capas duras de las semillas requieren la acción de los ácidos digestivos de estas (Pansarin, 2021).

En contraste, la implementación del sistema de inmersión temporal (SIT) en explantes de *V. planifolia* permitió que los tejidos vegetales absorban nutrientes, la cual fue evaluada mediante la variación de frecuencias y tiempos de inmersión para optimizar la micropropagación. Se observó que el SIT facilitó la iniciación de raíces con un éxito del 90% y demostró resultados positivos en trasplante y aclimatización, alcanzando una tasa de supervivencia del 90%. Estos hallazgos presentan opciones para la multiplicación a gran escala de vainilla después del proceso de escarificación (Ramos-Castellá et al., 2014).

Las necesidades nutricionales varían entre distintas especies de orquídeas, como en las semillas de *Gastrochilus matsuran*, que prosperan óptimamente en un medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS) sin vitaminas. La adición de agua de coco (CW) al medio de cultivo MS propició un incremento del 95.4% en la germinación de las semillas de *Gastrochilus japonicus*, así como un aumento del 72.8% en las de *G. matsuran*. Para obtener la tasa de germinación más favorable del 93% en *G. matsuran*, se ha utilizado una combinación de 5% de CW, 1 μ M de ácido α -naftalenacético (NAA) y 1.5 μ M de ácido giberélico (GA_3). Además, la inclusión de tidiazurón (TDZ) en el medio de cultivo mejora la formación de protocormos y protocormos secundarios (Kang et al., 2020).

Figura 4. *Vainilla planifolia*: a) Flor, b) Morfología de las semillas, c) Vainas en desarrollo.



Nota. Elaboración propia a partir de Yeh et al. (2021).

Para mejorar la germinación de semillas de *Vanilla planifolia*, se propone el uso de un medio de cultivo denominado BM-1, en conjunto con una temperatura de 30°C para obtener resultados positivos (Šoch et al., 2023). Las semillas de *V. bahiana*, *V. aff. odorata*, *V. phaeantha*, *V. planifolia* y *V. pompona* se desinfectaron y escarificaron con ácido sulfúrico durante 60 segundos, comparándolas con un grupo de control de semillas no escarificadas. Posteriormente, todas las semillas se introdujeron en frascos esterilizados que contenían el medio de cultivo MS y se supervisó el crecimiento de las plántulas a lo largo de un año. En todas las especies evaluadas, el proceso de germinación inició 3 meses después de la inoculación en las semillas escarificadas, mientras que, en las semillas no escarificadas, el proceso se retrasó y comenzó 9 meses después de la inoculación. Se observaron diferencias significativas en la germinación entre las semillas escarificadas y las no escarificadas, pero no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes especies en el grupo de semillas escarificadas (Pansarin, 2021).

Se realizaron diversos tratamientos en semillas de *Epidendrum* para mejorar la prueba de tetrazolio (Tabla 3), una técnica para evaluar la viabilidad de semillas. Se observó que el uso de agua desionizada mejoró la eficacia de la prueba de tetrazolio (0.25%) en ciertas especies de *Epidendrum*: *Epidendrum elongatum*, *Epidendrum fimbriatum* y *Epidendrum microtum*. Además, se identificó una alta correlación entre la viabilidad y la germinación al emplear agua desionizada y sacarosa al 10%. Aunque los resultados fueron consistentes en ambas sustancias, se sugiere el uso de agua destilada por consideraciones económicas (Salazar Mercado et al., 2020).

En un estudio donde se replicaron las fluctuaciones diarias de temperatura que ocurren en el hábitat de *Dracula felix*, una orquídea tropical ecuatoriana, las semillas maduras de una población nativa de esta especie perdieron su viabilidad con el tiempo y en temperaturas extremas. Aunque la germinación fue baja en todos los tratamientos, mejoró a 17/22 °C en comparación con temperaturas constantes. Sin embargo, las etapas tempranas del desarrollo de las plántulas solo se observaron en ciertos medios y condiciones de temperatura y luz. A pesar de probar hongos simbióticos, no se mejoró la germinación ni el desarrollo de las plántulas (Quijia-Lamiña et al., 2023).

En orquídeas epífitas tropicales de Ecuador, como *Cyrtorchilum myanthum*, *Scaphyglottis punctulata* y *Stelis superbiens*, se observa una diversidad de hongos similar a las especies terrestres. La falta de éxito en el estudio de Quijia-Lamiña et al. (2023) sugiere que no se seleccionaron los hongos apropiados para la germinación o el desarrollo de las plántulas. La corrección de esta elección podría resultar en una tasa de germinación más alta (Novotná et al., 2018). Con respecto a los factores que determinan la estructura de la comunidad micorrízica, el conocimiento que se tiene es limitado. Se ha sugerido que las poblaciones de orquídeas epífitas examinadas poseen comunidades micorrízicas específicas para cada sitio, estructuradas en torno a especies fúngicas clave (Cevallos et al., 2016). Esta información es crucial para encontrar la manera de conservar especies en peligro bajo diferentes condiciones climáticas y mediante el uso de soluciones esterilizantes como hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio (Quijia-Lamiña et al., 2023). Además, otra opción se encuentra en la micropropagación, ya que ha demostrado ser una herramienta valiosa para conservar especies en peligro. En este contexto, la propagación controlada en condiciones de laboratorio facilita la producción eficiente de plántulas, un elemento relevante para su preservación (Kang et al., 2020).

Las especies arbóreas tienen mejor respuesta al ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, contrario, a las orquídeas, que tienen mejores respuestas de germinación empleando agua desionizada y sacarosa (Figura 5).

Figura 5. Factores determinantes de la germinación con base en el porcentaje de germinación obtenido con las sustancias empleadas para la escarificación.



Nota. Elaboración propia.

Conclusiones

En muchas especies arbóreas las semillas están protegidas por cubiertas duras que impiden su germinación, al evitar la entrada de agua y nutrientes. Para eliminar esta barrera, se usan medios mecánicos o sustancias degradantes como el ácido sulfúrico o el ácido clorhídrico. En cambio, en las orquídeas, con semillas pequeñas y vulnerables a infecciones durante la germinación, se emplean soluciones desinfectantes para protegerlas y facilitar el rompimiento de la cubierta de la semilla. Se ha sugerido que el agua desionizada y la sacarosa, junto a la adecuada selección de un hongo compatible, son efectivas para la germinación. El desarrollo exitoso de las plántulas en especies arbóreas depende de

condiciones luminosas ideales, mientras que, para las orquídeas, tanto la luz como la temperatura son factores clave para el desarrollo de las plántulas. No obstante que la mayoría de las investigaciones se enfocan en la germinación inicial después de la escarificación, faltan estudios diseñados a largo plazo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. La influencia de la variabilidad genética en la eficacia de la escarificación y la adaptación de los procedimientos a diferentes poblaciones de plantas son áreas poco exploradas. También se plantea la posibilidad de combinar la escarificación con técnicas como la micropropagación para producir plántulas a gran escala.

Referencias bibliográficas

- Arceo-Gómez, T. M., Robles-Díaz, E., Manrique-Ortega, M., Martínez-Campos, Á. R., Aragón-Gastélum, J. L., Aguirre-Crespo, F., Ramírez-Albores, J. E., Pérez-Suárez, M., Robles, R., Reyes-Trujeque, J., Can-Estrada, A. A., Gutiérrez-Alcántara, E. J., Sánchez-Soto, B. H., y Zamora-Crescencio, P. (2022). Pre-Germinative treatments and morphophysiological traits in *Enterolobium cyclocarpum* and *Piscidia piscipula* (Fabaceae) from the Yucatan peninsula, Mexico. *Plants*, 11(21), 1-14. <https://doi.org/10.3390/plants11212844>
- Armarego-Marriott, T., Sandoval-Ibáñez, O., y Kowalewska, L. (2019). Beyond the Darkness: Recent lessons from etiolation and de-etiolation studies. *Journal of Experimental Botany*, 71(4), 1215-1225. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz496>
- Burrows G. E., Alden R., y Robinson W. A. (2019). Markedly different patterns of imbibition in seeds of 48 *Acacia* species. *Seed Science Research*, 29(4), 270-282. <https://doi.org/10.1017/S0960258519000242>
- Castillo, B. B. D., Valdivia, N. A. G., y Hernández, J. I. C. (2020). Emergencia y crecimiento de plántulas de *piscidia piscipula* (L.) sarg. en condiciones de vivero. *Acta Universitaria*, 30, 1-9. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2595>
- Cevallos, S., Sánchez-Rodríguez, A., Decock, C., Declerck, S., y Suárez, J. P. (2016). Are there keystone mycorrhizal fungi associated to tropical epiphytic orchids? *Mycorrhiza*, 27(3), 225-232. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0746-8>
- Deconinck, G., y Gerakis, A. (2021). Influence of scarification method on seed germination of the terrestrial orchid *Anacamptis laxiflora* (Lam.). *The eurobiotech journal*, 5(1), 15-23. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2021-0004>
- Deltalab, B., Naziri Moghadam, N., Khorrami Raad, M., y Kaviani, B. (2023). The effect of cold and acid scarification on seed germination of three green space tree species, *Journal of Ornamental Plant*, 13(2), 85-97. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.28210093.2023.13.2.2.5>
- Dessi, L., Podda, L., Brundu, G., Lozano, V., Carrouée, A., Marchante, E., Marchante, H., Petit, Y., Porceddu, M., y Bacchetta, G. (2021). Seed germination ecophysiology of *Acacia dealbata* link and *Acacia mearnsii* de Wild.: two invasive species in the Mediterranean Basin. *Sustainability*, 13(21), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su132111588>
- Hernández-González, O., Romo-Campos, R. L., Muñiz-Castro, M. A., y Flores, J. (2020). Light and irrigation effects on chlorophyll fluorescence depend on seedling provenance in *Magnolia pugana* endemic of Mexico. *Flora*, 271, 151684. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151684>
- Jaganathan, G. K. (2018). Physical dormancy alleviation and soil seed bank establishment in *Cassia Roxburghii* is determined by soil microsite characteristics. *Flora*, 244-245, 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.06.004>
- Jönsson M. T., y Thor, G. (2012). Estimating Coextinction risks from epidemic tree death: Affiliate lichen communities among diseased host tree populations of *Fraxinus excelsior*. *PLOS ONE*, 7(9), 1-10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045701>
- Kang, H., Kang, K., Kim, D. H., y Sivanesan, I. (2020). *In vitro* propagation of *Gastrochilus matsuran* (Makino) Schltr., an endangered epiphytic orchid. *Plants*, 9(4), 524. <https://doi.org/10.3390/plants9040524>
- Katsalirou, E., Gerakis, A., y Haldas, X. (2019). Optimal scarification times for seeds of two Mediterranean orchids. *European Journal of Environmental Sciences*, 9(1), 47-52. <https://doi.org/10.14712/23361964.2019.6>
- Kuswanto, F., y Li'aini, A. S. (2022). Mechanical scarification influence on *Gleditsia assamica* BOR water uptake and germination. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 14(2), 160-167. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v14i2.36348>
- Luera, P., Wahl-Villarreal, K., Christoffersen, B. O., Treviño, A., Soti, P., y Gabler, C. A. (2021). Effects of scarification, phytohormones, soil type, and warming on the germination and/or seedling performance of three Tamaulipan thornscrub forest species. *Plants*, 10(8), 1-40. <https://doi.org/10.3390/plants10081489>
- Miranda, R. Q., Oliveira, M. T. P., Correia, R. M., Almeida-Cortez, J. S., y Pompelli, M. F. (2011). Germination of *Prosopis juliflora* (SW) DC seeds after scarification treatments. *Plant Species Biology*, 26(2), 186-192. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00324.x>
- Nawrot-Chorabik, K., Pluciński, B., y Latowski, D. (2023). Indirect auxiliary organogenesis of *Fraxinus excelsior* L. as a tool for ash dieback control. *New Forests*. <https://doi.org/10.1007/s11056-023-09981-x>

- Nicolás, C., Nicolás, G., y Rodríguez, D. (1996). Antagonistic effects of abscisic acid and gibberellic acid on the breaking of dormancy of *Fagus sylvatica* seeds. *Physiologia Plantarum*, 96(2), 244-250. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00209.x>
- Nourmohammadi, K., Kartoolinejad, D., Naghdi, R., y Baskin, C. C. (2019). Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water-impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth. *Folia Oecologica*, 46(2), 115-126. <https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014>
- Novotná, A., Benítez, Á., Herrera, P., Cruz, D., Filipczyková, E., y Suárez, J. P. (2018). High diversity of root-associated fungi isolated from three epiphytic orchids in southern Ecuador. *Mycoscience*, 59(1), 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2017.07.007>
- Pansarin, E. R. (2021). Unravelling the enigma of seed dispersal in *Vanilla*. *Plant Biology*, 23(6), 974-980. <https://doi.org/10.1111/plb.13331>
- Pierce, S., Spada, A., Caporali, E., Ceriani, R., y Buffa, G. (2018). Enzymatic scarification of *Anacamptis morio* (Orchidaceae) seed facilitates lignin degradation, water uptake and germination. *Plant Biology*, 21(3), 409-414. <https://doi.org/10.1111/plb.12694>
- Priyadharshini, R., y Lekha, K. (2021). Effect of scarification methods on different forest seeds. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 6(3), 226-234. <https://doi.org/10.22161/ijeab.63.24>
- Quijia-Lamiña, P. H., Baquero, L. E., Kane, M. E., y Zettler, L. W. (2023). *In vitro* seed germination and seedling development of *Dracula Felix* (Luer) Luer—An orchid native to Ecuador. *Diversity*, 15(6), 732. <https://doi.org/10.3390/d15060732>
- Ramos-Castellá, A. L., Iglesias-Andreu, L. G., Bello-Bello, J. J., y Lee-Espinosa, H. E. (2014). Improved propagation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 50(5), 576-581. <https://doi.org/10.1007/s11627-014-9602-8>
- Rasmussen, H. N. (1992). Seed dormancy patterns in *Epipactis palustris* (Orchidaceae): Requirements for germination and establishment of mycorrhiza. *Physiologia Plantarum*, 86(1), 161-167. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb01325.x>
- Rehman, S. U., y Park, I. (2000). Effect of scarification, GA and chilling on the germination of goldenrain-tree (*Koelreuteria paniculata* Laxm.) seeds. *Scientia Horticulturae*, 85(4), 319-324. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00126-6)
- Salazar Mercado, S. A., Quintero Caleño, J. D., y Moreno Roza, L. Y. (2020). Improvement of the methodology of the tetrazolium test using different pretreatments in seeds of the genus *Epidendrum* (Orchidaceae). *Journal of Seed Science*, 42, 1-8. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42231028>
- Salazar, A., y Ramírez, C. (2019). Effects of mechanical and acid scarification on germination performance of *Schizolobium parahyba* (Fabaceae - Caesalpinioideae) seeds. *Journal of Tropical Biology & Conservation (JTBC)*, 16, 213-227. <https://doi.org/10.51200/jtbc.v16i0.2040>
- Samuel, K., Debashish, D., Madhumita, B., Padmaja, G., Prasad, S. R., Ramana Murthy, V. B., y Rao, P. S. (2009). *In vitro* germination and micropropagation of *Givotia rottleriformis* Griff. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 45(4), 466-473. <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9181-7>
- Santillán-Fernández, A., Zúñiga, A. S., y Bautista, N. V. (2018). La productividad de la vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) en México de 2003 a 2014. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 050-069. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.165>
- Šoch, J., Šonka, J., y Ponert, J. (2023). Acid scarification as a potent treatment for an *in vitro* germination of mature endozoochorous *Vanilla planifolia* seeds. *Botanical Studies*, 64(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40529-023-00374-z>
- Sugiyama, A., Friday, J. B., Giardina, C. P., y Jacobs, D. F. (2021). Intraspecific variation along an elevational gradient alters seed scarification responses in the polymorphic tree species *Acacia koa*. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.716678>
- Yeh, C. H., Chen, K., y Lee, Y. I. (2021). Asymbiotic germination of *Vanilla planifolia* in relation to the timing of seed collection and seed pretreatments. *Botanical Studies*, 62(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40529-021-00311-y>
- Zale, P. J., Clayton, A., Nix, J., y Taylor, M. (2022). Asymbiotic *in vitro* seed germination, *in vitro* seedling development, and ex vitro acclimatization of *Spiranthes*. *Applications in Plant Sciences*, 10(5), 1-8. <https://doi.org/10.1002/aps.3.11494>



REDISEÑO DE POKA-YOKE PARA MEJORAR PRODUCCIÓN EN CAJONERAS DE TOCADORES EN MUEBLES INDUSTRIA NUEVA PURUÁNDIRO

Cristian Alexis Villegas Bedolla¹, Lilian de Lourdes García Duarte²,
Lizeth Medina Magaña³, Oscar Pérez Andrade⁴

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 08/05/2024 Aceptado: 23/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a10>

Resumen.- En este estudio, se emprende una búsqueda de la perfección operativa, focalizada en la fase crítica de ensamblaje de los rieles de la cajonera de los tocadores en la fábrica Industria Nueva Puruándiro. Conscientes de los desafíos previos y la necesidad de mejorar la calidad del producto final, se adopta un enfoque innovador mediante la implementación de un sistema Poka-Yoke. Este sistema, meticulosamente diseñado y confeccionado con tecnología láser en una plantilla de madera MDF, se enfoca en agilizar la instalación de los rieles en el Tocado Normal, reduciendo así los errores y optimizando la eficiencia del proceso. Los objetivos específicos delineados abordan con precisión los puntos críticos del proceso de ensamblaje, buscando no solo minimizar errores y reducir los tiempos de ciclo, sino también garantizar mejoras sostenibles a través de una evaluación continua. El resultado final es un logro tangible: el dispositivo Poka-Yoke implementado durante el ensamblaje del mueble logra reducir drásticamente los tiempos de instalación de los rieles, aumentando la productividad en más del 200%. Esta transformación ejemplifica cómo la innovación y el enfoque en la calidad pueden impulsar una mejora significativa en los procesos de producción, allanando el camino hacia la excelencia operativa y la competitividad sostenible.

Palabras Clave: Poka-Yoke, rediseño, reingeniería, procesos, eficiencia.

POKA-YOKE REDESIGN TO ENHANCE DRESSER DRAWER PRODUCTION AT INDUSTRIA NUEVA PURUÁNDIRO FURNITURE

Abstract.- In this study, a quest for operational perfection is undertaken, focusing on the critical assembly phase of the drawer rails in the dressing tables at the Industria Nueva Puruándiro factory. Aware of past challenges and the need to enhance the quality of the final product, an innovative approach is adopted through the implementation of a Poka-Yoke system. This system, meticulously designed and crafted with laser technology on an MDF wooden template, aims to streamline the installation of rails on the Normal Dresser, thereby reducing errors and optimizing process efficiency. The specific objectives outlined precisely address the critical points of the assembly process, aiming not only to minimize errors and reduce cycle times but also to ensure sustainable improvements through continuous evaluation. The end result is a tangible achievement: the Poka-Yoke device implemented during furniture assembly dramatically reduces rail installation times, increasing productivity by over 200%. This transformation exemplifies how innovation and a focus on quality can drive significant improvements in production processes, paving the way for operational excellence and sustainable competitiveness.

Keywords: Poka-Yoke, redesign, reengineering, processes, efficiency.

Introducción

En un mundo donde la excelencia operativa es la meta perenne, los caminos hacia la eficiencia se entretajan con las voces sabias de los maestros del mejoramiento continuo. Como en un coro de conocimientos, desde la reflexión de

¹ Maestro en Calidad para la Productividad. Docente del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, adscrito a la academia de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0004-8694-9061> cristian.villegas@puruandiro.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

² Maestra en Ciencias. Docente del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, adscrito a la academia de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0003-0940-4060> lilian.garcia@puruandiro.tecnm.mx

³ Estudiante de sexto semestre del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, del programa educativo de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0002-2334-9427> mlizeth829@gmail.com

⁴ Estudiante de sexto semestre del Tecnológico Nacional de México Campus Puruándiro, del programa educativo de Ingeniería Industrial. <https://orcid.org/0009-0004-9175-5202> perandoscar@gmail.com

Barrios (2017) sobre la ciencia y técnica administrativa hasta el canto de George (2002) sobre la fusión entre la calidad de Six Sigma y la velocidad de Lean, cada autor añade una nota única a la sinfonía del progreso organizacional.

Desde México, Cabrera (2015) nos guía por el camino de Lean Six Sigma TOC Simplificado, mientras que en San Luis Potosí, Colunga y Saldierna (1994) desentrañan los secretos de los costos de calidad. No podemos olvidar a Gutiérrez (2005), quien desde la capital mexicana nos sumerge en el mar de la Calidad Total y la Productividad, ni a los defensores del PDCA y el poka-yoke, como PDCA (2017) y Soto (2011), quienes nos recuerdan la importancia de la planificación, ejecución y corrección en el camino hacia la perfección operativa.

Pérez, Morales, Anguera y Hernández (2015) nos invitan a explorar la calidad de servicio emocional en organizaciones deportivas, mientras que Rodríguez (2005) nos ofrece una brújula metodológica para navegar por las aguas turbulentas de la investigación.

Finalmente, Sosa (2002) nos equipa con las herramientas necesarias para el viaje hacia la mejora continua, recordándonos que el camino hacia la excelencia está pavimentado con el compromiso inquebrantable con la innovación y la perfección. En este relato polifónico, cada voz es un faro que ilumina el horizonte de la eficiencia empresarial.

La fábrica de muebles “Industria Nueva Puruándiro” se enfrenta a un desafío crítico en la fase de ensamblaje de los rieles de la cajonera de los tocadores, donde incluso los más mínimos errores pueden tener un impacto significativo en la calidad del producto final.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de mejorar la calidad del producto final, así como en la optimización de los procesos de producción en una industria competitiva y en constante evolución. La fase de ensamblaje de los rieles de la cajonera de los tocadores es crucial para asegurar la satisfacción del cliente y la reputación de la empresa en el mercado. Los errores en esta etapa no solo impactan la apariencia estética del mueble, sino también su funcionalidad y durabilidad, lo que puede resultar en reprocesos costosos y pérdida de recursos valiosos.

El rediseño e implementación de un sistema Poka-Yoke efectivo y confiable se presenta como una solución clave para abordar este problema. El objetivo general de esta investigación es mejorar la eficiencia operativa, reducir los tiempos de ciclo y elevar la calidad del producto final, centrándose especialmente en la minimización de desniveles en los tocadores. Para lograr este objetivo, se plantean objetivos específicos, como diseñar un sistema Poka-Yoke que reduzca los errores en el ensamblaje de los rieles de cajonera, implementar este sistema para agilizar el proceso de ensamblaje y evaluar su efectividad para garantizar una mejora sostenible en la calidad del producto final.

La hipótesis de esta investigación postula que la implementación exitosa de un sistema Poka-Yoke en el proceso de ensamblaje de los rieles de cajonera reducirá los tiempos de ciclo y los errores, mejorando así la calidad y eficiencia en la producción de tocadores en la fábrica de muebles Industria Nueva de Puruándiro.

En última instancia, esta investigación no solo busca resolver un problema específico en la fabricación de mobiliario, sino también contribuir al conocimiento y la experiencia en la implementación de sistemas Poka-Yoke en contextos industriales específicos, lo que podría beneficiar tanto a la empresa como a la comunidad de fabricantes de mobiliario en general.

Marco teórico

Poka Yoke

La expresión Poka Yoke, según lo señalado por Hernández (2017), se origina en dos vocablos japoneses: Poka (prevenir) y Yokeru (error no intencionado). Su significado podría entenderse como una práctica o labor destinada a prevenir errores no deliberados. Esta metodología fue concebida por el ingeniero Shigeo Shingo durante la década de 1960, en el marco del sistema de producción Toyota TPS.

El Poka-Yoke, según el autor Shimbun (1989), se destaca como una técnica esencial para prevenir errores humanos en el trabajo. Se considera una herramienta preventiva dentro de la filosofía Lean, y como señala Misiurek (2016), se centra en identificar y eliminar las causas de variaciones en el proceso que podrían dar lugar a defectos.

Además, de acuerdo con Saurin (2012) y otros, el Poka-Yoke se presenta como un sistema o dispositivo diseñado para prevenir y detectar anomalías que puedan afectar tanto la calidad del producto como la seguridad de los operadores.

Estos sistemas pueden adoptar diversas formas, incluyendo barreras físicas, funcionales o simbólicas, y contribuyen a la estabilización y reducción de la variabilidad en los procesos.

Tipos de Poka Yoke

Según Leroy (2018), se identifican cuatro categorías de Poka Yoke, que son las siguientes: Poka-yokes físicos, Poka-yokes secuenciales, Poka-yokes de agrupamiento y Poka-yokes de información. En el contexto de este caso de estudio, se aplicará un enfoque de Poka Yoke físico, que implica la implementación de dispositivos o mecanismos diseñados para garantizar la prevención de errores en operaciones y productos al detectar posibles inconsistencias de índole física.

Además, como lo comenta Socconini (2014) existen 6 niveles de Poka Yoke: compartir información, estándares visibles, estándares en el lugar de trabajo, advertir sobre anomalías, detectar anomalías y prevenir anomalías. Cada nivel aborda la prevención de errores de manera progresiva en el proceso.

También un Poka-Yoke, como destacan Fisher y Robinson (1999) abarca un amplio espectro de conceptos, aplicaciones de mecanismos simples, metodologías y dispositivos de control. Su propósito fundamental es prevenir, detectar, eliminar y corregir los errores en su origen, garantizando que ningún defecto alcance al cliente final. En su esencia, el Poka-Yoke constituye una salvaguardia integral de la calidad en la producción.

Beneficios de un Poka Yoke

Almazan, Osuna, Valdez, & Cotilla (2008) destacan que algunos de los beneficios son cuando se evitan errores, se reduce el desperdicio y el proceso opera continuamente, refuerza procedimientos operacionales o secuenciales, asegura la calidad en la fuente no en el resultado, elimina las decisiones que llevan a las acciones incorrectas.

Según González y Jimeno (2012), este sistema es claro y efectivo al eliminar el riesgo de errores en actividades repetitivas o donde los operarios pueden equivocarse. Esto permite que el trabajador se enfoque en tareas más valiosas en lugar de dedicar esfuerzos a prevenir o corregir errores. La implementación de Poka-Yoke mejora la calidad desde el origen, evita correcciones y controles posteriores, y estos sistemas son simples y económicos.

Además, de acuerdo con Hernández, Gómez, Mejía, Vargas y Guaderrama (2018), los sistemas Poka-Yoke requieren realizar una inspección exhaustiva del 100%, junto con proporcionar retroalimentación tanto al operador como a los auditores. Esto también implica tomar medidas inmediatas en caso de que ocurran defectos o errores.

Desafíos en la producción de muebles

En la actualidad, la fabricación de muebles de madera enfrenta desafíos críticos relacionados con la posibilidad de errores en diversas etapas del proceso de producción. Estos errores no solo afectan la calidad del producto final, sino que también generan inconsistencias entre muebles, creando variaciones no deseadas.

La necesidad de asegurar uniformidad y calidad en la producción de muebles es evidente. Casado & Castro (2020) proponen que los sistemas Poka-Yoke ofrecen una solución prometedora al prevenir errores y garantizar consistencia en la fabricación de muebles de madera. Sin embargo, la búsqueda constante de calidad y uniformidad en cada pieza se ve obstaculizada por variaciones inherentes a los procesos de producción, desde el corte de la madera hasta el ensamblaje final. Estas variaciones pueden afectar la estética, funcionalidad y percepción del cliente, además de representar riesgos de errores costosos y pérdida de tiempo. En consecuencia, abordar los desafíos de mantener altos estándares de calidad es crucial para el éxito en la industria de muebles de madera.

Ergonomía en el diseño de muebles

La ergonomía como lo dice Siqueira (2016) es una ciencia multidisciplinar que estudia las capacidades del ser humano, analizando aquellas características que afectan al diseño de bienes por él utilizados o a la manera en que desarrolla sus actividades, mediante la aplicación de conocimientos asociados a la Psicología, la Fisiología, la Ingeniería o la Biomecánica.

En la industria de fabricación de muebles, la ergonomía se ha vuelto crucial para el diseño y la producción de mobiliario. El énfasis en la estética, funcionalidad y comodidad ha renovado el interés en la ergonomía. La comodidad y la facilidad de uso son consideraciones clave, ya que los muebles desempeñan un papel esencial en la vida diaria. Cruz & Garnica (2011) señalan que la ergonomía es esencial para abordar el desafío de diseñar muebles que se adapten eficazmente a las necesidades y características de los usuarios, garantizando al mismo tiempo la salud y el bienestar.

Ocaña (2021) destaca la influencia positiva de la ergonomía en el diseño de muebles, resaltando su importancia para crear productos funcionales y cómodos, lo que contribuye a la calidad y satisfacción del cliente en la industria del mobiliario.

Reingeniería

Reingeniería es el concepto actual que se le da a los cambios drásticos que sufre una organización al ser reestructurados sus procesos. La base de la reingeniería es el servicio al cliente; describe un modelo de negocios, un conjunto correspondiente de técnicas que los ejecutivos y los gerentes tendrán que emplear para reinventar sus compañías, a fin de competir en un mundo nuevo, así lo menciona Hammer (1994).

Morris y Brandon (1994) postulan que la reingeniería implica el replanteamiento fundamental y el rediseño de los procesos empresariales con el objetivo de alcanzar mejoras sustanciales en diversas métricas de rendimiento, tales como costos, calidad, servicios y rapidez. Este enfoque busca optimizar los flujos de trabajo y aumentar la productividad de la organización.

Para Alfaro (2023) el rediseño de un proceso de negocio o el cambio completo de un proceso existente es reingeniería. Este enfoque representa un nuevo comienzo y conlleva un cambio arriesgado. Asimismo, el proceso de rediseño implica renunciar a métodos o conocimientos previamente establecidos, buscando la creación de un trabajo que genere valor para los clientes. En este contexto, la reingeniería también implica la reorganización de las empresas en torno a procesos eficientes y centrados en las necesidades del cliente.

Reingeniería en procesos

La reingeniería de procesos es una herramienta administrativa la cual consiste en estudiar los procesos productivos de organizaciones de cualquier sector. Pérez, Gisbert, Pérez (2017) dicen que, a través de esto, se pueden rediseñar procesos productivos realizando modificaciones en dichos procesos, los cuales van a repercutir en el rendimiento medio de costes, tiempo de ciclo, calidad del servicio y calidad del producto.

Según Zaratiegui (1999) la reingeniería, al triunfar, implica un gran avance equivalente a años de progreso gradual, superando a veces las mejoras paso a paso. Esto conlleva riesgos que deben ser compensados por los beneficios esperados. Por lo tanto, es esencial que los proyectos de reingeniería estén impulsados por las demandas del mercado y los clientes, quienes ya no se conforman con características similares ofrecidas por competidores, sino que exigen iniciativas innovadoras y atractivas.

Rafoso y Artiles (2011) también indican que la reingeniería de procesos representa una solución fundamental que implica la completa reinversión de los procesos, en lugar de simplemente mejorarlos o reestructurarlos. De esta manera, se destaca que esta práctica puede conferir a las organizaciones una significativa ventaja competitiva.

Pérez Canto (s.f.) enfatiza en su trabajo el enfoque basado en procesos como una metodología fundamental para la gestión de la calidad y la reingeniería. Esta perspectiva permite identificar, comprender y mejorar los procesos dentro de una organización.

Finalmente, Sharman (s.f.) destaca el papel del análisis económico y de desempeño en la reingeniería de procesos, subrayando la importancia de considerar factores económicos y de rendimiento al implementar cambios en los procesos organizacionales.

Gestión de calidad en los procesos

Según Nogueira Rivera y Medina León (2004), los fundamentos para el control de la gestión empresarial son esenciales para el éxito organizacional.

Rojas Moya (2007) aborda la gestión por procesos y la atención al usuario en el contexto de establecimientos del Sistema Nacional de Salud, lo que brinda una perspectiva específica sobre la aplicación de estos conceptos en el sector de la salud.

Materiales y métodos

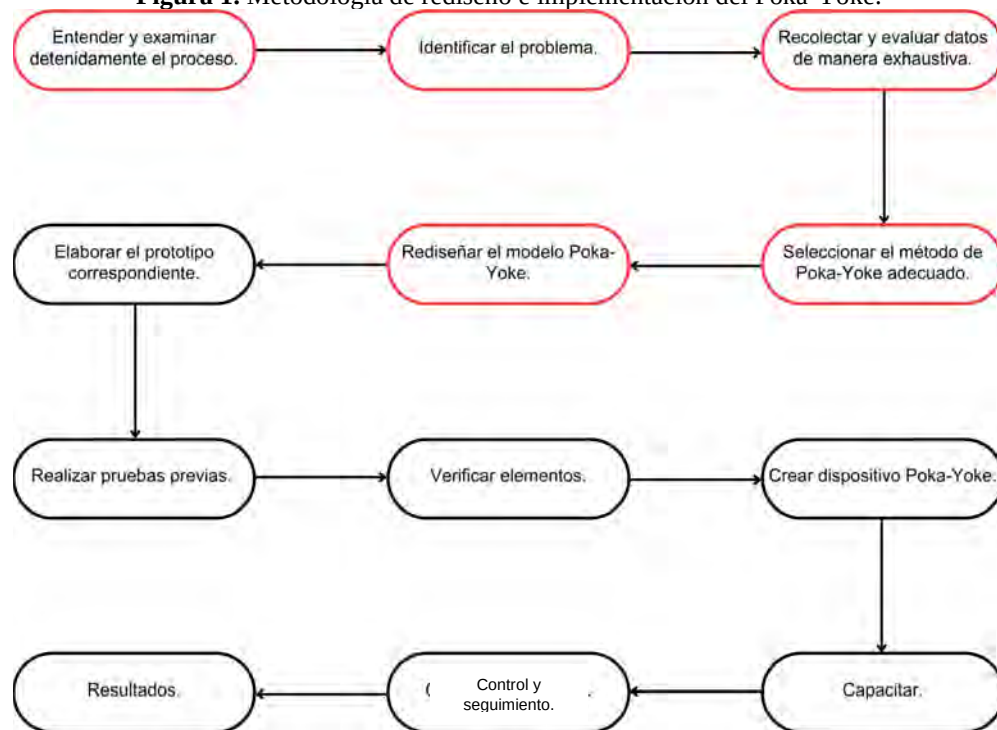
La presente investigación representa un esfuerzo significativo en la reevaluación y rediseño de un sistema crucial, abordado con un enfoque práctico y aplicado en el terreno mismo. La colaboración estrecha con la fábrica de muebles

Industria Nueva de Puruándiro ha sido fundamental en este proceso, ya que ha permitido un análisis profundo de los procesos existentes con el fin de detectar áreas de mejora concretas.

La metodología empleada para el rediseño del dispositivo Poka-Yoke se ha detallado minuciosamente en la Figura 1, proporcionando una visualización gráfica exhaustiva del proceso llevado a cabo en el desarrollo de este componente crucial. Esta representación gráfica no solo ofrece una comprensión clara de las etapas y acciones emprendidas en la implementación del sistema Poka-Yoke, sino que también brinda una guía práctica para aquellos involucrados en su ejecución.

El enfoque adoptado no solo ha permitido una comprensión más clara y completa de las diversas etapas del proceso de rediseño, sino que también ha facilitado la identificación de áreas específicas de mejora dentro del contexto único de la fábrica de muebles mencionada. Este método holístico no solo mejora la eficiencia y la efectividad del proceso de rediseño, sino que también promueve una implementación más fluida y exitosa del sistema Poka-Yoke en el entorno operativo real de la empresa.

Figura 1. Metodología de rediseño e implementación del Poka-Yoke.



Nota: Elaboración propia.

Desarrollo metodológico

Entender y examinar detenidamente el proceso.

Durante la etapa inicial, se visitó la fábrica de muebles Industria Nueva de Puruándiro con el propósito de familiarizarse con el proceso de producción de un “Tocador Normal”. Se exhibe en la Figura 2 proporcionada por Industria Nueva, el mueble ya terminado.

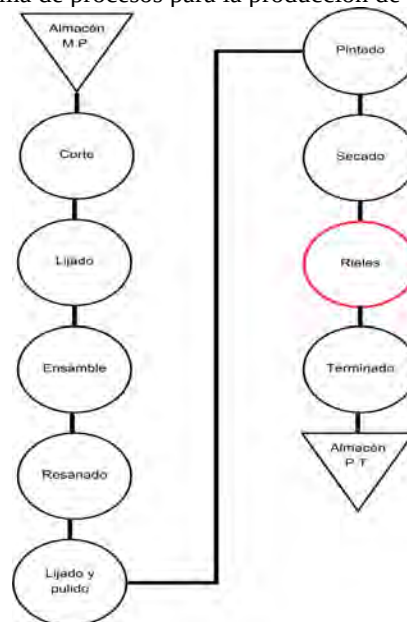
Se tiene el diagrama de procesos para la producción de “Tocador Normal” el cual proporcionará una visión clara de la secuencia de actividades y señalará el punto específico donde la implementación del dispositivo optimizará la eficiencia y la precisión en el ensamblaje de los rieles de la cajonera.

Figura 2. Imagen de mueble tipo “Tocador Normal” terminado.



Nota: Elaboración propia.

Figura 3. Diagrama de procesos para la producción de “Tocador Normal”.



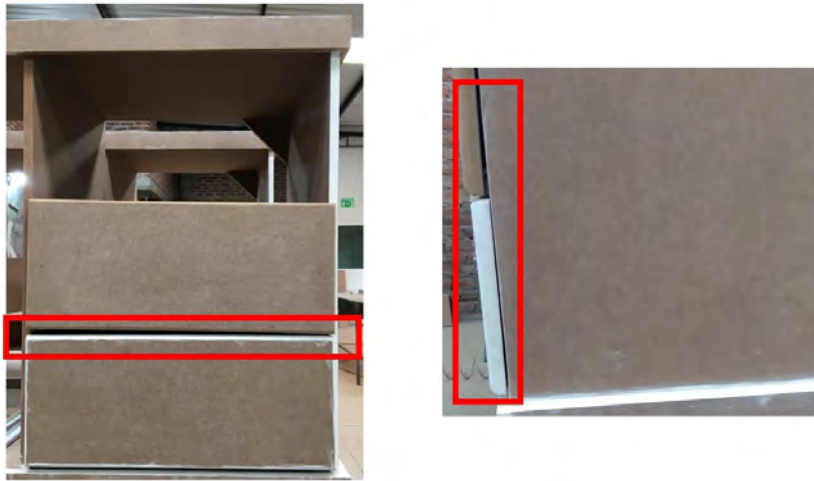
Nota: Elaboración propia.

Identificar el problema.

Tras un análisis exhaustivo del proceso de fabricación de un "tocador normal", específicamente en la etapa de instalación de los rieles para la cajonera, se identificó una problemática significativa en términos de eficiencia (considerando el tiempo al momento de instalar) y precisión (para cuando se tienen instalados y presentan deficiencias).

La instalación manual de los tres rieles de cada lado, seis en total, conlleva desafíos considerables. La medición de distancias exactas y la fijación de los rieles sin ningún tipo de soporte resulta en una pérdida considerable de tiempo. Esta tarea no solo es laboriosa, sino que también presenta dificultades para asegurar la alineación precisa en cada ocasión, generando inconsistencias en la calidad del producto final.

Figura 4. Desniveles presentados en los cajones.



Nota: Elaboración propia.

Este reconocimiento del problema sienta las bases para la implementación de un dispositivo Poka-Yoke que optimice y simplifique el proceso de instalación de rieles, abordando tanto la eficiencia como la precisión.

Figura 5. Mueble en su etapa de rieles.



Nota: Elaboración propia.

Figura 6. Instalación de rieles sin algún dispositivo.



Nota: Elaboración propia.

Dada la naturaleza de este proyecto como un remodelado del Poka-Yoke, es imperativo realizar nuevas mediciones y un rediseño exhaustivo. Las lecciones aprendidas del diseño anterior resaltan la necesidad de una aproximación más precisa. La toma de medidas frescas y un rediseño es fundamental para rectificar las deficiencias anteriores, asegurando que el Poka-Yoke mejorado se alinee perfectamente con el proceso de instalación de rieles en la cajonera del "tocador nuevo".

Figura 7. Prototipo de Poka Yoke entregado anteriormente.



Nota: Elaboración propia.

Recolectar y evaluar datos de manera exhaustiva.

Se llevó a cabo una visita a las instalaciones de Industria Nueva, durante la cual se realizaron mediciones precisas en el mueble "tocador nuevo". Específicamente, se midieron con exactitud las distancias y ubicaciones donde deben ser instalados los rieles, asegurando una comprensión integral de las dimensiones clave para el proceso de fabricación, como se observa en la Figura 8.

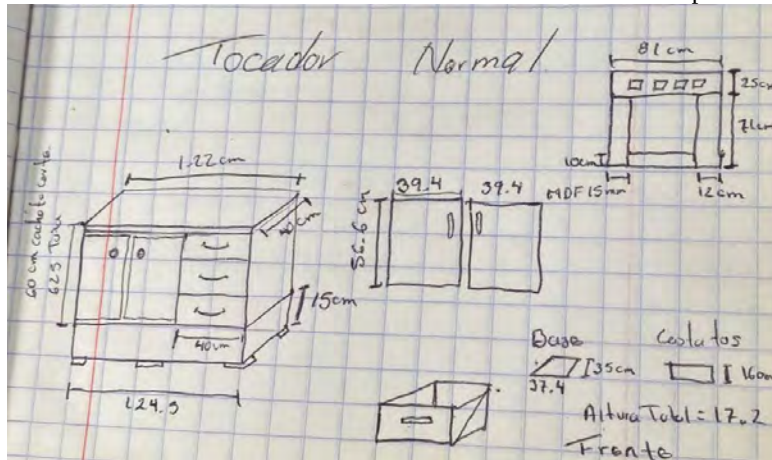
Figura 8. Imágenes donde se toman las medidas de la cara lateral interior.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se tuvo acceso al boceto (Figura 9) detallado que la fábrica utiliza como referencia para la fabricación del "tocador normal". Este boceto proporcionó medidas exactas de todos los elementos que componen el tocador, permitiendo una comprensión profunda de las especificaciones necesarias para la instalación de los rieles.

Figura 9. Boceto utilizado en la fabricación de “tocador normal” utilizado por industria nueva.

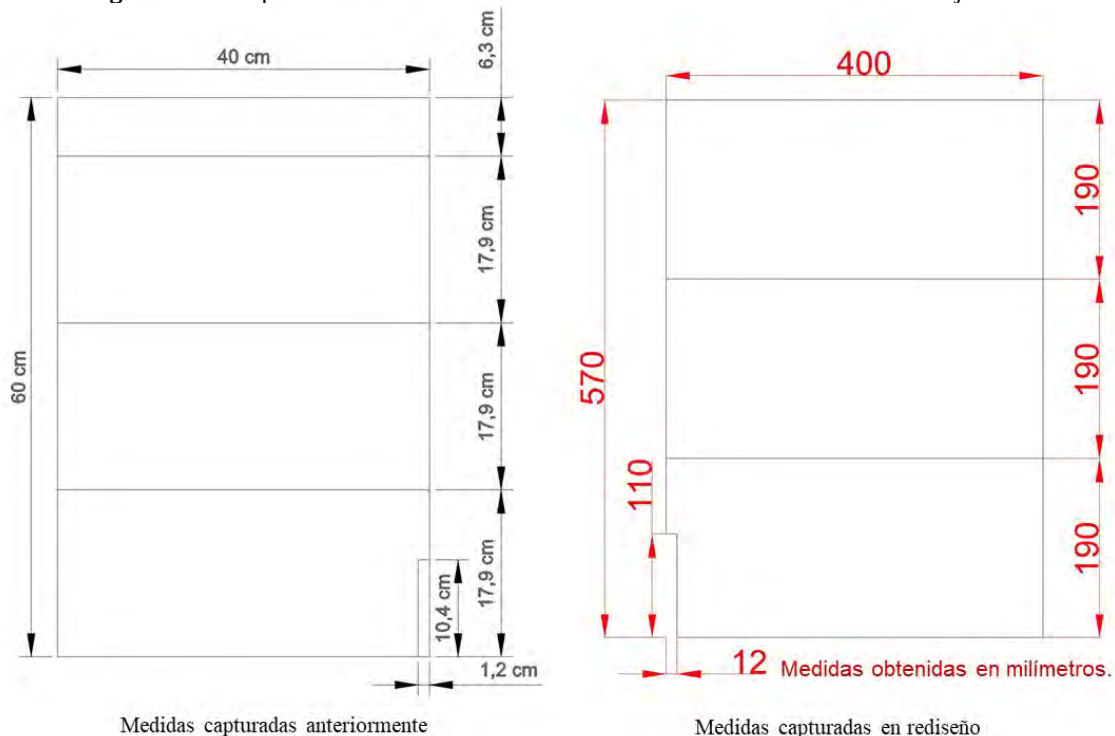


Nota: Elaboración propia.

La evidencia visual proporciona una comparación gráfica entre las medidas previas y las actuales, centrándose específicamente en las dimensiones de la cara interior de la base del tocador, donde se ubican los rieles. Esta representación visual detallada destaca de manera clara las mejoras dimensionales logradas mediante el rediseño del Poka-Yoke. Este análisis cuantitativo, centrado en las medidas cruciales para la colocación de rieles, respalda de manera sólida la eficacia y la necesidad del proceso de rediseño implementado en términos de optimización de la precisión en la instalación.

La medición del tiempo reveló que el proceso de instalación sin asistencia en promedio fue de 17:02 minutos. En específico, el primer riel demandó 4:44 minutos, el segundo 6:06 minutos y el tercero 6:12 minutos. Es importante señalar que esta medición corresponde a una sola cara lateral; por ende, es necesario repetir el proceso para la otra cara y así colocar los restantes 3 rieles, sumando un total de 6 rieles a instalar.

Figura 10. Comparación de las medidas de las caras laterales del interior de la cajonera.



Nota: Elaboración propia.

Seleccionar el método de Poka-Yoke adecuado

En este paso crucial, se determina que el método de Poka-Yoke a diseñar adoptará un enfoque preventivo, actuando antes de que se produzca un error durante la instalación de los rieles. Este diseño preventivo incorpora un control de calidad en la producción, buscando optimizar el tiempo empleado en el proceso y mitigar significativamente el riesgo de posibles errores. Este enfoque proactivo asegura una intervención efectiva antes de que se generen problemas, fortaleciendo la eficiencia y la calidad en el ensamblaje de los rieles.

Rediseñar el modelo Poka-Yoke

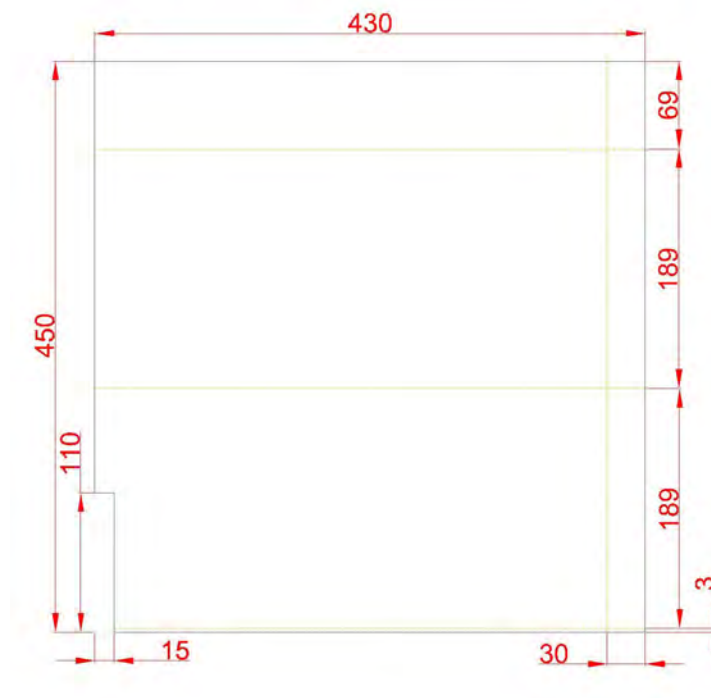
En este paso, se empleó la teoría aprendida y se comprendieron las necesidades específicas de la fábrica de muebles Industria Nueva. Utilizando el software AutoCAD, se llevó a cabo el rediseño del Poka-Yoke, creando una plantilla basada en la cara lateral interna de la cajonera. Durante este proceso, se consideraron factores cruciales, primeramente, el espacio de 3 mm sobre la base para el primer riel provocando que la longitud vertical de la cara lateral de la cajonera sea no de 570 mm, si no de 567 mm, haciendo que la distancia entre los 3 rieles sea de 189 mm, después se le dio un poco más de margen en el espacio o pestaña que tiene en una esquina inferior esta cara lateral interior.

Para garantizar una instalación precisa de los rieles al margen de la cara lateral se otorgó un margen adicional en la esquina inferior y se proporcionó un espacio de 30 mm para la colocación del eje vertical de los rieles, provocando que la longitud horizontal del Poka-Yoke sea de 430 mm.

Al reconocer las variaciones en las dimensiones de los rieles, se abandonó la idea de calcar la silueta exacta, optando en su lugar por identificar puntos clave de apoyo que facilitarían la instalación, como se muestra en la figura 12.

Se creó una silueta de riel que permite la colocación de rieles de diversas dimensiones, asegurando la adaptabilidad del Poka-Yoke. Esta silueta se ubicó en la plantilla utilizando ejes horizontales y un eje vertical, a continuación, se muestran las dimensiones de la silueta utilizada para la instalación de los rieles.

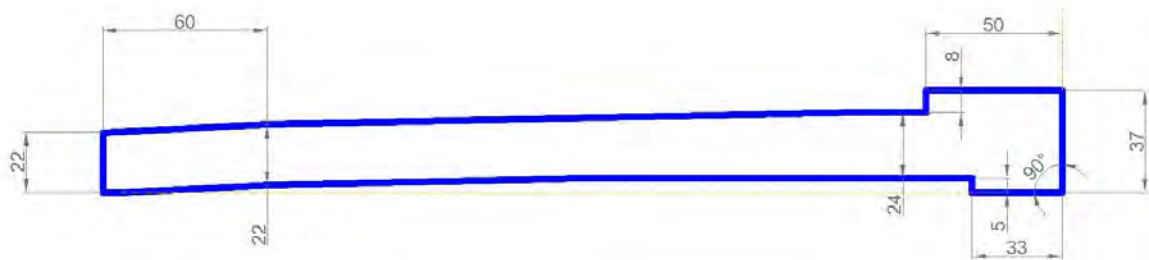
Figura 11. Limites de Poka-Yoke.



Nota: Elaboración propia.

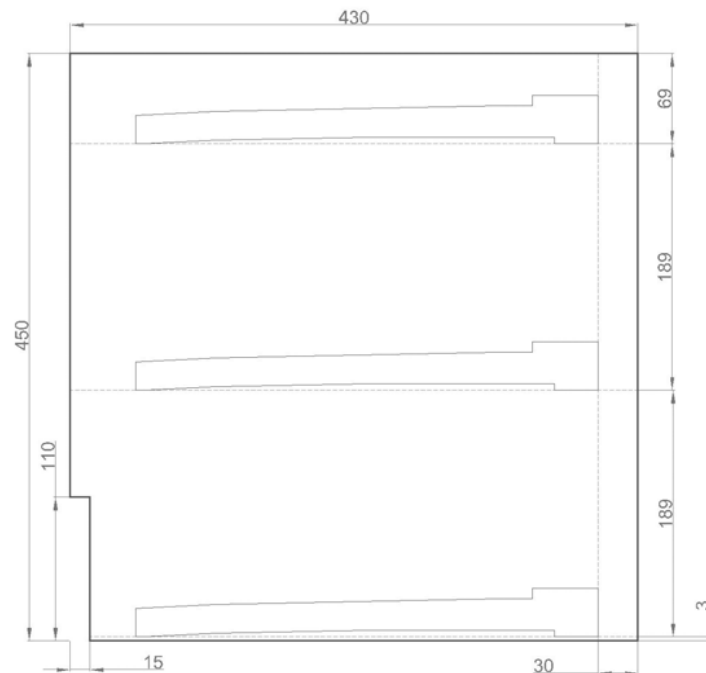
Figura 12. Puntos de apoyo de los rieles.

Nota: Elaboración propia.

Figura 13. Medida de silueta de rieles.

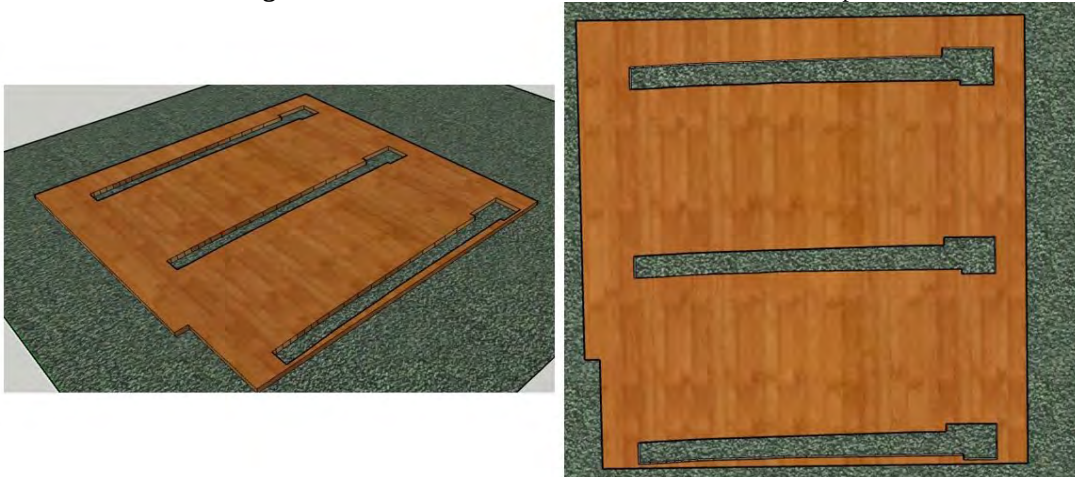
Nota: Elaboración propia.

Finalmente, se determinó que la longitud vertical de la plantilla no necesitaba ser de 570 mm, sino que 450 mm era suficiente. Durante la fabricación física del Poka-Yoke, se estableció un grosor de 12 mm para garantizar resistencia y durabilidad. Este proceso integral asegura que la plantilla diseñada cumpla con los requisitos específicos y las condiciones de producción en la fábrica. A continuación, se muestra el rediseño del modelo Poka-Yoke terminado.

Figura 14. Modelo 2D de Poka Yoke terminado.

Nota: Elaboración propia.

Figura 15. Modelo 3D de Poka Yoke hecho en SketchUp.



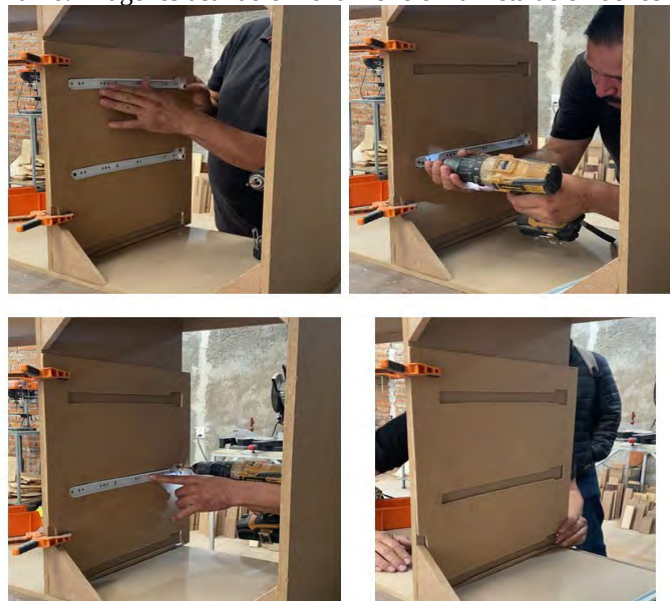
Nota: Elaboración propia.

Resultados

Como producto final, se obtuvo un dispositivo Poka-Yoke tangible, confeccionado en una plantilla de madera MDF de 12 mm de grosor mediante tecnología láser para garantizar precisión. Este dispositivo fue diseñado para optimizar la instalación de rieles en el "Tocador Normal", específicamente en la fase de colocación de seis rieles que servirán para tres cajones de la cajonera.

En la fábrica Industria Nueva, se aplicó el Poka-Yoke durante el ensamblaje del mueble, reduciendo significativamente los tiempos de instalación de los rieles, alcanzando un promedio de 2 minutos con 45 segundos por cara lateral de la cajonera. Considerando ambas caras laterales, el tiempo total se reduce a 5 minutos con 40 segundos. Esta mejora representa una disminución sustancial en los tiempos de colocación de rieles, superando el 200% de aumento en la productividad. Se adjuntará una imagen que ilustra las fórmulas utilizadas para calcular la productividad en ambos sistemas.

Figura 16. Imágenes usando el Poka Yoke en la instalación de los rieles.



Nota: Elaboración propia.

Figura 17. Cálculo de productividad.

El tiempo de colocación se redujo un total de 11 minutos y 22 segundos

$$Productividad = \frac{Producción\ realizada}{Minutos\ utilizados}$$

$$Productividad\ antigua\ (Po) = \frac{1\ colocación\ de\ rieles}{17.0333\ minutos} = 0.05870\ colocacion\ de\ rieles\ en\ un\ minuto$$

$$Productividad\ nueva\ (P1) = \frac{1\ colocación\ de\ rieles}{5.6666\ minutos} = 0.1764\ colocacion\ de\ rieles\ en\ un\ minuto$$

$$Tasa\ de\ variación\ de\ productividad\ global(TVP) = \frac{P1 - Po}{Po} \times 100$$

$$(TVP) = \frac{0.1764 - 0.05870}{0.05970} \times 100 = 200.51\%$$

La productividad aumenta en un 200.51% con respecto a cuantas colocaciones de rieles se hacen en un minuto

Nota: Elaboración propia.

La implementación del dispositivo Poka-Yoke no solo ha demostrado ser eficaz en la reducción de tiempos durante la instalación de los rieles, sino que también presenta beneficios notorios en entornos de producción ya que estos muebles tipo tocador nuevo se realizan por lotes de 6 muebles.

La consistencia mejorada en la colocación de los rieles en ambas caras laterales de la cajonera contribuye a una mayor uniformidad en el producto final. Este enfoque no solo favorece al fabricante al manejar una cantidad considerable de tocadores diariamente, sino que también realza la coherencia y calidad general de los muebles producidos.

Figura 18. Rieles colocados ya con el Poka Yoke.

Nota: Elaboración propia.

Discusión

La investigación presenta resultados alentadores sobre la implementación de un dispositivo Poka-Yoke en el proceso de instalación de rieles en muebles tipo tocador, lo cual es un tema relevante en la industria manufacturera. La reducción significativa en los tiempos de instalación y el aumento sustancial en la productividad son aspectos destacables que merecen una discusión más profunda y detallada.

En primer lugar, es crucial analizar la eficacia del dispositivo Poka-Yoke en la mejora de los procesos de fabricación. Si bien los resultados obtenidos en la fábrica Industria Nueva son prometedores, es importante considerar la transferencia de este enfoque a otros contextos de producción. ¿El diseño del dispositivo y su metodología son fácilmente adaptables a diferentes tipos de muebles o procesos de fabricación? ¿Se han identificado posibles limitaciones o desafíos en la implementación del Poka-Yoke en otros entornos industriales?

Además, es fundamental examinar el impacto económico de la implementación del Poka-Yoke. Si bien se observa una mejora significativa en la productividad, es necesario evaluar si los beneficios obtenidos superan los costos asociados con el diseño, fabricación y mantenimiento del dispositivo. ¿Se ha realizado un análisis costo-beneficio exhaustivo que considere todos los aspectos financieros de la implementación del Poka-Yoke? ¿Se han identificado posibles áreas de optimización en términos de costos o eficiencia en la producción?

Otro punto relevante es el impacto en la calidad del producto final. Si bien se menciona que la consistencia mejorada en la colocación de los rieles contribuye a una mayor uniformidad en los muebles, es importante considerar otras métricas de calidad que puedan verse afectadas por la implementación del Poka-Yoke. ¿Se han realizado pruebas de durabilidad, resistencia u otras pruebas de calidad para asegurar que el dispositivo no comprometa la integridad estructural o estética del mueble? ¿Qué medidas se han implementado para garantizar que la calidad del producto final no se vea comprometida en aras de una mayor eficiencia en el proceso de fabricación?

Además, es crucial abordar la aceptación y capacitación del personal en la utilización del dispositivo Poka-Yoke. ¿Cómo se ha llevado a cabo la formación de los trabajadores para asegurar una implementación exitosa y sostenible? ¿Existe resistencia al cambio por parte de los empleados, y de ser así, qué estrategias se están utilizando para abordar este desafío? ¿Se ha considerado la retroalimentación y la participación activa de los trabajadores en el proceso de implementación del Poka-Yoke?

Si bien los resultados presentados son prometedores, es necesario realizar un análisis exhaustivo y detallado de varios aspectos para evaluar completamente la viabilidad y efectividad del dispositivo Poka-Yoke en entornos de fabricación de muebles para futuras investigaciones derivada de esta. Abordar dichas cuestiones proporcionará una comprensión más completa de los beneficios y desafíos asociados con la implementación de esta innovadora herramienta en la industria manufacturera.

Conclusiones

En conclusión, el proyecto de rediseño y aplicación del dispositivo Poka-Yoke para la fase de instalación de rieles en la fabricación del "Tocador Normal" en Industria Nueva de Puruándiro ha resultado exitoso.

Aprendiendo de las lecciones de un intento anterior, donde las medidas y el material no fueron precisos, esta vez se logró un diseño más acertado. La utilización de madera MDF de 12 mm cortada con láser permitió una mayor precisión en las dimensiones del Poka-Yoke. Los resultados indican una reducción significativa de los tiempos de instalación de los rieles, consiguiendo un tiempo promedio de 5 minutos con 40 segundos para la instalación completa de los rieles de la cajonera. Esta mejora no solo se traduce en eficiencia operativa, sino que también se refleja en un aumento de más del 200% en la productividad de instalación de rieles, un indicador clave para el fabricante. Además, la uniformidad en la colocación de los rieles en ambas caras laterales de la cajonera destaca la consistencia y calidad mejorada del producto final.

Demostrando también ser una solución efectiva para el personal de producción, aliviando la tediosa tarea de medir repetidamente durante la instalación de los rieles. La simplificación de este proceso ha contribuido a una mayor comodidad y satisfacción en el trabajo, este éxito resalta la importancia de considerar cuidadosamente las especificaciones del diseño y la elección del material para el desarrollo efectivo de dispositivos Poka-Yoke.

Referencias bibliográficas

- Alfaro, G. (2023). Reingeniería de Procesos como una Herramienta para la Mejora de la Productividad en las Empresas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 1623-1641. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7835
- Almazan, B., Osuna, S., Valdez, K., & Cotilla, I. (2008). Poka Yoke. Obtenido de: <https://www.gestiopolis.com/poka-yoke-tecnica-de-calidad-para-la-mejora-continua/>. Consultado: 25/04/2024
- Barrios, S. 2017. *Ciencia y Técnica administrativa*. Obtenido de: <http://www.cyta.com.ar/ta1202/v12n2a2.htm> Consultado: 25/04/2024
- Cabrera, R. C. 2015. Lean Six Sigma TOC Simplificado. México .
- Casado, M. A. P., & Castro, J. M. V. (2020). Modelo Lean Manufacturing de mejora de procesos para lograr el cumplimiento del programa de producción de una empresa dedicada a la fabricación de muebles. Obtenido de: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653189/Paredes_CM.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Consultado: 25/04/2024
- Colunga, C., & Saldierna, A. 1994. *Costos de la calidad*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de ingeniería.
- Cruz, A., & Garnica, A. (2011). Ergonomía aplicada. Eco e Ediciones.
- Fisher, M. (1999). Process improvement by poka-yoke. *Work Study*, vol. 48, no. 7, p. 264– 266. DOI:10.1108/00438029910294153.
- George, M. L. 2002. *Lean six sigma: combining six sigma Quality with lean speed*. USA: The McGraw- Hill.
- González, R. & Jimeno, J. (2012). POKA YOKE – Diseño a prueba de errores. Obtenido de: <https://www.pdcahome.com/poka-yoke/>. Consultado: 25/04/2024
- Gutiérrez, H. 2005. *Calidad Total y Productividad*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Hammer, M. Y. (1994). Reingeniería. Santa fé de Bogotá: Norma.
- Hernandez, L. (2017). Técnicas para ahorrar costos logísticos. Marge Books.
- Hernández, T., Gómez, K., Ibarra, G., Vargas, M., & Máynez, A. (2018). Implementación de poka-yoke en herramental para disminución de ppms en estación de ensamble. *Cultura Científica Y Tecnológica*, (64). Obtenido de: <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/2483>. Consultado: 25/04/2024
- Leroy, G. (2018). Propuesta de implementación del lean manufacturing para disminuir los costos operativos en la línea de proceso de arándano fresco en la empresa Camposol S. A. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/13856>.
- Misiurek, B. (2016). Standardized work with TWI: eliminating human errors in production and service processes. CRC Press, New York.
- Morris, D. y. (1994). Reingeniería. Cómo aplicarla con éxito en los negocios. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Nogueira, D., & Medina, A. (2004). Fundamentos para el Control de la Gestión Empresarial. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/328722967_Fundamentos_para_el_Control_de_la_Gestion_Empresaria/fullTextFileContent. Consultado: 25/04/2024
- PDCA. (2017). PDCA POKAYOKE. Obtenido de: <http://www.pdcahome.com/poka-yoke/>. Consultado: 25/04/2024
- Pérez, R., Morales, V., Anguera, M. T., & Hernández, A. 2015. Hacia la calidad de servicio emocional en organizaciones deportivas orientadas a la población infantil: un análisis cualitativo. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio y el Deporte*, 10(2). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3111/311137747009.pdf>. Consultado: 25/04/2024
- Ponjuan Dante, G., & Villardefrancos Álvarez, M. d. (2005). Principios y métodos para el mejoramiento organizacional. La Habana.
- Rodríguez, E. 2005. *Metodología de la investigación*. Villahermosa: Universidad Autónoma de Tabasco.
- Rojas Moya, J. L. (2007). Gestión por procesos y atención al usuario en establecimientos del Sistema Nacional de Salud. Disponible en: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2007b/269/index.htm>. Consultado: 25/04/2024
- Sharman, P. (s.f.). El Rol del análisis económico y de desempeño en la reingeniería de procesos. Disponible en: https://dit.upm.es/~fsaez/intl/capitulos/5%20-Reingenier%EDa%20_I_.pdf. Consultado: 25/04/2024
- Sosa, D. (2002). *Conceptos y herramientas para la mejora continua*. México: Limusa, S. A. de C. V
- Soto, D. (2011). *Perspectiva de la gestión de la innovación desde los mecanismos a prueba de falla Poka-Yoke*. Escenarios. Vol 9, No.1, pàg. 52-59. Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/225609881.pdf>. Consultado: 25/04/2024
- Ocaña, V. (2021). La ergonomía y su aplicación en el diseño de ambientes de cocina. caso de análisis: normativa Inen 1646 [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8339/1/5.-TESIS%20Ver%C3%B3nica%20Oca%C3%B1a%20Parra-MDGD.pdf>

- Pérez, G., Gisbert, V. & Pérez, E. (2017). Reingeniería de Procesos. 3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, Edición Especial, 81-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.81-91>
- Rafoso, S., & Artiles, S. (2011). Reingeniería de procesos: conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones. Ciencias de la Información, 42(3), 29-37. Obtenido de: <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciasdelainformacion/2011/vol42/no3/4.pdf>. Consultado: 25/04/2024
- Shimbun, N. (1989) Poka-yoke: Improving product quality by preventing defects. Productivity Press, Portland, OR.
- Saurin, T.A., Ribeiro, J.L.D., Vidor, G. A. (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. Journal of Manufacturing Systems, vol 31, no. 3, p. 358–366, DOI: 10.1016/J.JMSY.2012.04.001.
- Siqueira De Queiroz Simoes, J. (2016). Importancia del mobiliario ergonómico en la salud y productividad de los trabajadores. Revista Arte Y Diseño A&D, (4), 68-74. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/ayd/article/view/19625>. Consultado: 25/04/2024
- Socconini, L. (2014). Certificación Lean six sigma yellow belt: para la excelencia en los negocios. Marge Books.
- Zaratiegui, J. R. (1999). La Gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. Economía Industrial No.330, 81-88. <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/330/12jrza.pdf>. Consultado: 25/04/2024



<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>
<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a10>

<https://www.facebook.com/avacient>

INCLUSIÓN FINANCIERA DE LAS MUJERES EN MÉXICO: UN ANÁLISIS A TRAVÉS DE UN MODELO ECONOMETRICO

Anahí Oviedo Rivas¹, Juana Edith Navarrete Marneou²,
Robert Beltrán López³

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

Recibido: 09/01/2024 Aceptado: 31/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a11>

Resumen.- La inclusión financiera es un elemento fundamental que debe ser incorporado en los temas prioritarios a tratar por los países para disminuir la brecha de género en grupos vulnerables, esta investigación analiza la inclusión financiera de la mujer en México a través de un modelo econométrico no lineal probit con 7345 datos de la Encuesta Nacional de Inclusión Financiera 2021; dando como resultado que las mujeres casadas presentan la menor probabilidad de poseer una cuenta de ahorro y/o tarjeta de crédito; y las mujeres solteras y divorciadas tienen la mayor probabilidad de hacer uso de una tarjeta de crédito o de una cuenta de ahorro y esto puede deberse en gran medida al papel que las mujeres desempeñan en sus hogares y que por consecuencia las ponen en desventaja financiera. Los resultados de este trabajo de investigación permiten evidenciar la existencia de obstáculos que viven las mujeres en su día a día y lo cual es un reto para los gobiernos actuales, pues esto es fundamental para que los Gobiernos puedan tomar decisiones encaminadas a la promoción de la inclusión financiera en el país y a la reducción de las barreras de género.

Palabras clave: Mercados financieros, bancos, finanzas personales, equidad.

FINANCIAL INCLUSION OF WOMEN IN MEXICO: AN ECONOMETRIC MODEL

Abstract.- Financial inclusion is a fundamental element that must be included in the priority issues to be addressed by countries in order to reduce the gender gap in vulnerable groups. This research employs a non-linear probit econometric model to analyze the financial inclusion of women in Mexico. The analysis is based on 7,345 data points from the 2021 National Financial Inclusion Survey. The findings indicate that married women are the least likely to have a savings account and/or credit card. Conversely, single and divorced women are most likely to use a credit card or savings account. This may be largely due to the role that women play in their homes, which consequently puts them at a financial disadvantage. The findings of this research demonstrate the existence of obstacles that women encounter in their daily lives, which present a challenge for current governments. It is essential for governments to be able to make decisions aimed at promoting financial inclusion in the country and reducing gender barriers.

Keywords: Financial markets, banking, personal finance, equity.

Introducción

El acceso al Sistema Financiero formal permite a la población emprender acciones financieras, como el ahorro y la posibilidad de planear para el futuro; no obstante, existe evidencia de personas que aún no forman parte de dicho sistema, en particular aquellas que pertenecen a grupos vulnerables como es el caso de las mujeres. La Inclusión Financiera (IF) se refiere al nivel de uso y acceso a servicios y/o productos financieros bajo un marco legal que protege al consumidor y propicia las competencias económico-financieras (PNIF, 2021).

En este sentido la IF, permite a las mujeres ejercer una autonomía económica, el empleo de diversos instrumentos financieros incrementa las posibilidades de planificar la economía personal y por ende la familiar, así mismo permite hacer inversiones o tener la capacidad de responder ante una situación de emergencia.

¹ Pasante de la Maestría en Gestión y Desarrollo Empresarial e Ingeniera en Gestión empresarial, correo electrónico: anahior2819@gmail.com <https://orcid.org/0009-0002-1011-5162>

² Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Cuerpo Académico de Estudios Administrativos y Organizacionales. Miembro del SNII nivel I, correo electrónico: emarneou@uqroo.edu.mx; <https://orcid.org/0000-0002-0168-6599> (**Autor correspondiente**).

³ Profesor del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Chetumal. Miembro SNII I. robert.bl@chetumal.tecnm.mx. Cuerpo Académico Contabilidad Empresarial y Gobierno. <https://orcid.org/0000-0001-5667-8732>

De acuerdo con López (2021) la diferencia entre las tasas masculinas y femeninas con relación al uso de productos y servicios financieros es lo que se puede determinar cómo brecha de género en la inclusión financiera. Por su parte el World Bank (2018) señala que la desigualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, los factores sociales y culturales e incluso las leyes y regulaciones que imponen barreras adicionales a la capacidad de las mujeres, son la fórmula causante de la existencia de una brecha de género, negando así la oportunidad de incluso apertura una cuenta bancaria.

A pesar que en México la brecha de género ha ido en descenso, todavía existe evidencia de la discrepancia entre hombres y mujeres con relación al acceso para el uso de productos y servicios que ofrecen las diferentes instituciones financieras y el problema es mayor cuando se realiza la comparación con otros países Latinoamericanos.

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento sobre la inclusión financiera de mujeres en México, para el propósito se identifican las barreras que ocasionan la exclusión financiera de las mujeres en México. De acuerdo diversas investigaciones realizadas por López (2021) y Demirgüç-Kunt et al (2013), las variables estado civil, edad, nivel de estudio son fundamentales para determinar la inclusión/exclusión financiera de las mujeres. Se parte del hecho que estas variables influyen en el uso y acceso a productos financieros. Las variables utilizadas son extraídas de la Encuesta Nacional de Inclusión Financiera 2021. Como bien señala Hernández, Fernández y Baptista (2010), este tipo de investigación se realiza sin manipular intencionalmente las variables y lo que busca es ver el efecto de tales variables sobre otras, observando el fenómeno tal como se desarrolla en un contexto natural para posteriormente analizarlo.

En el primer apartado se explica los términos inclusión/exclusión financiera, sus componentes e indicadores, se hace referencia a estudios relacionados con la IF de las mujeres y la brecha de género, en una segunda fase se explica la metodología empleada para el propósito del estudio, las variables utilizadas, se describe el instrumento utilizado y el tipo de modelo econométrico empleado para el análisis. En la tercera parte se realiza la interpretación de los hallazgos encontrados una vez aplicado el modelo; por último, se realizan las conclusiones y se emiten las recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Marco teórico

La exclusión financiera es un problema y que de acuerdo con la PNIF (2018) es ocasionado por diferentes situaciones, como la escasa tenencia y el corto uso de productos y servicios financieros, el rechazo a pagos digitales, el insuficiente conjunto de medios técnico e instalaciones para el acceso y disposición de productos y servicios financieros, así como la casi nula educación financiera, la poca difusión de información y escasas herramientas de protección financiera, y la poca inclusión financiera de personas en desventaja (Koku, 2015; Sinclair, 2001; Carbó et al., 2005; Kabakova y Plaksonkov, 2018; Ozil, 2021; Zunzunogui, 2023). Desde esta perspectiva, se puede observar que la inclusión financiera puede ser estudiada desde diferentes perspectivas (racionamiento, demanda, entre otras). Bajo este término se ha podido determinar el nivel de inclusión de una población en un ámbito financiero, pero aún más importante subsanar los problemas que la impiden (Beshears et al., 2018).

La importancia de la exclusión financiera para el desarrollo económico en gran parte promovida por organismos internacionales, tiene origen y relación directa con la conceptualización del microcrédito y las micro finanzas. No obstante, es a principios del año 2000 cuando el objetivo de incluir a secciones no atendidos por la banca tradicional comienza a formar parte de los temas por atender de los Gobiernos, es entonces en el año 2003, cuando surge el concepto de Inclusión Financiera (Navas y Moncayo 2019; Vernimmen et al., 2022). Sin embargo, a pesar de que ha ido adquiriendo mayor reconocimiento y considerado como uno de los puntos estratégicos para el desarrollo de los países, aún sigue existiendo cierto desacuerdo en cuanto a su definición (Stein et al 2011; Ozili, 2020; Zunzunogu, 2023).

El World Bank (2018) infiere que la IF significa para personas físicas y morales, consiste en tener apertura a productos financieros útiles y de fácil acceso que cumplan sus requerimientos de manera responsable y que conlleven a una disponibilidad en el tiempo. Esta primera definición implícitamente menciona que el no poder tener acceso limita el uso, además que supone la idea de garantizar los servicios disponibles en el tiempo.

Por su parte CEPAL (2019) contempla a la IF como un grupo de iniciativas tanto del sector público como el privado, que generan respuestas a los problemas financieros por lo que las personas, familias y Pymes pasan y que los servicios financieros formales deciden no atender, en esta segunda definición se percibe un concepto de la inclusión financiera desde el acceso al financiamiento y se puede entender una vez más que el acceso es una forma de medirla.

En México, al igual que el Banco Mundial, se considera a la IF como el camino que posibilita el acceso y empleo de servicios financieros, que a su vez éstos se encuentren regularizados y que protejan los intereses del usuario, además la IF debe promover la educación financiera (PNIF, 2020). Esta última definición es concreta y abarca no solo el acceso como forma de medirla, sino que también considera la utilidad, además que involucra un marco legal. Si bien es cierto, no existe un concepto general para la IF, sin embargo, puede ser relacionado con el acceso eficiente y eficaz al Sistema Financiero.

Ahora bien, ya se han mencionado las definiciones por algunas instituciones, sin embargo, es relevante conocer lo que manifiestan algunos investigadores referentes a este concepto, de tal modo que la Tabla 1, agrupa algunas definiciones por ciertos autores que dan a conocer el significado de la IF desde sus perspectivas.

Tabla 1. Definición de Inclusión financiera.

Autor (a) o Autores (as)	Definición
Mende et al (2020)	“La inclusión financiera implica el acceso a los principales proveedores de servicios financieros”.
Pérez y Titelman (2018)	“La inclusión financiera permite que el sistema financiero responda a las diversas necesidades de financiamiento de los hogares en las distintas fases del ciclo de vida, así como de las empresas en las distintas etapas del proceso productivo y tecnológico”.
Levine (2004)	“La inclusión financiera en los países en vías de desarrollo es un mecanismo eficaz para la reducción de la pobreza”.

Nota: Mende (2020), Pérez y Titelman (2018) y Levine (2004).

La IF es la forma en la que las personas tienen la posibilidad de tener acceso y utilizan la diversa oferta de brindan los entes financieros formales y regulados, que les permiten mejorar, procurar, estabilizar y/o administrar su economía. Puede ser abarcada desde dos perspectivas, desde el lado de la oferta y por el otro de la demanda. El segundo es de vital relevancia para este trabajo puesto que se realizará su estudio desde este punto de partida.

De acuerdo con la definición multidimensional proyectada por la PNIF (2020) en México, IF posee cuatro componentes toda vez que son la raíz para entender los elementos que la determinan (ver Tabla 2).

Tabla 2. Componentes de la Inclusión Financiera.

Componente	Definición	Indicadores
Acceso	Hace referencia a la infraestructura disponible para ofertar productos y servicios financieros que pone en contacto a las entidades financieras y la población.	Número de cajeros automáticos Número de aplicaciones móviles. Número de establecimientos.
Uso	Es la contratación de los diversos productos y servicios financieros por parte de la población, que permite saber la frecuencia con la que los usan y su comportamiento.	Titularidad de cuenta. Pagos. Crédito. Ahorro Resiliencia Financiera.
Protección y defensa al consumidor	Se refiere a que los productos y servicios financieros, nuevos o ya existentes, se encuentren bajo un marco legal, que procure al consumidor, incluya a las personas en situación vulnerable y proteja sus datos.	Contratación de productos o servicios financieros formales.
Educación financiera	Se refiere a las acciones para que la población adquiera competencias económico-financieras que le permitan hacer un mejor manejo de sus finanzas y que les permita tomar mejores decisiones. Así mismo, que puedan comparar entre los diversos productos financieros que ofrece el mercado y conocer sus obligaciones al contratarlos.	Cursos tomados en tema de finanzas personales. Conocimientos en finanzas que conozcan y sepan emplear.

Nota: elaboración propia con información de la CNBV 2014.

Indicadores de la IF

En México está relacionada con los componentes, es decir, el acceso, el uso, protección al consumidor y educación financiera. Por su parte, el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía ha implementado la Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (2021), la cual se encarga de recolectar datos que permiten ofrecer información e indicadores a nivel nacional y regional, incluso permite generar estadísticas por tamaño de localidad y sexo, que a su vez son de determinantes para realizar diagnósticos, diseñar políticas públicas y establecer prioridades en dicha materia. La Tabla 3 muestra que indicadores se utilizan en México para medirla, es importante mencionar que todos esos datos pueden ser recabados por sexo, región, localidad, edad, nivel de escolaridad, ocupación y/o estado civil.

Tabla 3. Indicadores de Inclusión Financiera en México.

Indicadores para medir la IF en México.	
Tenencia de productos financieros. (Población que tiene al menos un producto financiero)	Cuenta de ahorro formal: De nómina o pensión, de ahorro, apoyos de gobierno, de internet o aplicación, de cheques, Fondos de inversión y/o Depósitos a plazos fijos.
	Crédito formal: Tarjeta de crédito departamental, tarjeta de crédito bancaria, otros, crédito vivienda y/o Crédito personal.
	Seguros: De vida, de auto, Gastos médicos y/u Otros.
	Afore
Uso de infraestructura financiera. (Población que ha utilizado infraestructura financiera)	Cajeros automáticos
	Establecimientos comerciales
	Sucursal bancaria
Medio de pago.	Efectivo
	Tarjetas de débito
	Tarjeta de crédito
	Otro
Conocimiento y uso del Cobro Digital (CoDi).	Lo conocen
	Lo conocen y lo usan
Comportamientos financieros. (Población que lleva un registro de sus gastos o los del hogar).	Separa el dinero para pagos/deudas del gasto diario.
	Registro de los recibos o deudas pendientes para pagarlos.
	Anotaciones de gastos.
	Realiza presupuesto o registro de ingresos o gastos.
Capacidades de pago de deuda en créditos formales.	Tiene pagos domiciliados, aplicaciones de celular o una herramienta que administra el dinero.
	Si paga las deudas en el plazo requerido.
	Solo paga algunas deudas en el plazo requerido.
	No tiene deudas.
	No puede pagar las deudas en el plazo requerido.

Nota: elaboración propia con información de la Encuesta Nacional de Inclusión Financiera (2021).

Una forma de concebir la IF es a través del acceso a las tarjetas de crédito; un dispositivo que permite hacer un préstamo económico, para hacer transacciones o realizar compras, y en la que, posteriormente, se puede liquidar la deuda. Este tipo de tarjeta permite que las personas puedan tener apertura a recursos que no tienen disponibles en el momento, como lo afirma Méndez (2011), el acceso a crédito aumenta el nivel de capital e impulsa en los hogares la disposición a aperturar un sistema económico o llevarlo a un segundo nivel en el caso de su existencia.

IF en Mujeres.

El camino que lleva al alcance de los objetivos en dimensiones de bienestar propio y que para las mujeres es determinante y poseen un valor único. Por ejemplo, la facilidad y disponibilidad con la que una mujer puede contar puede ser fundamental y podría beneficiar a que modifiquen sus hábitos de uso de tiempo, de tal manera les permita tener tiempo para realizar actividades que normalmente se les dificulta llevar a cabo. Así mismo, contar con sistema de ahorro o seguros sería una manera de evitar los posibles ataques a la seguridad física de una fémina, que muchas veces es consecuencia de un entorno de inseguridad local y de una alta tasa de delitos (Clausen y Trivelli, 2021).

El conocimiento de la información sobre los elementos de la vida de las mujeres, es una herramienta que permitiría generar transformaciones en la vida de éstas a partir de la IF causar un impacto de manera positiva. Esto no implica solo considerar a aquellos elementos que ya se conocen, como lo es el gasto alimenticio y educación de los hijos o aquellos determinados por las diferentes teorías de cambio, es considerar aspectos como las principales motivaciones por las que las mujeres ingresan al sistema financiero formal, cuáles son sus pretensiones y percepciones con relación a los problemas concretos que la misma inclusión financiera puede resolver (Clausen y Trivelli, 2021).

Fungacova y Weill (2015), señalan como barreras para que las mujeres tramiten una cuenta bancaria; la falta de documentación personal (identificación, domicilio y referencias personales); aunado a que otro miembro de la familia (esposo) cuenta con algún tipo de instrumento financiero, debido a que social y culturalmente el hombre tiene un rol preponderante en el manejo de las finanzas del hogar (Beltrán López y Hu Hoil, 2023). Por ejemplo, un estudio realizado en la India por Vinod y Ghosh (2017) expuso que, en promedio, los hogares indios donde la mujer es jefa de familia, éstos poseen estadísticamente un 8% menos de probabilidad de estar bajo un sistema financiero de carácter formal y son propensos en un 6% más a estar relacionados con los entes informales, lo anterior como consecuencia de factores educativos y de diferencias salariales.

Las limitaciones legales en la capacidad para trabajar, generar ingresos propios, poder representar un hogar y la capacidad de elegir dónde radicar, es considerado como la causa para que las mujeres tengan menos probabilidad de abrir una cuenta, ahorrar o solicitar un préstamo, en comparación con hombres. Un hecho relevante que se evidenció en el trabajo de investigación de World Economic Forum (2014) es que cuando existen normas sociales que eluden la violencia contra la mujer y el matrimonio en menores de edad se contribuye a la variación en la adquisición de servicios financieros entre hombres y mujeres. Es por eso que, los desafíos para aminorar la brecha de género están relacionados con los principios de discriminación de género, como evidencia, existen algunas doctrinas donde las mujeres son restringidas para poseer algún tipo de contrato bajo su poder, como lo puede ser la tenencia de una cuenta en el banco, administrar una propiedad e incluso la capacidad de obtener una parte equitativa en el juicio de un divorcio o herencia (IFC, 2011 y World Bank, 2018). Es por esta razón, que frecuentemente las normas discriminatorias influyen negativamente en el acceso de las mujeres a algunas actividades y establecen el nivel de autonomía que las mujeres son capaces de disfrutar para administrar sus propios recursos económicos.

Materiales y métodos

El diseño de este tipo de investigación permite comprender las observaciones que se pueden llevar a cabo, cuantas hacer, en que sitio hacerlas, como levantar el registro, el tipo de estudio que debe adaptarse y qué deducciones podrán conseguirse a raíz del análisis de los resultados obtenidos (Arnau, 1980). De este modo, esta clase de diseño es definido con base la forma de cómo el investigador obtiene la información oportuna para darle contestación a sus preguntas de investigación, siendo lo más preciso posible. Es descriptivo, cuantitativo y transversal. Se utilizan los datos estadísticos de la Encuesta Nacional de IF 2021. Así mismo, se analiza la base de datos nacional de la encuesta y se seleccionaron los datos relativos al género femenino dando como resultado 7,345 datos; con esta información se construye el modelo econométrico (Gupta y Karpoor, 2020; Johnson y Bhattacharyya, 2019).

Para medir la influencia de las variables se utiliza un modelo econométrico no-lineal Probabilístico (Probit) que trabaja bajo iteraciones y el cual es para datos que presentan sesgo, que a su vez no se comportan de forma normal, ya que la variable dependiente solo toma valores 0 o 1. La forma de analizar los datos es por el programa estadístico Stata. Dado que la econometría es exhaustiva se corrieron también los datos bajo un modelo logístico (Logit), sin embargo, dados los resultados en el valor Z se determinó que el mejor modelo que describe el fenómeno es el modelo no-lineal probabilístico (Probit), modelo de estimación que surge de una función de distribución acumulativa (FDA) normal.

Para explicar el comportamiento de una variable dependiente dicótoma, es óptimo utilizar una FDA seleccionada adecuadamente por Gujarati y Porter (2010) por lo que para efectos de este estudio se presenta el modelo Probit basado en la teoría de utilidad o de la perspectiva de selección racional con base en el comportamiento (Morgan et al., 2019).

En este sentido, la tenencia o no tenencia de una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito depende de un índice de conveniencia no observable, en este caso determinado por una variable explicativa como lo es el estado civil X_i , de esta forma entre mayor sea el valor del índice I_i , mayor será la probabilidad de que una mujer tenga o no una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito, expresándose el índice I_i como:

$$I_i = \beta_1 + \beta_2 X_i \quad (1)$$

Donde X_i es el estado civil de una mujer.

Por lo tanto, la forma en la que se relaciona el índice con la tenencia de una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito es: $Y=1$ si una mujer tiene una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito y $Y=0$ si no posee alguno de los productos financieros.

Ahora bien, se puede suponer que para cada mujer hay un nivel crítico, que podemos denominar I_i^* , tal que si I_i excede a I_i^* , una mujer tendría una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito, de lo contrario no. El nivel crítico I_i^* , al igual que I_i , no se puede observar, sin embargo, si suponemos que está distribuido normalmente con las mismas media y varianza, es posible obtener alguna información sobre el propio índice no observable.

Con el supuesto de normalidad, la probabilidad de que I_i^* sea menor o igual que I_i se calcula a partir de la FDA normal estándar como:

$$P_i = P(Y = 1|X) = P(I_i^* \leq I_i) = P(Z_i \leq \beta_1 + \beta_2 X_i) = F(\beta_1 + \beta_2 X_i) \quad (2)$$

donde $P(Y = 1|X)$ significa la probabilidad de que una mujer tenga una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito dado el valor de X o la variable explicativa (estado civil), y donde Z_i es la variable normal estandarizada; es decir, $Z \sim N(0, \sigma^2)$.

La utilización de modelos de regresión con variable dependiente cualitativa ha sido defendido por diverso autores, por un lado por tratarse de un modelo que permite considera las variables dependientes como no métricas, la regresión logística permite clasificar a los individuos, al mismo tiempo permite identificar las variables más importantes que explican las diferencias entre ambos grupos.

Si bien, se ha indicado que la variable independiente es el estado civil de las mujeres, es importante mencionar que para comprobar la hipótesis fue necesario analizar las variables, nivel de estudio, edad, zona geográfica como determinantes en el acceso y uso de tarjeta de crédito y cuenta de cuenta de ahorro; dando como resultado que la variable independiente significativa es estado civil; para lo cual se construyó una variable dummy de cinco categorías y una base. Cabe mencionar que las variables dummy son una forma de darle valor numérico a aquellas preguntas cualitativas que son mutuamente excluyentes de propiedades no numéricas.

La forma para determinar el número de variables se establece de la siguiente manera:

$$v = n - 1 \quad (3)$$

Donde:

V = número de variables dummy

n = número de categorías (1-unión libre, 2-separada, 3-divorciada, 4-soltera, 5-casada y 6-viuda).

Como se mencionó se considera una base, que para efectos de este estudio sería el ser una mujer viuda, por lo que cuando una observación sea 0 se estaría considerando una mujer viuda y 1 para cualquiera de las otras categorías ya mencionadas.

Cuadro 1. Caracterización de las variables.

<i>Variable proxy independiente</i>	<i>Variable proxy dependiente</i>
Estado civil: Unión libre, separada, divorciada, soltera	Posee tarjeta de crédito
casada y viuda (base).	Posee cuenta de ahorro

Nota: elaboración propia.

La validez de los modelos se pudo conocer por medio del valor estadístico Probabilidad de Chi Cuadrada el cual tuvo un resultado inferior a 0.05 siendo éste el máximo esperado, con lo que se comprueba la significancia del modelo. Por su parte, ambos modelos tuvieron una Pseudo R2 muy baja, lo que indica que es muy probable que existan casos atípicos.

Cuadro 2. Significancia de los modelos.

Para la variable relacionada con la tenencia de cuenta de ahorro.	Prob> Chi2	0.0000	Pseudo R2	0.0100
Para la variable relacionada con tenencia de tarjeta de crédito.	Prob> Chi2	0.0000	Pseudo R2	0.0135

Nota: elaboración propia.

Resultados

Los resultados demuestran que la tenencia de una cuenta de ahorro y la tenencia de una tarjeta de crédito en mujeres tiene correlación positiva con el estado civil de estas (ver Cuadro 3 y 4), esto se puede comprobar con los efectos

marginales que el programa arrojó indicando que las variable divorciada y soltera influyen en el acceso a este tipo de productos financieros.

Cuadro 3. Derivadas para tenencia de cuenta de ahorro.

Variables para la pregunta: ¿Usted tiene una cuenta de ahorro?	Dy/dx	Valores Z	P(Z)
Unión libre	0.1079652	4.83	0.000
Separada	0.1085634	4.05	0.000
Divorciada	0.201109	5.23	0.000
Soltera	0.1543592	6.62	0.000
Casada	0.0948989	4.97	0.000

Nota: elaboración propia.

Cuadro 4. Derivadas para tenencia de tarjeta de crédito.

Variables para la pregunta: ¿Usted tiene una tarjeta de crédito?	Dy/dx	Valores Z	P(Z)
Unión libre	0.0468432	2.62	0.009
Separada	0.0397584	1.89	0.059
Divorciada	0.1416645	3.96	0.000
Soltera	0.1092038	5.25	0.000
Casada	0.0632548	4.02	0.000

Nota: elaboración propia.

De acuerdo al tercer cuadro que hace referencia a la tenencia de uso de cuenta de ahorro, se identificó que las mujeres divorciadas y solteras son las que tienen mayor probabilidad de tener una cuenta de este tipo de producto, ya que tuvieron un porcentaje de 15% y 20% respectivamente cada una, lo notorio fue que las mujeres casadas presentaron la menor probabilidad de poseer una cuenta de ahorro, lo anterior permite inferir que los roles de género en el hogar son un factor determinante para poner en perjuicio los intereses financieros de las mujeres, siendo principalmente un producto de matrimonios a temprana edad, una mayor o total responsabilidad en la crianza de los hijos y la carga en general de la familia (López, 2021) o pasan por situaciones que les imposibilitan cumplir con los acuerdos pactados con las entidades financieras, por ejemplo, algunos esposos prohíben a sus concubinas salir de sus hogares para acudir a un banco. Esto también se puede comparar con el resultado de un estudio donde una vez controladas características individuales entre las que se encuentra el estado civil, el sexo sigue siendo un factor determinante para poseer una cuenta bancaria de tipo ahorro (Demirguc-Kunt et al 2013).

Con relación al cuarto cuadro, se logró identificar que también las mujeres divorciadas y solteras (14% y 10% respectivamente) poseen los mejores porcentajes de probabilidad en tener una tarjeta de crédito, mientras que el porcentaje de menor probabilidad la tienen las mujeres separadas (3%), eso podría explicarse porque muchas mujeres durante el matrimonio dependen de su conyugue para el manejo de los recursos UNWomen (2015) y cuando se separan tienen nula capacidad para tomar decisiones financieras. Así mismo, esto podría confirmarse con un análisis en el que se determinó que las solicitudes de crédito rechazadas son más altas en mujeres, a su vez esto provoca que las mujeres se desalienten a solicitar cualquier tipo de crédito (Lusardi y Mitchell, 2014).

Discusión

El estudio muestra que existe una relación positiva entre el estado civil de las mujeres y la inclusión financiera. Dicha relación se sustenta en que la independencia financiera que han logrado las mujeres a través de su integración en actividades remuneradas. En el contexto de México, este resultado tiene sentido porque existe un arraigo en los roles sociales de género ya que la mayoría de las labores efectuadas por las mujeres no son remuneradas (cuidado de la familia y del hogar). Esta situación provoca la falta de ingresos, los cuales son el factor principal para la inclusión financiera, ya que la mayoría de las personas que obtienen ingresos de fuentes formales cobran a través de una cuenta bancaria.

Este resultado está respaldado por otros estudios (Demirguc-Kunt et al 2013; Lusardi y Mitchell, 2014; Clausen y Trivelli, 2021) quienes muestran que la falta de un empleo formal impide el cumplimiento con la documentación requerida por las instituciones bancarias. El acceso a los productos financieros implica el cumplimiento de una serie de requisitos (recibos de nómina, declaración fiscal, entre otros) y el llenado de una serie de formularios a satisfacción de la banca comercial. Dado que las mujeres no perciben un salario por sus actividades o sus ingresos provienen del sector informal, no disponen de estos documentos. De acuerdo con los hallazgos Carbó et al. (2005), Kabakova y Plaksonkov (2018) y Zunzunogui (2023), esto impide que quienes no tienen estos documentos sean excluidos involuntariamente del acceso a los productos financieros.

Por último, se identificó que el género influye en las fuentes de crédito. Las mujeres enfrentan menores probabilidades de obtener préstamos de familiares, amigos e instituciones financieras, lo que coincide con lo observado por Kabakova y Plaksonkov (2018). Estos resultados sustentan la idea de una discriminación sexual en el acceso al crédito formal, aunque en la práctica se ha demostrado que las mujeres tienen una mayor tasa de pago que los hombres.

Conclusiones

El uso de una cuenta de ahorro o tarjeta de crédito son indicadores que permiten medir la inclusión financiera de una población, para el objetivo de este estudio esto permitió identificar que el estado civil forma parte de las barreras que alejan a las mujeres de ser incluidas en el Sistema Financiero. A través de los resultados de esta investigación es posible obtener información con relación a los obstáculos que viven las mujeres en su día a día y lo cual es un reto para los gobiernos actuales, siendo esto fundamental para diseñar líneas de acción efectivas, enfocadas al crecimiento de la inclusión financiera en México y a la reducción de los impedimentos de género.

Sin duda, uno de los aspectos fundamentales para disminuir la brecha de género en México; consiste en identificar aquellas barreras que impiden que las mujeres puedan acceder a un sistema financiero regulado, buscando de esta manera disminuir la brecha de género y por ende crear políticas públicas que beneficien a personas de grupos vulnerable como es el caso de las mujeres. Dado que el estado civil no es la única barrera que alejan a las mujeres de la banca tradicional, sería prudente realizar otros estudios que analicen diversas características de las mujeres como su nivel educativo, etnia, ubicación geográfica, percepción con respecto a los productos o servicios financieros, su capacidad de resiliencia, la edad, cómo asumen el riesgo, su posición en el núcleo familiar e incluso si el simple hecho de ser mujer las limita para acceder al sistema financiero. Por lo tanto, crear mayores canales de acceso al mercado laboral formal, aprovechar más la tecnología y la banca móvil; tener acceso a productos o servicios financieros sin tantos obstáculos e incluso evitando que las mujeres se vean limitadas por su ubicación geográfica y no puedan desplazarse a realizar trámites de este tipo, además eliminar normas discriminatorias y centrarse en la educación y capacidad financiera de las mujeres.

Referencias

- Arnau, J. (1980). *Psicología experimental (Un enfoque metodológico)*. Editorial Trillas, México, 1980.
- Beltrán López, R., & Hu Hoil, D. S. (2023). Enlazamiento de los elementos que contribuyen al crecimiento financiero y sostenible de negocios en X-Cabil, México: Linking the elements that contribute to growth financial and sustainable business in X-Cabil, Mexico. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(3), 1523–1539. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i3.1179>
- Beshears, J., Choi, J. J., Laibson, D., & Madrian, B. C. (2018). Behavioral household finance. In *Handbook of Behavioral Economics: Applications and Foundations 1* (Vol. 1, pp. 177-276). North-Holland.
- Carbó, S., Gardener, E. P., Molyneux, P., Carbó, S., Gardener, E. P., & Molyneux, P. (2005). Financial Exclusion in the UK (pp. 14-44). Palgrave Macmillan UK.
- Clausen, J. y Trivelli, C. (2021). *Inclusión financiera transformativa centrada en las mujeres: Una renovada agenda de investigación para la igualdad de género en América Latina y el Caribe*. Revista de Ciencias Sociales.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2019). *La autonomía de las mujeres en escenarios económicos cambiantes*. Santiago, Chile.
- Demirgüç-Kunt, Asli, Leora Klapper y Dorothe Singer (2013). *Financial Inclusion and Legal discrimination against women: Evidence from developing countries*. World Bank Policy Research Working Paper WPS6416, World Bank, Washington D.C.
- Fungacova, Z., & Weill, L. (2015). *Understanding Financial Inclusion in China*. *China Economic Review*, 34, 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2014.12.004>
- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría*. McGraw-Hill, México.
- Gupta, S. C., y Kapoor, V. K. (2020). *Fundamentals of mathematical statistics*. Sultan Chand & Sons.

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. 5ta edición. McGraw-Hill.
- INEGI. (2018). *Encuesta Nacional de Inclusión Financiera: diseño conceptual*.
- International Finance Corporation (2011). Annual Report.
- Johnson, R. A., y Bhattacharyya, G. K. (2019). Statistics: principles and methods. John Wiley & Sons.
- Kabakova, O., y Plaksenkov, E. (2018). Analysis of factors affecting financial inclusion: Ecosystem view. *Journal of business Research*, 89, 198-205.
- Koku, P. S. (2015). Financial exclusion of the poor: a literature review. *International Journal of Bank Marketing*, 33(5), 654-668.
- Levine, R. (2004). *Finance and Growth: Theory and Evidence. Handbook of Economic Growth*. Elsevier.
- López, P. (2021). *La brecha de género en la inclusión financiera en México*. Centro de Estudios Espinosa Yglesias. www.ceey.org.mx
- Lusardi, A. and O.S. Mitchell (2014). *The Economic Importance of Financial Literacy: Theory and Evidence*, *Journal of Economic Literature*, 52, 5-44.
- Oviedo Rivas, A. (2024). Análisis de la Inclusión Financiera con perspectiva de género [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo].
- Mende, M., Salisbury, LC, Nenkov, GY y Scott, ML (2020). *Mejorar la inclusión financiera a través de la orientación financiera comunitaria: cómo los proveedores de servicios financieros pueden involucrar mejor a los consumidores en los desiertos bancarios*. *Revista de Psicología del Consumidor*, 30(2), 379-391.
- Méndez, A., (2011). Evaluación del impacto de las microfinanzas sobre los ingresos y la generación de empleo en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 27(46), 81-102.
- Morgan, G. A., Barrett, K. C., Leech, N. L., & Gloeckner, G. W. (2019). IBM SPSS for introductory statistics: Use and interpretation. Routledge.
- Navas R., A., & Moncayo Lara, J. A. (2019). *El empoderamiento productivo de la mujer como consecuencia de la Inclusión Financiera*. *INNOVA Research Journal*, 4(3.2), 152-171.
- Ozili, P. K. (2020). Theories of financial inclusion. In *Uncertainty and challenges in contemporary economic behaviour* (pp. 89-115). Emerald Publishing Limited.
- Ozili, P. K. (2021). Financial inclusion research around the world: A review. In *Forum for social economics* (Vol. 50, No. 4, pp. 457-479). Routledge.
- Pérez, E., y Titelman, D. (2018). *La inclusión financiera para la inserción productiva y el papel de la banca de desarrollo*. Santiago: CEPAL.
- Política Nacional de Inclusión Financiera (2021). *Comisión Nacional Bancaria y de Valores. México*.
- Política Nacional de Inclusión Financiera (2020). *Comisión Nacional Bancaria y de Valores. México*.
- Política Nacional de Inclusión Financiera (2018). *Comisión Nacional Bancaria y de Valores. México*.
- Saibal G. y Vinod, D. (2017), *What Constrains Financial Inclusion for Women? Evidence from Indian Micro data*, *World Development*, 92, (C), 60-81
- Sinclair, S. P. (2001). Financial exclusion: An introductory survey. CRSIS, Edinburgh College of Art/Heriot Watt University.
- Stein, P., Randhawa, B. y Bilandzic, N. (2011). Toward Universal Access Addressing the Global Challenge of Financial Inclusion. Washington: International Finance Corporation.
- UNWomen (2015). *Progress of the World's Women 2015-2016 de ONU Mujeres*.
- Vernimmen, P., Quiry, P., & Le Fur, Y. (2022). Corporate finance: theory and practice. John Wiley & Sons.
- World Bank (2018). *La brecha de género en la inclusión financiera se mantendrá tres medidas para reducirla*.
- World Economic Forum (2014). *The Global Gender Gap Report 2014*.
- Zunzunegui, F. (2023). Financial Exclusion in Spain: Actions and Proposals. Available at SSRN 4467054.



MODELO DE GESTIÓN DE PARTICIPACIÓN SOCIAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN ZONAS VULNERABLES

Carlos Eliézer Tello Moguel¹, Daniel García Urquidez²,
Diana Cecilia Escobedo Urías³, Raúl Portillo Molina⁴, Rosa María Longoria Espinoza⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 20/05/2024 Aceptado: 30/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a12>

Resumen.- Este artículo presenta resultados de una investigación mixta, con el objeto de conocer la percepción de los habitantes de comunidades costeras de la Bahía de Ohuira, que se ven afectadas por la Planta de Amoniaco. Así mismo, se conoce la percepción de personas expertas en temas sustentables. Esta Investigación es de tipo No Experimental y Explicativa, la población en estudio lo conforman los habitantes de 4 localidades, se realizaron encuestas tipo Likert a una muestra representativa, no probabilística y casual, por otro lado, se realizaron entrevistas semiestructuradas a expertos, líderes de grupo de interés, clasificándose en 6 grupos de acuerdo a su área de conocimiento y desenvolvimiento. Los resultados fueron procesados mediante la captura y tratamiento de la información de las encuestas y entrevistas mediante el programa SPSS y Atlas ti. Finalmente se diseña el Modelo de Gestión de Participación Social, el cual se compone de 3 ejes principales: el poder interno, el poder del conocimiento y el poder jurídico y tiene como objetivo de contribuir a que estos procesos de gestión se realicen de manera más pronta y eficaz, convirtiéndose en una guía para la defensa de sus territorios vulnerables tanto para líderes como para los habitantes afectados.

Palabras clave: Guía, participación social, conflicto socio-cultural, modelo de Desarrollo, zonas costeras.

SOCIAL PARTICIPATION MANAGEMENT MODEL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN VULNERABLE AREAS

Abstract.- This article presents results of a mixed investigation, with the aim of knowing the perception of the inhabitants of coastal communities in Ohuira Bay, which are affected by the Ammonia Plant. Likewise, the perception of people who are experts in sustainable issues is known. This Research is Non-Experimental and Explanatory, the population under study is made up of the inhabitants of 4 localities, Likert-type surveys were carried out on a representative, non-probabilistic and casual sample, on the other hand, semi-structured interviews were carried out with experts, leaders of interest group, classified into 6 groups according to their area of knowledge and development. The results were processed by capturing and processing information from the surveys and interviews using the SPSS and Atlas ti programs. Finally, the Social Participation Management Model is designed, which is made up of 3 main axes: internal power, the power of knowledge and legal power and its objective is to contribute to these management processes being carried out more quickly. and effective, becoming a guide for the defense of their vulnerable territories for both leaders and affected inhabitants.

Keywords: guide, social participation, socio-cultural conflict, development model, coast zone.

Introducción

En los últimos años en México la degradación del medio ambiente y el uso indiscriminado de los recursos naturales han sido el detonador principal para la generación de numerosos conflictos sociales, tanto en zonas urbanas como rurales. En todo el territorio se han movilizados desde individuos, organizaciones, grupos y comunidades en contra de

¹ Doctor en sustentabilidad. Profesor. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Chetumal. <https://orcid.org/0009-0006-9568-1049>. carlos.tm@chetumal.tecnm.mx (**Autor correspondiente**).

² Doctor en ciencias sociales. Profesor Investigador. Universidad Pedagógica del Estado de Sinaloa (UPES). <https://orcid.org/0000-0002-2066-8329> daniel.garcia@uadeo.mx

³ Doctora en ciencias marinas. Profesora Investigadora. Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN-CIIDIR, Unidad Sinaloa en Guasave, Sinaloa. <https://orcid.org/0000-0003-0174-1161> durias@ipn.mx

⁴ Doctor en estudios fiscales. Profesor Investigador. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa. <https://orcid.org/0000-0003-4756-4981> raul.portillo@uadeo.mx

⁵ Profesora Investigadora. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Sinaloa. <https://orcid.org/0000-0001-9371-1028> rosa.longoria@uadeo.mx

diversos proyectos que en ocasiones se nombran “sustentables” (minería, generación de energía, construcción de carreteras, puertos, aeropuertos, centros comerciales, desarrollos turísticos e inmobiliarios etc.) que están lejos de serlo por los daños socio ambientales que provocan o podrían provocar. En el norte de Sinaloa, en las inmediaciones del Puerto de Topolobampo, municipio de Ahome, la autorización de un proyecto petroquímico por parte de las autoridades ambientales generó un conflicto socio-ambiental. El proyecto se ubica dentro del sitio Ramsar 2025, tiene relación directa el Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California, ANP de competencia federal, y se ubica dentro del territorio ancestral de la etnia mayo-yoreme. Desde sus inicios, el proyecto ha sido objetado por organizaciones civiles, indígenas y ambientalistas por sus potenciales impactos económicos, ambientales y sociales, y por la falta de consulta previa a las comunidades indígenas directamente afectadas, aspectos que generaron la unificación de estos grupos en un solo Colectivo: Aquí ¡No!. Este grupo organizado ha realizado a lo largo de varios años numerosas manifestaciones pacíficas y emprendido diversas demandas de juicio de amparo contra la autorización federal, solicitando la reubicación del proyecto. El pasado 6 de abril de 2022 la Suprema Corte de Justicia de la Nación resolvió conceder el amparo (uno de los 6 promovidos por el colectivo), a favor de la comunidad indígena de Lázaro Cárdenas por falta de consulta previa, por lo que revocó la autorización y ordenó consultar a la comunidad afectada, materializándose la primera victoria legal de una comunidad indígena en la defensa de su territorio en el norte de Sinaloa. Debido a la relevancia de esta lucha comunitaria por la conservación de su entorno natural, sitio sagrado y fuente de subsistencia en una zona históricamente de baja o nula participación social, se planteó este trabajo de investigación. Las diversas etapas del conflicto fueron analizadas de la búsqueda documental en fuentes electrónicas y orales, mientras que para la identificación de sus motivaciones y la percepción social se realizó una investigación de campo y documental, con técnicas e instrumentos de colección de datos propias de una investigación mixta: la entrevista semiestructurada a grupos de interés: funcionarios públicos, académicos, investigadores, empresarios, líderes sociales y de movimientos socio-ambientales; y la encuesta tipo Likert, aplicada a una muestra representativa de habitantes de cuatro localidades costeras a la Bahía de Ohuira (Paredones, Topolobampo, Ohuira y Lázaro Cárdenas).

Los resultados de las encuestas mostraron una clara diferencia en la percepción de las comunidades y los expertos consultados, ya que para los integrantes de las comunidades, motivados por su sentido de pertenencia al lugar, opinaron que el proyecto petroquímico no cumple con los requisitos legales para su establecimiento, no lo perciben como proyecto sustentable, ni compatible con sus actividades productivas, lo identificaron como una amenaza a su calidad y modo de vida y el ecosistema costero por lo que lo rechazan abiertamente. Los expertos encuestados por otro lado, opinaron que el proyecto ha cumplido parcialmente con los requisitos legales, lo consideran sustentable por las mejoras que la empresa promete realizar en el sitio y pertinente por la vocación agrícola de la zona adyacente que requiere grandes cantidades del producto que generará el proyecto. Del desarrollo del conflicto, las estrategias del colectivo y el análisis bibliográfico de diversos modelos de participación social se construyó un Modelo de Gestión de Participación Social basado en 3 ejes principales: Poder Interno, Poder del Conocimiento y Poder Jurídico, que permite identificar cada uno de los elementos indispensables para la conformación de un grupo participativo, sugiere estrategias de comunicación, de capacitación y guía para el acercamiento a fuentes de información fidedigna y subraya la importancia de la asesoría legal requerida en todo el proceso. Aunque, al llegar al final de este trabajo, el conflicto socio-ambiental descrito sigue en proceso, el seguimiento durante estos años de este movimiento social nos ha permitido observar que los habitantes de la zona afectada se encuentran cada día mejor informados y más participativos, y han creado un movimiento con liderazgo horizontal lo que ha fortalecido su participación y capacitación. Su mensaje es claro: continuarán con sus movilizaciones y manifestaciones pacíficas hasta no tener la respuesta que ellos desean que es el respeto a la libre decisión del uso de su territorio.

Este trabajo de investigación fue producto de una Tesis Doctoral realizada en la Universidad Autónoma de Occidente, unidad Regional Guasave, en Sinaloa, México; la cual fue sustentada el 14 de julio de 2022 siendo aprobada por unanimidad con felicitación del jurado. Es así como a partir de esta tesis que se desprende el presente artículo de investigación.

Materiales y métodos

El diseño de esta investigación es documental y de campo, además de ser no experimental y transversal. Los tiempos observados para esta investigación se determinan antes de la construcción y operación de la planta de amoníaco en Topolobampo, Sinaloa.

En su enfoque cuantitativo fueron utilizadas las técnicas para la recolección de datos como la observación, el análisis documental y de campo, para esta última técnica, se hace uso del instrumento de recolección a la encuesta escrita de

tipo Likert, la cual constó de 30 ítems, secuenciados y divididos de forma equilibrada en función de los objetivos específicos de la investigación. Se determinó una muestra representativa de la población, la cual es finita y accesible, debido a que se conocen la cantidad de población según la base de datos del Censo de Población y Vivienda 2010⁶ del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. De esta forma y acorde con el tiempo y recursos disponibles, se determinó que la población analizada y motivo de muestra son: los habitantes de las localidades de Topolobampo, Paredones, Lázaro Cárdenas y Ohuira ubicadas en el norte de Sinaloa; estas comunidades fueron seleccionadas por su injerencia directa sobre el área de estudio y por ser ribereñas a la Bahía de Ohuira, solo se consideraron a la población mayor de 18 años debido al grado de madurez mental y conocimiento de información del tema de esta investigación. Tomando en cuenta un nivel de confianza del 90%, un margen de error del 7.5% y basándose en los aspectos metodológicos que argumenta Arias (2012) dando como resultado, una muestra de 119 encuestas. Cabe hacer mención que, para seleccionar la muestra representativa, se utiliza la técnica no probabilística y debido a que el procedimiento elige arbitrariamente los elementos sin un juicio o criterio preestablecido, es de tipo Casual o Accidental. Los resultados de las encuestas fueron procesados y analizados mediante el programa Statistical Package for the Social Sciences.

Por otra parte, para el enfoque cualitativo de esta investigación, se utilizó la entrevista semiestructurada donde el muestreo fue mixto: diversa e intencional, se tomaron criterios de selección de la muestra a líderes de grupos de interés con distintas perspectivas, los cuales fueron entrevistados de forma anónima, clasificándose estos en 6 grupos: funcionarios públicos, académicos, investigadores, empresarios, líderes sociales y líderes de movimiento socio-ambiental, esto, derivado de un análisis de los posibles candidatos que poseen conocimientos y viven la realidad del momento, además de tomar en cuenta que en la indagación cualitativa posee una mayor riqueza, amplitud y profundidad de datos si provienen de diferentes actores del proceso, de distintas fuentes y de una mayor variedad de formas de recolección (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El número de entrevistas semiestructuradas por grupo son acotadas por la saturación de información, por lo que se realizaron 11 entrevistas logrando un nivel apropiado de saturación. Con respecto a los resultados obtenidos de las entrevistas semiestructuradas, fueron procesados por el soporte informático "Atlas.ti", donde se utilizó la técnica de grillar las entrevistas transcritas como parte del proceso de producción de los datos cualitativos. Entendiéndose el grillado como un recurso fundamental porque permite segmentar los fragmentos textuales de las entrevistas según uno o varios criterios. Lo más habitual es la segmentación por ejes temáticos, de modo tal que para cada entrevista se separan los fragmentos correspondientes a cada gran eje de análisis (Cohen y Seid, 2019).

Resultados

Los conflictos socioambientales surgen a menudo, por la falta de comunicación en los procesos entre la parte promotora del proyecto en cuestión y, por otro lado, los habitantes de la zona posiblemente afectada ante el establecimiento del proyecto de desarrollo, provocando desde el inicio, problemas de tipo ambientales, sociales o económicos. Para que estos procesos sean oportunos y eficaces, y como objetivo de esta investigación se presenta el siguiente diseño del Modelo de Gestión de Participación Social orientado al desarrollo sustentable de zonas vulnerables en casos asociados a proyectos productivos de impacto. Este modelo aspira a convertirse en una guía de acción para orientar a la organización social y a la correcta toma de decisiones en aras de impulsar la defensa de su patrimonio territorial, natural y cultural, ya que puede ser aplicable para todas las regiones aunque dependiendo de las circunstancias y necesidades de cada región, tendrá que ajustarse a sus características específicas (Huertas *et al.*, 2020), ya que como menciona Álvarez (2017), los modelos de gestión son dinámicos y siempre están en permanente evolución.

El presente modelo de participación social es el resultado del proceso de la investigación, en donde las experiencias y reflexiones del investigador, del análisis de resultados, y tomando como punto de partida el Modelo de las 5 fuerzas de Porter (Porter, 1985), el cual se toma como inspiración inicial, adaptándose al tipo de problemática del caso de estudio. Este modelo de gestión de participación social se construye a partir de 3 ejes: Poder Interno, Poder del Conocimiento y Poder Jurídico.

⁶ Al momento de la investigación el Censo de Población y Vivienda 2020 estaba suspendido, motivado por la contingencia nacional Covid-19.

Figura 1. Esquema ilustrativo de los 3 ejes centrales del Modelo de Participación Social.

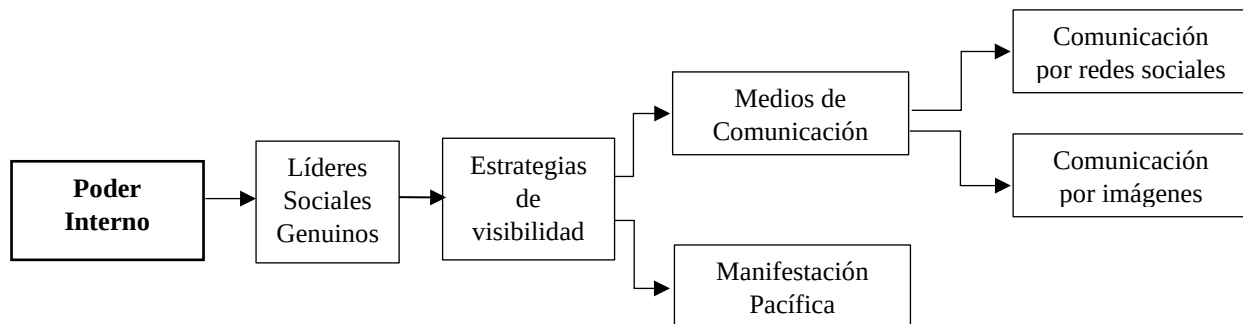


Nota: elaboración propia.

Poder Interno

Este eje central se conforma a su vez de 3 puntos: Identificación de líderes sociales genuinos, medios de comunicación y la manifestación pacífica. Cada uno de estos se detallan a continuación:

Figura 2. Esquema del proceso del Poder Interno.



Nota: elaboración propia.

Identificación de líderes sociales genuinos.

Liderazgo es definida por números autores, Gómez-Rada (2002) explica que en sus orígenes el líder era considerado un enviado de los dioses que regían su conducta de guía, como un semidiós encargado de revelar verdades y transmitirlos a sus seguidores. Así mismo Siliceo *et al.*, (1999) define al líder como “el constructor de la cultura organizaciones, entendida como el conjunto de valores, tradiciones, creencias, hábitos, normas, actitudes y conductas que le dan sentido a una organización para lograr sus objetivos económicos y sociales”.

Hoy en día, cada vez es más reconocida la necesidad de líderes en las organizaciones y los movimientos sociales que, en un origen, se utilizaba esta expresión a dirigentes de organizaciones sindicales, campesinas, barriales, indígenas, de jóvenes, de mujeres entre otros. El éxito de una organización y movimiento social en buena medida dependen de ser encabezados por personas con capacidad de convocatoria y de conducción de sus afiliados o seguidores. Debido a la globalización, han cambiado las formas de liderazgo, han retomado la expresión de una manera más amplia y compleja, para designar a las personas, hombres o mujeres, jóvenes o adultos, que animan o facilitan la organización de los actores sociales y de sus acciones en los ámbitos de lo local, nacional, regional y global (Rosendo y Betancourt, 2002).

Estas formas de liderazgo o estilos, Cuadrado (2001), los refiere a las formas de estructurar la conducta del liderazgo, aun así, no debemos confundir estilo de liderazgo con conducta de liderazgo, ya que la conducta es más concreta y específica que el estilo. Cardona y Buelvas (2010) indican tres estilos del líder: el estilo autocrático, imponiendo autoridad; en el estilo democrático, procurando la participación activa de todos los miembros del grupo; y, el indiferente (*laissez-faire*), dejando que cada uno hiciera lo que quisiera. Castaño (2013) explica de forma más explícita cada uno de los estilos de liderazgo, en una tabla como la que viene a continuación:

Tabla 1. Descripción de los estilos de liderazgo.

	Autoritario	Democrático	Indiferente
Decisión	Basa su liderazgo en el autoritarismo. El líder toma las determinaciones y los miembros ejecutan.	Basa su liderazgo en su identificación con el grupo y con su pericia. Todo plan es materia de discusión en el grupo, cosa que el líder fomenta y favorece.	El líder no ejerce liderazgo alguno. Da total libertad para la decisión personal sin apenas intervención del líder, que solo actúa en casos extremos.
Futuro	El futuro del grupo es incierto, ya que solo el líder decide y nunca está claro lo que hará más adelante.	De la confrontación en el grupo sale cierta perspectiva de futuro. El líder en caso de duda suele proponer alternativas posibles, para ayudarlos a ver claro.	El líder está disponible, daría información, materiales o su opinión si fuese necesario pero no interviene por iniciativa propia. El futuro es incierto.
Participación en la ejecución	No suele participar en el trabajo inmediato a no ser que tenga que enseñar cómo se hace, él lo que hace es mandar, organizar, etc.	En el trabajo actúa como “un miembro del grupo”. La tarea de organización le lleva tiempo y energías.	A menudo adopta la conducta del que trabaja como “uno más”.
Intervención	Suele decidir las tareas que hace cada miembro y los compañeros que tendrá cada uno de ellos.	Los miembros suelen ser bastante libres en elegir la tarea que les va y en elegir los colaboradores para llevarla cabo.	No interviene señalando el cometido de cada uno. Tiene una actitud pasiva “que cada uno se las arregle”.
Valoración	Suele ser muy personal, a veces arbitrario, en sus alabanzas y críticas de lo que hacen los miembros del grupo. Halaba y critica mucho más que los otros tipos de líderes, reforzando su autoridad.	El líder es muy objetivo a la hora de alabar o criticar.	Raramente comenta espontáneamente la actuación de los miembros del grupo. “Si quieren saber mi opinión ya me preguntarán”. No intenta evaluar ni regular.

Nota: Castaño (2013).

El estilo de liderazgo que más eficaz se ha mostrado en las organizaciones y grupos es el democrático. Es decir, el líder que logra un mayor cumplimiento de los objetivos y una mayor satisfacción entre sus subordinados, es aquél que cuenta con la participación de todos los integrantes del grupo en la toma de decisiones y que invita a la participación de todos, teniendo en cuenta sus opiniones, y que los motiva a seguir adelante en la consecución de objetivos. Además de ser líderes sociales deben ser genuinos, es decir, lideran desde la autoridad natural para luchar por los intereses colectivos y no por motivaciones personales o de grupo. Se han ganado el respeto y la credibilidad de sus colegas por méritos propios y, por eso, estos les siguen de forma voluntaria. El modelo propone que los líderes sociales genuinos asuman las actividades descritas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Descripción de las principales actividades de un líder social genuino.

	Rol o Actividad	Descripción
1	Promoción de la elaboración participativa común	Esta se manifiesta a través de valores o ideas motivadoras, de la misión y de la visión de la organización. Dentro de los valores que deben considerarse para la participación social destacan la solidaridad, el respeto del medio ambiente, la equidad social y de género, la participación, la democracia, los derechos de ciudadanía y de los pueblos sobre todo si está en una región indígena.
2	Construcción de una memoria colectiva de la organización	Este deberá realizarse a través del registro (escrito, fotográfico, video, etc.) de sus prácticas cotidianas y de movilizaciones o eventos sobresalientes, pero también a través de la construcción de sentidos, mediante el procesamiento de la información registrada y la interpretación y reinterpretación de las prácticas de la organización y del movimiento social. Los resultados de este proceso se cristalizan en símbolos como nombres de la organización, logotipos, banderas, etc. (se describen y analizan el siguiente punto). Todo lo anterior con el fin de alimentar la formulación de nuevas estrategias, objetivos y políticas.

	Rol o Actividad	Descripción
3	Mantener la legitimidad y eficacia como líder	Para esto el líder deberá jugar permanentemente un rol valorativo del “otro”, comenzando por los miembros de su propia organización, siguiendo por la valorización de las capacidades, habilidades y experiencias de otros actores para delegar funciones de apoyo para que el liderazgo se dé en distintos actores internos con roles específicos, debiendo considerar como básicos los liderazgos en temas de: Comunicación, Aspectos jurídicos, Ambientales y sociales y Financieros
4	Investigación valorativa y colaborativa hacia otras organizaciones.	Se propone aprender de las diferentes situaciones de movimientos sociales similares en el ámbito regional, nacional y/o global en cual se reconozcan los valores de las organizaciones y de las experiencias para luego proyectarlas en una visión futura a su propia organización o movimiento social. El intercambio de información y experiencias con otras organizaciones puede incentivar alianzas con otros actores a fin de producir resultados mayores.
5	Promover la capacitación de los miembros de la organización y en especial de la problemática que da origen a la organización.	Los dirigentes sociales se caracterizan por promover la formación y capacitación de los miembros de su organización a través de prácticas cotidianas y de movilización, pero también por medio de eventos y programas de capacitación, donde se convoque a instancias o autoridades facultadas para que tengan el conocimiento científico técnico para su análisis y estudio para poder adoptar de forma voluntaria una decisión que responda a interés tanto personal como en lo colectivo.
6	Facilitar la comunicación interna entre los miembros de la organización.	La comunicación interna entre los miembros de la organización facilita los procesos de discusión y toma de decisiones respecto de las políticas y de las acciones de la organización y del movimiento. Lo cual deberá hacerse de manera periódica y constante durante el proceso de la organización.
7	Difusión de la información al exterior	Este se ha enriquecido con el uso de multimedios en tiempos actuales, este punto se detalla más adelante en el presente capítulo.
8	Combinar la protesta con la propuesta	A diferencia de los líderes tradicionales, esencialmente orientados hacia la protesta, los nuevos líderes sociales combinan la protesta con la propuesta y articulan las medidas de presión con el dialogo con los responsables de las políticas públicas. Esto se puede realizar por manifestaciones pacíficas como se describirá más adelante

Nota: Rosero y Betancourt (2002).

En el caso de la zona de estudio existen varios líderes sociales genuinos, cada uno, líder de una comunidad y/o centro ceremonial (cobanaros), además existen líderes expertos en temas especializados como lo son en aspectos: jurídicos, ambientales, urbanos y sociales, cada uno identificable que, en conjunto, son los que llevan el liderazgo del movimiento social, estos se agrupan y se organizan por medio del colectivo ecológico que lleva por nombre: Aquí ¡No! En este caso, es particularmente notorio un liderazgo horizontal, compartido, sin una cabeza única. Es importante tener en cuenta que la actitud de los líderes sociales, en cualquiera de sus estilos es sumamente importante ya que determinan la participación y eficiencia del grupo o movimiento social, de esta manera, la efectividad del liderazgo, su poder, depende de la relación del líder con los miembros del grupo (Tello y De la Peña, 2013).

Medios de comunicación

Los medios de comunicación actuales son las redes sociales, porque estas tienen la característica de permitir que la información sea continuamente inmediata y actual para cada nuevo lector; esto facilita que se pueda acceder a todos los detalles sin grandes esfuerzos, por ello, la accesibilidad es otra de las características interesantes que potencializan este medio de comunicación, además de que llega a casi cualquier parte. Por consiguiente, las redes sociales se han convertido en poco tiempo en el referente transformador de la comunicación (Pantoja Chavez, 2011).

Tomando en cuenta lo anterior se proponen los siguientes puntos como los medios de comunicación más adecuados:

- Comunicación por redes sociales
- Comunicación por imágenes

Comunicación por redes sociales. Es evidente que actualmente las redes sociales traen consigo nuevas posibilidades y ponen a disposición de los usuarios otras herramientas en comparación a los medios analógicos tradicionales como lo son la radio, televisión y la prensa escrita. La diferencia más sobresaliente es su carácter digital que propone una mayor participación y actividad de los usuarios, en especial de la información de su acontecer en tiempo real, aunque aún

predominan muchos usuarios pasivos que se limitan a ver lo que otros opinan, comentan o proponen pero que están presentes, relacionado en parte con una cuestión generacional, no todos los usuarios son nativos digitales, esto sin olvidar que muchas personas están excluidas de Internet y sus beneficios.

Actualmente el éxito de una red social, como medio de comunicación, es evidente. Existen variedad de redes sociales, pero han surgido otros tipos de redes más específicos que son dirigidos a un sector concreto del mercado, no hay datos fiables sobre el grado de aceptación que tienen entre los internautas, pero fomentan una tendencia hacia la creación de comunidades virtuales. Hasta ahora las redes sociales han tenido éxito en la diversión y entretenimiento, pero también usadas en trabajos colaborativos entre profesionales y entre organizaciones (Ros-Martín, 2009).

Las redes sociales como Facebook, WhatsApp y Twitter son de las más usadas en la zona de estudio, este dato se toma de la comunicación personal realizada durante la aplicación de encuestas en el sitio. Estas redes sociales sirven para difundir noticias en los distintos ámbitos (internacional, nacional o local), además de que es una herramienta que permite acciones como colectivización de una protesta o manifestación social, es así como la web pasa a ser utilizada de manera política a partir del uso particular de los usuarios, estos ya pasaron a ser un medio de comunicación de masas, esenciales en la actualidad con distintos fines, por ello las redes sociales son las nuevas herramientas de comunicación. Así a diferencia de los viejos medios de comunicación, lentos y pesados. Estas herramientas de comunicación son instantáneas, actúan de forma viral, aceleran la protesta o manifestación y son formas organizativas en sí misma, como es en este caso de estudio.

En conclusión, las redes sociales de mayor potencial se destacan el Facebook, WhatsApp y Twitter como plataformas para la difusión y recepción de información en los medios de comunicación, Facebook es una herramienta destinada fundamentalmente a la promoción de contenidos, mientras que Twitter tiene un perfil más conversacional, se puede decir que tanto Twitter como Facebook se han consolidado como fuente informativa ya que afectan a un número alto de usuarios (García *et al.*, 2015).

Por esto las redes sociales juegan un papel importante en la comunicación colectiva por lo que deberán considerar estos medios para una comunicación inmediata y espontánea de cualquier organización. Toda organización deberá abrir páginas de Facebook y Twitter en orden de importancia, además de crear vínculos de comunicación de grupos de chat por WhatsApp.

En el caso de estudio el medio más utilizado como medio de comunicación lo representa el Facebook como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Página de Facebook del Colectivo Aquí ¡No!



Nota: Tomado de Colectivo Aquí ¡No!, (s. f.) Figura [Página de Facebook]. Facebook.

Comunicación por imágenes. Melucci, como se cita en García-González y Guedes (2019), explica que la identidad colectiva es necesaria para garantizar continuidad y permanencia de un movimiento en el tiempo, y que establece los

límites del actor con respecto a su entorno social, regula la membresía de las personas, define los requisitos para unirse al movimiento y los criterios por los cuales sus miembros se reconocen a sí mismos y son reconocidos.

Es importante que la identidad colectiva se promueva a través de internet por medio de las redes sociales anteriormente mencionadas ya que puede inspirar sensibilidad entre las personas haciéndolas sentir que son miembros de una comunidad más grande en virtud de las emociones, los agravios y los sentimientos de eficacia que comparten. Los sitios de redes sociales como el Facebook y Twitter fortalecen las identidades colectivas, los que potencialmente podría conducir a formas de acción colectiva que podrían no haber ocurrido si no hubiera sido por los sitios de redes sociales en primer lugar (García-González y Guedes, 2019).

La identidad se puede representar por medios gráficos y este tipo de comunicación visual es necesaria para identificar y distinguir cualquier organización o movimiento social. Por ello, se plantea como necesario que la organización cuente con un diseño que los identifique, pero el problema se refiere al término: logotipo que es utilizado para designar cualquier representación gráfica o visual. Logotipo se define como “grupo de letras, abreviaturas, cifras, etc., fundidas en un solo bloque para facilitar la composición tipográfica” (Real Academia Española, s.f.). Entonces el término logotipo o logo se refiere a nombres propios, completos o abreviados y, por consiguiente, cifras y palabras escritas con cierta clase de fuente tipográfica o de caligrafía. Para un mayor impacto se recomienda utilizar un isotipo es un símbolo pictográfico, un ícono o, en general, una imagen que acompaña a los logotipos, pero que es diferente de éstos, pues no incluye caracteres, sino que es algo puramente visual. Por eso, a diferencia de un logotipo, un isotipo puede ser reconocido y comprendido, pero no pronunciado. En conclusión, un isotipo es un identificador visual o gráfico compuesto (exclusivamente) por imágenes.

Ahora bien, los isotipos pueden ser figurativos o abstractos. Son figurativos si representan un aspecto reconocible de la realidad o son fácilmente asociables a personas, animales, objetos, etcétera. En esta modalidad de isotipos se encuentran dibujadas siluetas y contornos, pues de ellos se eliminan todos los rasgos innecesarios para la identificación visual. En cambio, los isotipos abstractos son aquellos en los que no existe una relación evidente con algún aspecto de la realidad visible, pues lo que se trata de sugerir o provocar con ellos son ideas, conceptos, valores o emociones (Harada, 2014).

Para una comunicación con mayor identidad colectiva es recomendable que la representación sea una combinación de ambas:

Logotipo + isotipo = mayor penetración visual

Con una imagen y una o varias palabras se puede dar una idea más clara y certera del fin de la organización. En relación con el caso de estudio se muestra como la organización colectiva: Aquí ¡No! maneja ambos conceptos:

Figura 4. Identificador visual del Colectivo Aquí ¡No!



Nota: Colectivo Aquí ¡No!, (s. f.) Figura [Página de Facebook]. Facebook.

Cabe mencionar que esta combinación de logotipo e isotipo lleva por nombre imagotipo o isologo, donde el término imagotipo se refiere cuando lo que hay es un logotipo y un isotipo acoplados, pero claramente diferenciados por ejemplo, uno se encuentra arriba y el otro abajo o uno a la derecha y el otro a la izquierda, de manera que pueden funcionar y ser utilizados por separado (Harada, 2014) o sea:

Imagotipo = logotipo e isotipo separado

Por otro lado, tenemos que isologo o isologotipo como también se le conoce se refiere cuando el logotipo y el isotipo se encuentran fusionados en un solo elemento, el texto se encuentra dentro de la imagen o la imagen dentro del texto, de manera que no pueden ser desligados sin que pierdan su sentido (Harada, 2014).

Isologo=logotipo e isotipo fusionados

En el caso de la Figura 4 presentada anteriormente se refiere a este último término: isologo ya que presenta por un lado el logotipo: Aquí ¡No! y del isotipo con la imagen del icono indicador de ubicación de un lugar en un mapa.

Manifestación Pacífica

La manifestación pacífica es una acción muy recurrente en los movimientos sociales hoy en día, la cual se define como un ejercicio de acción cívica para expresar de forma pública alguna inconformidad o insatisfacción con problemáticas no resueltas, de diversa índole. Esta acción cívica también puede estar motivada por la indignación, la disidencia o la resistencia ante políticas públicas o conductas de los poderes públicos que afectan de manera significativa el ejercicio de derechos (Civilis Derechos Humanos, 2013).

Los instrumentos internacionales y regionales de protección de los derechos humanos reconocen la importancia de una sociedad civil fuerte y de individuos plenamente conscientes de sus derechos y de sus prerrogativas ciudadanas para que funcione la democracia. La Carta Democrática Interamericana subraya especialmente en su Artículo 2: “La democracia representativa se refuerza y profundiza con la participación permanente, ética y responsable de la ciudadanía en un marco de legalidad conforme al respectivo orden constitucional” (Organización de los Estados Americanos [OEA], 2001).

En julio de 2020, el Comité Internacional de Derechos Humanos publicó la Observación General 37 (OG 37) sobre el derecho de reunión pacífica, un derecho consagrado en el Artículo 21 del Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos. El Artículo 21 establece que se reconoce el derecho de reunión pacífica. El ejercicio de tal derecho sólo podrá estar sujeto a las restricciones previstas por la ley que sean necesarias en una sociedad democrática, en interés de la seguridad nacional, de la seguridad pública o del orden público, o para proteger la salud o la moral públicas o los derechos y libertades de los demás (Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, 1966). Esto permite ciertas circunstancias limitadas en las que se podrá restringir este derecho. No obstante, organizadores, manifestantes, gobiernos, las fuerzas del orden y miembros del público a menudo entran en conflicto sobre cómo ejercer este derecho, y de qué modo puede quedar limitado (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2022).

La OG 37 es una herramienta muy completa que ofrece asesoramiento y orientación a las autoridades sobre sus obligaciones de proteger el derecho de reunión pacífica y juega un papel clave para orientar a las organizaciones de la sociedad civil para defender el derecho de reunión pacífica. Es importante mencionar que es de poco conocimiento estos derechos y obligaciones que establece la OG 37 entre los activistas de manifestaciones pacíficas, es un reto que se de conocimiento esta observación general y no solo entre activistas sino en aquellas autoridades como los abogados, jueces y responsables políticos sean conscientes de su existencia. Por ello se recalca la importancia de su conocimiento para cualquier organización civil (ONU, 2022).

El derecho a la manifestación pacífica, si bien es un derecho humano contenido en las libertades de reunión y de expresión, merece ser tratado de manera especial debido a que representa un modo de acción cívica para la exigencia y la defensa de derechos, altamente sensible a reacciones de gobierno y a políticas de Estado incompatibles con los derechos humanos (Informe Anual Comisión Interamericana de Derechos Humanos [CIDH], 2005). La manifestación pacífica es uno de los derechos que más pone en evidencia el grado de respeto y responsabilidad de un Estado con los derechos humanos y la fortaleza de sus instituciones democráticas para evitar y prevenir el uso abusivo o violento del poder público en contra de los ciudadanos (Derechos Humanos, 2014).

En sus maneras de convocatoria y organización, la manifestación pacífica adopta múltiples formas y puede ser llevada a cabo por personas, grupos de personas u organizaciones con el propósito de llamar la atención pública sobre ciertos asuntos ciudadanos y reclamar la urgente solución a los mismos. Están las protestas y concentraciones realizadas en espacios públicos, las huelgas y paros laborales y las más extremas como las huelgas de hambre. Casi siempre la manifestación pacífica es un punto de llegada y no un punto de partida. Aparece después que se han agotado otras vías de solución, durante un tiempo prolongado que ha excedido los límites de espera, porque los problemas se agravaron o porque hay daños inminentes a las personas (Civilis Derechos Humanos, 2013).

Pueden llegar a tornarse violentas cuando se han cerrado todos los caminos de diálogo y la resolución de conflictos por vías institucionales; o también cuando su ejercicio provoca medidas de represión o criminalización que atentan

contra la vida, la integridad o la libertad de las personas (Civilis Derechos Humanos, 2013). En este sentido, las normas jurídicas más relevantes de la manifestación pacífica son:

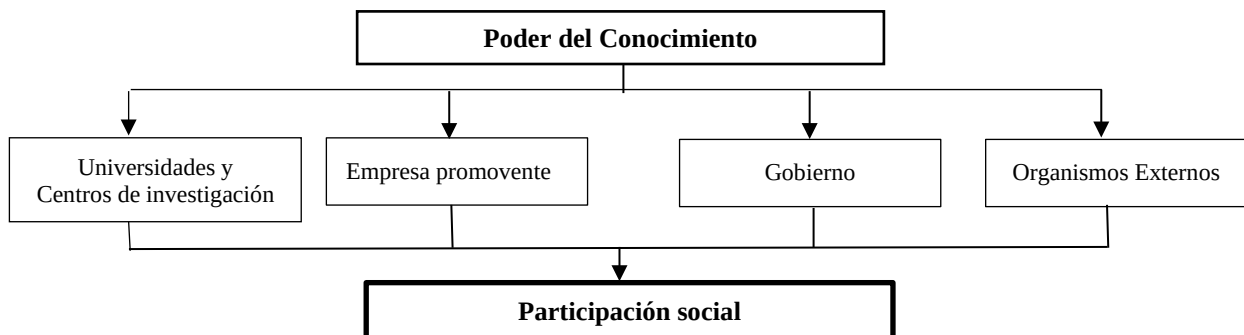
- Guía de Derechos Humanos de manifestaciones públicas (DH)
- Carta Democrática Interamericana (CDI)
- Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (PIDCP)
- Capítulo V del Informe Anual 2005, Las manifestaciones públicas como ejercicio de la libertad de expresión y la libertad de unión
- El Derecho a la Manifestación Pública
- La Observación General número 37
- Marco Jurídico Interamericano sobre el Derecho a la Libertad de Expresión
- Informe de la Protesta Social Pacífica de la Federación Internacional de Derechos Humanos
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

En las normas internacionales de protección de derechos humanos, la manifestación es además un derecho especialmente protegido porque representa una forma de expresión de la voluntad popular dentro de todas las posibilidades de conducta que ofrece una sociedad libre y democrática. Su fundamento es que la violación de los derechos humanos o del libre y democrático ejercicio de la soberanía para manifestar ideas y opiniones expresadas en forma pública, conlleva el legítimo derecho de las personas a reclamarlos y exigirlos individual o colectivamente por medio de la manifestación pacífica. Por lo tanto, los Estados no pueden aplicar restricciones a este derecho que sean inadmisibles en los Tratados Internacionales para justificar medidas dirigidas a suprimir la oposición o incurrir en prácticas represivas contra su población. En tanto son expresión de la voluntad popular, las manifestaciones cumplen una importante función democrática: permiten la defensa y la reivindicación de derechos, incentivan el debate político sobre problemas de interés público y promueven alternativas de cambio conforme a las aspiraciones democráticas.

Poder del conocimiento

Este proceso consiste en que las instancias o autoridades más representativas de la región brinden, a convocatoria de los líderes sociales, el conocimiento suficiente del proyecto o situación que da pie al problema socioambiental y que, en su caso, pudiera afectar a los habitantes o región.

Figura 5. Esquema del proceso del Poder del Conocimiento.



Nota: elaboración propia.

De esta forma, se está en posibilidad de reflexionar, analizar, estudiar y adoptar de forma voluntaria la decisión que corresponda al caso en concreto. Estas instancias o autoridades más representativas deberán ser:

- Universidades y centros de investigación
- Empresa u organización promotora
- Autoridades gubernamentales, funcionarios públicos
- Asociaciones y organismos externos

Estas instancias tienen la capacidad y facultad para establecer un diálogo transparente y adecuado a todos los niveles de población participante. Esta información debe ser redactada, diseñada y/o presentada en forma clara, sencilla y comprensible, se presenta en forma escrita, digital, visual, auditiva y/o verbal, incluso, utilizando los instrumentos científicos y/o tecnológicos y deberán incluir los aspectos más relevantes del proyecto, los cuales pueden ser:

1. Planteamiento del proyecto,
2. Justificación y, en su caso, presentación de algún estudio y/o evaluación

3. Objetivo (s),
4. Alcance,
5. Ámbito geográfico o espacial,
6. Ventajas, desventajas, riesgos y/o impacto,
7. Fases y principales actividades y/o acciones del proyecto,
8. Tiempo estimado del proyecto, en su caso, cronograma.

Lo anterior, sin menoscabo de que durante el proceso de información la población podrá solicitar más información, orientación y asesoría técnica respecto al proyecto o sus componentes; en este sentido, las instancias o autoridades representativas, en sus posibilidades dar segundo proceso de información debiendo especificar lugar, día y hora para atender las dudas de esta población, así como personal o representante a cargo que dará respuesta a las dudas planteadas. Es importante que el proceso de información tenga una retroalimentación de información de la población hacia las instancias o autoridades representativas, la cual deberá ser considerada, analizada y, de ser procedente, incorporada en los términos conducentes al proyecto en los términos más factibles.

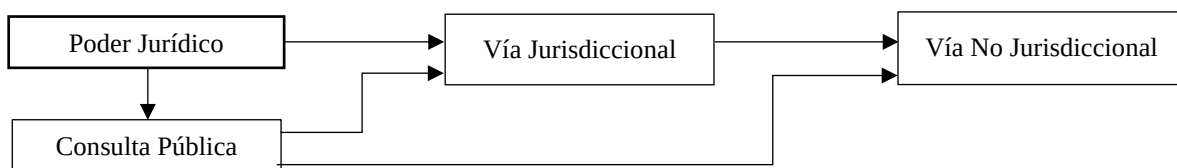
En el caso de estudio este Poder del Conocimiento fue muy importante, los líderes sociales a través de su colectivo ecológico Aquí ¡No! convocan a los habitantes de la región para empoderarlos del conocimiento, promoviendo talleres de capacitación, como por ejemplo el taller que les impartió FASOL denominado “Gestión Social para la defensa del medio ambiente y el territorio” en diciembre de 2017, la cual se instruyó por sectores siendo primeramente a pescadores terminando con la población indígena, así mismo las instituciones de investigación y académicas como el CIIDIR Unidad Sinaloa, la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), entre otras Instituciones, proceso que llevo meses de capacitación. En la Tabla 3, se relacionan las instituciones y autoridades de capacitación más representativas para esta zona de estudio.

Cabe mencionar que el Poder del Conocimiento es un derecho que por Ley se establece, al respecto la Ley de los Derechos de los Pueblos y Comunidades Indígenas para el Estado de Sinaloa define la Libre determinación como el “Derecho a la capacidad individual y comunitaria de los pueblos, comunidades y organizaciones sociales indígenas, para decidir con libertad, debidamente informados, sobre asuntos de carácter privado o público y de interés comunitario, relacionados con su propia esfera de relaciones personales y formas de convivencia; así como las de interés social y comunal, para alcanzar su desarrollo económico, humano, político, social y cultural” (Ley de los Derechos de los Pueblos y Comunidades Indígenas para el Estado de Sinaloa, 2018).

Poder jurídico

Existen varios aspectos jurídicos que pueden orientar a las organizaciones, entre las más importantes están: Vía jurisdiccional y no jurisdiccional, y la Consulta Pública.

Figura 6. Esquema del proceso del Poder Jurídico.



Nota: elaboración propia.

Vía jurisdiccional y No Jurisdiccional

La defensa y protección de los derechos humanos tiene en nuestro país dos grandes vías, la que se realiza a través de la vía jurisdiccional y la que lleva a cabo con los organismos no jurisdiccionales. Para entender mejor cada uno de estos dos sistemas y su aplicación ante eventos como el caso de estudio a continuación se definen cada uno de estos:

- **Jurisdiccional:** En esta vía son las autoridades judiciales las que analizan las demandas que ante ellas se presentan por presuntas violaciones a los derechos fundamentales y determinarán si en realidad existe una violación, haciendo un examen de constitucionalidad y legalidad, siendo el máximo órgano la Suprema Corte de Justicia de la Nación. Este órgano contempla tres medios de defensa según la Constitución política: el juicio de amparo, las acciones de inconstitucionalidad y las controversias constitucionales, todo se hace a través de los medios de control de la constitucionalidad que la Suprema Corte de Justicia realiza (González Pérez, 2011).

- No jurisdiccional: esta otra vía lo realizan los organismos no jurisdiccionales, a quienes les corresponde la protección de los derechos humanos, que en el caso de México quedan divididos en dos grandes instituciones: por un lado, está la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH), y por otra parte se encuentran las Comisiones de Derechos Humanos de las 32 entidades federativas. Además de estas, se encuentran otras instituciones especializadas, las más representativas son la Procuraduría Federal del Consumidor, la Procuraduría Federal del Medio Ambiente, la Comisión Nacional de Arbitraje Médico y el Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación, todos ellos por medio de la figura del ombudsman, y poseen facultades más amplias que de los tribunales para calificar la naturaleza de las violaciones a los derechos fundamentales además pueden reconocer conductas administrativas no solo ilegales sino también irrazonables, injustas, inadecuadas o erróneas, por lo que esencia de competencia es más amplia (González Pérez, 2011).

Cabe mencionar a partir de la reforma constitucional en materia de derechos humanos publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de junio de 2011, hay un cambio radical en el ordenamiento jurídico porque en ellas se incrementan el catálogo de los derechos fundamentales, éstos ya no se limitarán únicamente a los establecidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, sino que también se tendrán que respetar aquellos derechos humanos que se reconocen en los tratados internacionales que han sido asignados y ratificados por el Estado Mexicano (González, 2011). Estos sistemas no son antagónicos entre sí; por el contrario, se complementan uno con el otro y sus finalidades son las mismas, o sea a partir de la reforma en materia de derechos humanos mencionada anteriormente, se ha dado pauta para que la defensa no se realice únicamente a través de medios jurisdiccionales que muchas veces se pueden sentir más expuestos y vulnerables por la ignorancia que existe sobre el campo de lo jurídico y la corrupción que abunda en el mismo (González, 2011).

En relación al caso de estudio, respecto a la Vía Jurisdiccional, los habitantes de las comunidades indígenas apegándose a los medios de defensa según la Constitución Política por la vía jurisdiccional, realizan una serie de juicios de amparos, entre los más importantes se encuentran:

1. Comunidad indígena de Lázaro Cárdenas, interpuesto ante el Juzgado 6to. de los Mochis mediante expediente 528/2018,
2. Comunidad Indígena Paredones, interpuesto ante el Juzgado 6to, de la ciudad de los Mochis mediante expediente número 628/2018,
3. Comunidad indígena Ohuira, interpuesto en el Juzgado 7mo. de la ciudad de Los Mochis con número de expediente 350/2019.

El amparo señalado referente a la comunidad indígena de Lázaro Cárdenas, el pasado 6 de abril de 2022 la Suprema Corte de Justicia de la Nación confirmó el amparo a favor de esta comunidad indígena por falta de consulta previa por lo que ordena realizar la Consulta Pública a la comunidad afectada, acordando que la nueva consulta libre e informada no deberá tomar más de cuatro meses, desde su convocatoria hasta la fecha de realización. La SEMARNAT tendrá que coordinarse con el Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas (INPI) para celebrar la consulta de acuerdo al protocolo de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (Fuentes, 2022).

Respecto a la acción de la Vía No Jurisdiccional, se tiene integrado un expediente mediante queja interpuesta por el cobanaro Felipe de Jesús Montaña Valenzuela representante del Consejo Consultivo Mayo-Yoreme, en donde denuncian los abusos de poder de los diferentes niveles de gobierno y de la empresa GPO, estos han violado los derechos humanos de los pueblos indígenas mediante amenazas de muerte, manipulación y la intimidación. Para ellos se llevó a cabo el pasado 9 de diciembre de 2021, en la comunidad indígenas de Lázaro Cárdenas, una reunión de visitantes de la CNDH, a través de su representante el Sr. José Enrique Vega Rosales entre otras personas de la unidad de atención a pueblos originarios, quienes escucharon y atendieron muchos testimonios de los habitantes de estas comunidades indígenas de esta región y de esta manera verificaron la problemática con relación a la planta de amoniaco, junto a estos se agregaron testimonios de activistas e investigadores quienes con su experiencia y conocimiento expusieron las razones de esta defensa del territorio y su consecuente violación a los derechos de estos pobladores indígenas (Nájera, 2021).

Así mismo, como parte de las acciones de la Vía No Jurisdiccional, los cooperativistas pesqueros, han interpuesto denuncia ante la PROFEPA, donde exigen la anulación del título de concesión VGZTF-1288/08 por el que se aprueba la construcción de un muelle y a la cancelación de la construcción y usufructo de 139 hectáreas de humedales por vicios ocultos en la escrituración de predios de la zona marítimo terrestre. La denuncia fue interpuesta el 23 de noviembre de 2021 (Nájera, 2021).

Consulta Pública

Ante todo, es obligatoriedad cumplir con lo que rige nuestra Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Con respecto a las consultas en el Artículo 2do. se establece que: “La Federación, los Estados y los Municipios, para promover la igualdad de oportunidades de los indígenas y eliminar cualquier práctica discriminatoria, establecerán las instituciones y determinarán las políticas necesarias para garantizar la vigencia de los derechos de los indígenas y el desarrollo integral de sus pueblos y comunidades, las cuales deberán ser diseñadas y operadas conjuntamente con ellos” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM], 2001 [Reformado D.O.F.14 de agosto]).

En el entendido que en el documento El Derecho a la Consulta de los Pueblos y Comunidades Indígenas se define que la consulta: “Es el procedimiento por el cual se presenta a los pueblos y comunidades indígenas iniciativas, propuestas de planes y programas, modelos de políticas públicas y reformas institucionales que les afectan directamente, con el propósito de obtener su consentimiento o acuerdo” (Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH], 2018).

Además, en instrumentos internacionales, como el Convenio 169 de la Organización Internacional del trabajo sobre pueblos indígenas y tribales, en su artículo 6º. dice: Al aplicar las disposiciones del presente Convenio, los gobiernos deberán consultar a los pueblos, mediante procedimientos apropiados y a través de sus instituciones representativas, cada vez que se prevean medidas legislativas o administrativas que les afecten directamente. Las consultas deberán efectuarse de buena fe y de una manera apropiada a las circunstancias, con la finalidad de llegar a un acuerdo o lograr el consentimiento acerca de las medidas propuestas (Organización Internacional del Trabajo, 1989).

Por su parte, el Artículo 7º, del Convenio 169 de la OIT, señala: Los pueblos decidirán sus propias prioridades en la medida en que se afecte a sus vidas, creencias, instituciones y bienestar espiritual y a las tierras que ocupan o utilizan. Además, deberán participar en la formulación, aplicación y evaluación de los planes y programas de desarrollo nacional y regional, para el mejoramiento de las condiciones de vida, trabajo, salud y educación. Los gobiernos deberán velar porque se efectúen estudios, en cooperación con los pueblos, a fin de evaluar la incidencia social, espiritual y cultural y sobre el medio ambiente que las actividades de desarrollo previstas puedan tener sobre esos pueblos, y tomar medidas, en cooperación con ellos, para proteger y preservar el medio ambiente de sus territorios (Organización Internacional del Trabajo, 1989).

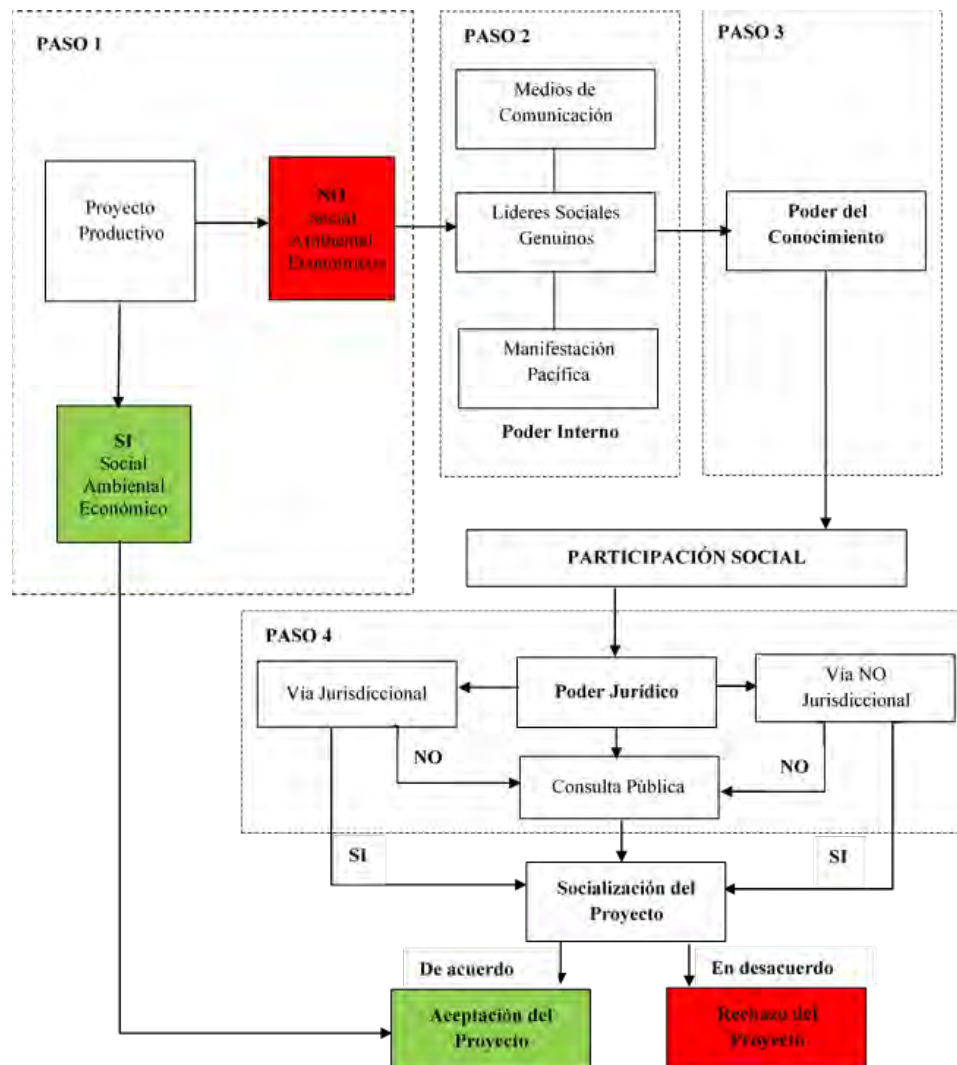
En el procedimiento de revisión de propuestas o proyectos que afecten a los pueblos indígenas, se entiende que el consentimiento es el derecho que tienen los pueblos indígenas para autorizar o permitir las propuestas o proyectos de acuerdo con los impactos que consideren que afectan a sus culturas y comunidades. El consentimiento previo, libre e informado no significa que el resultado de la consulta deba ser la autorización plena para el desarrollo de los programas y proyectos que se proponen a los pueblos; tampoco implica necesariamente una negativa a los mismos. Se dice consentimiento previo porque se refiere a una autorización previa a la implementación de cualquier acción; libre, en el entendido de que debe ser una decisión plena y autónoma de las comunidades y sus integrantes, e informada porque para la toma de decisiones es indispensable que se cuente con la información necesaria, culturalmente adecuada y de acuerdo con las circunstancias, a fin de que la resolución sea pertinente a los intereses de las comunidades. Un ejemplo de lo anterior fue lo ocurrido el pasado 16 de febrero de 2022, donde la Primera Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación, canceló el título de concesión para una mina de oro y plata en la sierra de Puebla, con una inversión de hasta mil 270 millones de dólares de una empresa canadiense, por considerar que la consulta previa a indígenas de la región es necesaria para otorgar concesiones mineras (Fuentes, 2022).

En el sitio de estudio no fue realizada la Consulta Pública a los pueblos indígenas de la región, como lo norma el Convenio 169 de la OIT, en su lugar y por orden del Presidente Andrés Manuel López Obrador, el Gobierno Federal realizó una Consulta Popular el 28 de noviembre de 2021, en la que una amplia mayoría de los votantes apoyaron la planta de amoníaco, pero esto no subsana la falta de consulta indígena (Fuentes, 2022). Esta consulta popular tuvo la participación del 13 por ciento del padrón de votantes de los municipios de Ahome, Guasave y El Fuerte (Jáuregui, 2022). Dichas mesas de votaciones fueron en su mayoría instaladas en comunidades y ciudades que no tienen población indígena y no están directamente en relación con el sitio posiblemente afectado como si lo están las comunidades indígenas costeras al sistema lagunas. Es conveniente aclarar que la Consulta Popular es un mecanismo de participación ciudadana que sirve para ejercer el derecho constitucional de votar en torno a temas de trascendencia nacional o de una determinada entidad federativa (Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación [TEPJF], 2021), en muy pocos casos su reglamentación permite a los ciudadanos incidir en el diseño de políticas públicas y en el proceso legislativo, lo que deja en duda su eficiencia para incrementar la participación y el interés en política (Bravo, 2014). Referente al proceso de información se llevaron a cabo Asambleas informativas, en este ejercicio participaron más de 60 localidades pertenecientes al pueblo indígena Mayo-Yoreme, quienes abrieron las puertas de sus centros ceremoniales a cargo de sus autoridades, en 13 sedes, en donde mediante asambleas generales recibieron a las

dependencias del Gobierno de México, quienes, en español y en la lengua Mayo-Yoreme, a través de intérpretes-traductores nativos y certificados, así como material informativo en la lengua materna de los participantes, informaron sobre el proyecto (INPI, 2022). Esto se realizó con una concurrencia mínima de los pobladores mayo-yoremes ya que muestran apatía a la presentación del proyecto. Mireya Espinoza Imperial, delegada del INPI, arenga a cuestionar a los técnicos, pero induce el rechazo al no al proyecto (Nájera, 2022b).

A continuación, se describen los pasos del proceso de gestión de acuerdo que va de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 7. Proceso de gestión del modelo.



Nota: elaboración propia.

Paso 1: Todo proyecto de infraestructura, equipamiento o de producción general, ya sea del orden público o privado causa impactos durante su construcción y operación. Estos impactos pueden afectar en menor o mayor grado el orden social, ambiental o económico de una comunidad o a una región entera. Cuando este grado afecta en menor medida los intereses colectivos, estos proyectos productivos son “aceptados” y se consolidan sin mayor problema; pero cuando pasa lo contrario, se generan una serie de inconformidades sociales, ambientales o económicas gestando un “conflicto” y en consecuencia su “rechazo”. El presente modelo de participación social inicia su proceso en este punto, una vez identificado que existe un “conflicto”, se debe proceder al siguiente punto o paso.

Paso 2: Detectado la existencia del “conflicto”, se debe proceder con el Poder Interno, esto es, iniciar y empoderar a la “organización” al interior del grupo afectado, esto se logrará mediante el líder o líderes sociales que genuinamente

la población en general identifique y siga, esto es fundamental para el inicio y secuencia de la organización. Estos líderes deben establecer una identidad organizacional que distinga al grupo o movimiento que se está gestando, esto se realizará definiendo sus medios de comunicación: imagen y redes sociales, esto consolidará la etapa inicial interna de la organización. Lo siguiente es que la población en general conozca y se integre de manera voluntaria y participativa; para ello los líderes realizarán reuniones y manifestaciones pacíficas en espacios públicos mediante convocatorias públicas de sus medios de comunicación previamente establecidos.

Paso 3: definida la organización en su etapa inicial se debe proceder al Poder del Conocimiento. El conocimiento es la base para la correcta toma de decisiones, por ello se debe empoderar a la población dando a conocer los detalles sobre la posible construcción y operación del proyecto productivo a establecerse en su región, esto se hará de forma clara, completa y accesibles para toda la población, para ellos se deberán recurrir a las instancias facultadas para impartir el conocimiento. En la Tabla 3, se describen las instancias que pudieron o podrían considerarse en el caso del proyecto de la planta de amoníaco en Topolobampo, Sinaloa.⁷ Cabe mencionar que esta tabla solo aplica para este caso de estudio el cual se enuncia a manera de ejemplificar las instancias correspondientes y en su caso variará de acuerdo a cada región, lo mismo aplica para las Tablas 4 y 5.

Tabla 3. Instancias y autoridades representativas de la zona de estudio.

Instancia o autoridad representativa	Institución	Personal responsable y contacto
Universidades y centros de investigación	Universidad Autónoma de Occidente	Dra. Sylvia Díaz Camacho. Rectora Teléfono: (668) 8161050 Sylvia.diaz@uadeo.mx
	Universidad Autónoma de Sinaloa	Dr. Jesús Madueña Molina. Rector Teléfono: (667)7593882 extensión: 15495
	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa	Dr. Juan Carlos Sainz Hernández. Director Teléfono (687)8729626 extensión 87636 Correo electrónico: jsainz@ipn.mx
Empresa u organización promovente	Gas y Petroquímica de Occidente S.A. de C.V.	Arturo Moya Hurtado. Director General Teléfono: (668) 1723378 Correo electrónico info@gpo-mexico.com
Autoridades gubernamentales, funcionarios públicos	Gobierno del Estado de Sinaloa	Dr. Rubén Rocha Moya. Gobernador Teléfono: (667) 7587000 extensión: 1000 Correo: ruben.rocha@sinaloa.gob.mx Lic. Rosa Isabel Mendoza Camacho Secretaria de Desarrollo Sustentable Teléfono (667) 7587000 extensión: 40320
	Municipio de Ahome	Gerardo Vargas Landeros. Presidente municipal Teléfono: (668) 816400 contacto@ahome.gob.mx Ing. Manuel de Jesús Rodríguez Soto Director de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano Teléfono: (668) 8165006 extensión: 1120
Asociaciones y organismos externos	Conserva, Costa y Comunidades A.C.	Dra. Sandra Guido. Directora ejecutiva Teléfono:(669)6680911 comunicacion@conselva.org
	Comisión Estatal de Derechos Humanos, Sinaloa	Mtro. José Carlos Álvarez Ortega. Presidente Contacto: (667) 752-24-21
	Centro Mexicano de Derecho Ambiental A. C. (CEMDA).	informacion@cedhsinaloa.org.mx María Eugenia De la Fuente. Presidenta Contacto: (55) 52863323contacto@cemda.org.mx

Nota: los datos aquí vertidos son del ámbito público por lo que no se vulnera con la privacidad de las personas mencionadas.

⁷ Es importante consignar que hasta la fecha no se tiene un desenlace de la lucha social emprendida para cancelar el proyecto. Si bien es cierto se hizo una consulta popular en noviembre de 2021 pero no cuenta con la validez de acuerdo al Convenio 169 de la OIT.

Paso 4: Toda vez que la participación social está mejor conformada, está puede acceder a tres vías legales dentro del Poder Jurídico: la vía jurisdiccional, la no jurisdiccional y la Consulta Pública. Para una pronta respuesta se recomienda hacer la gestión legal ante cada una de las vías que propone este Poder Jurídico. Con el debido conocimiento adquirido en el paso anterior y asesorándose de líderes en temas jurídicos, la organización de participación social tiene el derecho de presentar demandas o bien, una demanda mediante juicio por la vía jurisdiccional por escrito ante la sala del juzgado regional competente de la región. En caso de que la sentencia no sea favorable o bien a la par de la demanda interpuesta de manera jurisdiccional, se podrá proceder a realizar misma demanda ante instancia no jurisdiccional, ante la Comisión Estatal de Derechos Humanos (CNDH) o ante la Procuraduría Federal del Medio Ambiente (PROFEPA) dentro de su ámbito local o regional, según sea el caso de la ubicación geográfica del “conflicto”. Por último, es importante señalar que toda región especialmente vulnerable por sus características propias, como lo son muchas zonas con origen indígena, tiene el derecho a la Consulta Pública sobre el destino y uso que se dé en sus territorios, esta consulta deberá ser previa, libre e informada, como está debidamente estipulado en acuerdos internacionales, al que nuestro país forma parte, por lo que este derecho es legalmente procedente de exigir y reclamar para una solución favorable ante la defensa de su territorio.

Para proceder por la vía jurisdiccional, se podrán presentar las demandas en los juzgados de distrito más cercanos al sitio que están ubicados en la ciudad de Los Mochis.

Tabla 4. Juzgados de distrito en el estado de Sinaloa, con residencia en Los Mochis.

Número de Juzgado	Dirección	Teléfono	Juez de distrito
Quinto	Blvd. Adolfo López Mateos #2213, colonia Las Fuentes.	(668) 8123746 (668)8153208	Juan Enrique Parada Seer
Sexto	Blvd. Adolfo López Mateos #2213, colonia Las Fuentes.	(668) 8189001 (668) 8189002	Aída Araceli Villarreal Escovar
Séptimo	Blvd. Adolfo López Mateos #2213, colonia Las Fuentes.	(668) 8153824 (681)8153946	José Francisco Pérez Mier

Nota: los datos aquí vertidos son del ámbito público por lo que no se vulnera con la privacidad de las personas mencionadas. Elaboración propia tomados de los datos <https://www.cjf.gob.mx/Directorios/OJintcirc.aspx?cir=12>

Para este tipo de demandas también se podrán realizar por conducto del Centro de Atención Telefónica para la Recepción de Quejas y Denuncias al número 800 696 9999; y a través del Buzón de Quejas o Denuncias en la página <http://www.cjf.gob.mx/quejas.ht>.

En caso de proceder por la vía no jurisdiccional se podrá realizar la demanda en las siguientes oficinas:

Tabla 5. Organismos no jurisdiccionales con oficinas en Los Mochis.

Oficina	Dirección	teléfono	Responsable
Comisión Estatal de los Derechos Humanos (CEDH)	Calle Niños Héroes No. 781 sur, colonia Bienestar, C.P. 81200	(668) 8170225	Mtra. María Araceli Sepúlveda Saucedo. Jefa de la oficina regional zona norte
Procuraduría Federal del Medio Ambiente (PRPROFEPA)	Calle Guillermo Prieto No. 851, colonia Centro, C.P. 81200	(668) 8170760	Jesús Tesemi Avendaño Guerrero delegado Estatal

Nota: los datos aquí vertidos son del ámbito público por lo que no se vulnera con la privacidad de las personas mencionadas. Elaboración propia, tomado de los datos de: <https://www.cedhsinaloa.org.mx/>
<http://www.profepa.gob.mx/profepa/directorio.jsp?nombre=&oficina=626&Submit2=Buscar>

En este último proceso, es importante mencionar que la Socialización del Proyecto, es decir, independientemente de los resultados tanto de las acciones jurídicas, no jurídicas y consultas públicas es vital para el rechazo o la aceptación de un proyecto que esté en armonía con el respeto y a los derechos de los pueblos directamente implicados, en caso contrario, seguirá su lucha en un círculo de gestión hasta la obtención del resultado acorde con la aptitud del territorio y de sus habitantes en cuestión.

Este Modelo de Gestión de Participación Social, fue elaborado a partir de la información recopilada durante el proceso de la investigación, tanto documental como de campo, siendo esta última de suma importancia para su conformación. Es notable los aciertos que los habitantes de la región y de su Colectivo Aquí ¡No! realizan en su lucha por defender su territorio, como, por ejemplo, la adecuada gestión de su Poder Interno por medio de la estructura de organización

democrática de sus líderes sociales genuinos, su estrategia de visibilidad tanto en su derecho a decir, en medios de comunicación adecuados, como por su derecho a dejarse ver mediante las manifestaciones pacíficas. También es de notarse el efectivo Poder del Conocimiento que poseen muchas personas en especial de sus líderes, independientemente de su capacidad y nivel de estudios gracias a la capacitación recibida a lo largo de estos meses de lucha, pero este conocimiento no se ve reflejado en la muchos de los habitantes muchas veces por la falta de interés o tiempo. El Poder Jurídico pudiera haber sido más eficaz pero las ciertas instancias de poder frenaban de laguna manera una pronta y favorable respuesta a lo que a derecho corresponde.

El diseño de este Modelo de Gestión de Participación Social tiene la finalidad de contribuir a que estos procesos de gestión se realicen de manera más pronta y eficaz. Este modelo debe ser la guía para que personas, ya sea un líder social o habitante indígena o no, de cualquier territorio vulnerable, que se vea posiblemente afectado ante el establecimiento de algún proyecto de desarrollo, actúen de una manera más oportuna para que los tiempos de estos procesos no se vuelvan, con el paso de los años, una lucha infructuosa y desgastante al grado de ceder como pasa en muchos de los casos estudiados.

Discusión

De los resultados cuantitativos y cualitativos se infiere que las redes sociales juegan un papel importante en la comunicación, este medio es utilizado por personas en un rango de edad joven en contraste con personas de edad mayor de 58 años que no están informadas y no tienen acceso fácil a la información considerando que no utilizan las redes sociales como el Facebook, WhatsApp y Twitter, entre otras, estos utilizan los medios de comunicación tradicionales como la radio y/o la televisión. Además, a mayor grado de conocimiento, mayor es el rechazo hacia la planta, por ello la importancia del conocimiento para una mejor toma de decisiones, así como el impulso de la participación social de una comunidad; en consonancia con la importancia de los medios de comunicación. Por ello, la participación social es importante en los procesos de una buena gobernanza que de acuerdo a Cossío (2013) se debe informar adecuadamente y de buena fe con la finalidad de obtener una mejor toma de decisiones y el posible consentimiento de la población. Además de los anterior y de acuerdo con la Teoría de Santandreu (2007) se debe considerar que los ciudadanos tienen derecho a informarse, a pedir y reclamar, a opinar y a influir en las tomas de decisiones.

Los habitantes de la zona de estudio le dan valor al Colectivo Aquí ¡No!, debido a que es uno de los medios por el cual se informan, ya sea asistiendo a las reuniones que convocan o bien de manera indirecta a través de la comunicación con sus vecinos. En el entendido que el Colectivo Aquí ¡No! es un movimiento ambientalista y de acuerdo a Brullet y Rootes (2015) estos se dedican a la acción colectiva y son motivados por la preocupación compartida sobre temas ambientales, por lo que el Colectivo, para ellos es un canal adecuado para la transparencia de accesibilidad de la información.

La percepción de los habitantes es que la planta de amoniaco no cumple con la normativa vigente, pero es únicamente una percepción ya que existe un desconocimiento de las leyes que norman la construcción y operación de esta planta. Una vez más se confirma de la importancia de la información. Hay que mencionar, además, que de acuerdo con la Teoría de Sinclair y Diduck (2017), establece que los habitantes de una zona deben partir de una base ciudadana activa que se oriente hacia el aprendizaje y a un proceso deliberativo, para que su participación sea “activa” y no “pasiva” como sucede actualmente en donde el desconocimiento puede influir a una toma de decisiones equivocadas. Una buena participación activa puede fomentarse mediante organizaciones de la sociedad civil como lo representa en este caso el Colectivo Aquí ¡No!

Se infiere que los habitantes de la zona de estudio no tienen ningún conocimiento respecto a la existencia de alguna guía o modelo de participación social que los oriente para la defensa y bienestar de su territorio. Hay que mencionar además que ellos consideran muy importante contar con este documento para de esta forma hacer más eficiente y eficaz la gestión en general de los ciudadanos afectados ante un posible establecimiento de proyectos de impacto, como lo es la planta de amoniaco, sobre todo si se ubican en zonas vulnerables como son las costas de mares y lagunas por la inminente contaminación que se pudiera generar al mínimo trabajo para su construcción. Teniendo en cuenta lo anterior, un adecuado guía de participación para esta región costera, es muy importante porque, como argumenta Huertas *et al.* (2020), establece las acciones para lograr objetivos comunes, además estos deben ser dinámico, en permanente evolución.

Por otra parte, Álvarez (2017), sugiere que se debe estudiar y analizar, en forma amplia, el modelo de participación social para la formulación de políticas y gestión ambiental, incluyendo principios de política ambiental y los principales instrumentos que podrían ser implementar.

Conclusiones

Actualmente se vive en un momento en que la Sustentabilidad juega un rol importante en nuestro planeta, ya que se sufre del calentamiento global y cambio climático en donde los modelos de desarrollo tienen gran responsabilidad como actor principal de las problemáticas socioambientales. Los conflictos ambientales siempre han existido desde tiempo remotos, es estos se disputa el territorio y las valoraciones que se hacen de éste y los bienes comunes que allí existen (Squella, 2021). Esta situación, como en muchos otros grupos indígenas del país, prevalece: la situación de pobreza, marginación, explotación y exterminio a que han sido sometidos los mayos-yoremes durante más de cinco siglos, hoy en día no deja de ser así, pero gracias a una serie de elementos culturales que persisten dentro de las comunidades mayo-yoreme es que persisten. El sincretismo religioso ha sido, por lo tanto, más evidente aquí que en otros grupos indígenas del país (Gazga, 2002). Figueroa (1994) citado por Gazga (2002) define que “dentro de los rasgos culturales que persisten hasta el día de hoy está una peculiar visión del mundo que tiene, entre sus mitos de origen, aquel que relata cómo Dios creó el oro para los yoris y los objetos de trabajo para los mayos. Pero, después de todo, la religión funciona como el elemento fundamental a partir del cual los mayos actuales definen su identidad”

Esta identidad cultura es lo que motiva a los habitantes de esta región a mantener y defender su territorio. Ante la posible amenaza que para ellos representa el establecimiento del proyecto de desarrollo de la planta de amoniaco es que se realiza el movimiento socioambiental. El resultado de la investigación de este conflicto es el Modelo de Gestión de Participación Social en donde muchos de sus componentes descritos en el último capítulo, se resume a la suma en su conjunto de los 3 ejes principales: el Poder Interno, el Poder del Conocimiento y el Poder Jurídico.

El conflicto socio-ambiental aún sigue en pie de lucha, hasta no llegar a una verdadera Socialización del Proyecto, son muchas las inconformidades, pero los habitantes de esta zona afectada se encuentran cada día mejor informados y más participativos. Hasta el momento de esta investigación, se tiene dos amparos definitivos que cancelan el proyecto hasta no realizar la Consulta Pública en los pueblos indígenas, situación que esta próxima a desarrollarse, pero los habitantes continúan con sus movilizaciones y manifestaciones pacíficas hasta no tener la respuesta que ellos desean que es el respeto a la libre decisión de sus territorios.

Como se mencionó en la introducción, este artículo se desprende de la Tesis Doctoral realizada en la Universidad Autónoma de Occidente, unidad Regional Guasave, en Sinaloa, México; por lo que fue acotada a esta región que es la zona de posible afectación por la construcción y operación de la planta de amoniaco, en lo personal me hubiese servido de mucha experiencia haber indagado la percepción en regiones cercanas que son beneficiadas con el producto resultante de la planta: el fertilizante a base amoniaco, aquí la percepción es distinta entre los agricultores; conocer su opinión me hubiera sido interesante y complementaria.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, L. F. (2017). *Modelos de gestión*. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://digitz.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/1394/Modelos%20de%20Gesti%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la investigación científica. Editorial Episteme C. A.
- Bravo E. E. (2014). Mecanismos de participación ciudadana en perspectiva comparada. En Ugalde L. C. y Rivera L. M. (Eds.). *Fortalezas y debilidades del sistema electoral mexicano. Perspectiva estatal e internacional* (pp. 279-319). Coordinación de comunicación social del Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación. <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/5099-fortalezas-y-debilidades-del-sistema-electoral-mexicano-perspectiva-estatal-e-internacional-coleccion-tepif>
- Brullet, R., y Rootes, C. (2015). Movimientos Ambientales. En Wright, J. (Ed.). *Enciclopedia internacional de las ciencias sociales y del comportamiento* (pp. 715-739). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/international-encyclopedia-of-the-social-and-behavioral-sciences/wright/978-0-08-097086-8>
- Cardona, D. y Buelvas, S. (2010). Medir el clima organizacional: Preocupación legítima y necesaria por parte del management. *Saber, Ciencia y Libertad*, 5(2), 141-150
- Castañó, R. (2013). Un nuevo Modelo de Liderazgo por valores (Tesis Doctoral). <http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/20002>
- Civilis Derechos Humanos. (2013). <https://www.civilisac.org/nociones/derecho-a-la-protesta-pacifica>

- Cohen, N., y Seid, G. (2019). Producción y análisis de datos cualitativos. Teseo.
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos [CNDH]. (2018). *El derecho a la consulta de los pueblos y comunidades indígenas*. <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-05/03-Pueblos-Comunidades-indigenas.pdf>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM]. (2001 [Reformado D.O.F.14 de agosto]). <https://www.refworld.org/es/docid/57f795a52b.html>
- Cossío D. J., Mejía G. R., Rojas Z. L., Vergara L. C., y Orozco V. L. (2013). Derecho al agua y el conflicto Yaqui. *Doctrina y jurisprudencia*, 9-11. http://ceja.org.mx/IMG/Derecho_al_agua_y_el_c
- Cuadrado, I. (2001). Cuestiones teóricas y datos preliminares sobre tres estilos de liderazgo. *Revista de Psicología Social*, 16(2), 131-155. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=111965>
- Derechos Humanos [DH]. (2014). <http://www.civilisac.org/civilis/wp-content/uploads/El-derecho-a-la-manifestaci%C3%B3n-pac%C3%ADfica.pdf>
- Diario Oficial de la Federación. (2022, 17 de junio). Convocatoria del proceso de Consulta Previa, Libre e Informada, respecto del proyecto “Planta de Amoniaco 2200 TMPD en Topolobampo, Sinaloa”. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5655565&fecha=17/06/2022&print=true
- Fuentes, V. (2022, abril 6). Cancela Corte permiso a planta de amoniaco en Sinaloa. *Reforma*. https://www.reforma.com/cancela-corte-permiso-a-planta-de-amoniaco-en-sinaloa/gr/ar2380673?md5=b55c630e311a8dfe426d34700265cf68&ta=0dfdbac11765226904c16cb9ad1b2efe&utm_source=whatsapp&utm_medium=social&utm_campaign=promocion_suscriptor
- García-González, L., y Guedes, B. (2019). La identidad colectiva en línea en los movimientos sociales por la paz en México. *Virtualis*, 10(18), 16-39. <https://www.revistavirtualis.mx/index.php/virtualis/article/view/266/297>
- García-Hernández, M., Espinosa-Romero, M., Cisneros-Mata, G., Leyva-García, D., y Aguilera-Márquez, T.C. (2015). Concentración de mercurio y plaguicidas organoclorados (POC) en tejido comestible de jaiba café *Callinectes bellicosus* de las costas de Sonora y Sinaloa, México. *Ciencia Pesquera* (Número especial 23), 65-79. [https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP23-3/8-Garcia-et-al-2015-\(23-especial\).pdf](https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/cienciapesquera/CP23-3/8-Garcia-et-al-2015-(23-especial).pdf)
- Gazga, A. (2002). *Mayos de Sinaloa*. Proyecto Perfiles Indígenas de México, Documento de trabajo. <https://www.aacademica.org/salomon.nahmad.sitton/66.pdf>
- Gobierno de México. (2021). Ejercicio participativo planta de fertilizantes Topolobampo. Resultados finales. <https://participacionsocial.gob.mx/>
- Gómez-Rada, C. (2002). Liderazgo: conceptos, teorías y hallazgos relevantes. *Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología*, 2(2), 61-77. http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/cuadernos_hispanoamericanos_psicologia/volumen2_numero2/articulo_5.pdf
- González P. L. (2011). El sistema no-jurisdiccional de protección de los derechos humanos en México. *Revista IUS*, 5(28), 99-122. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-21472011000200006&lng=es&tlng=es
- Harada, E. (2014). Logotipos, isotipos, imatipos e isologos. *De la academia a la sociedad*, 2(33), 36-47. <http://prepa8.unam.mx/mixcoac/numeros/Revista%20No.%2033/files/assets/basic-html/page38.html>
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana.
- Huertas L. T., Suárez G. E., Salgado C. M., Jádán R. L., Ramiro, L., y Jiménez V. B. (2020). Diseño de un modelo de gestión. Base científica y práctica para su elaboración. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(1), 165-177. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000100165&lng=es&tlng=es
- Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas [INPI]. (2022). *Histórica Consulta Indígena Libre, Previa e Informada respecto del proyecto Planta de Amoniaco 2200 TMPD en Topolobampo, Sinaloa*. <https://www.gob.mx/inpi/es/articulos/historica-consulta-indigena-libre-previa-e-informada-respecto-del-proyecto-planta-de-amoniaco-2200-tmpd-en-topolobampo-sinaloa-306207>
- Ley de los Derechos de los Pueblos y Comunidades Indígenas para el Estado de Sinaloa. (2018, 9 de febrero). Congreso del Estado Libre y Soberano de Sinaloa. Decreto No. 381. https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/Indigenas/OtrasNormas/Estatal/Sinaloa/Ley_DPCIE_Sin.pdf
- Nájera, L. (2021, diciembre 15). Intervienen CNDH y Profepa en planta de amoniaco en Ohuira. *Ríodoce*. <https://riodoce.mx/2021/12/15/intervienen-cndh-y-profepa-en-planta-de-amoniaco-en-ohuira/>

- Nájera, L. (2022b, junio 25). Inicia federación etapa informativa de consulta indígena sobre planta de amoniaco. *Ríodoce*. <https://riodoce.mx/2022/06/25/inicia-federacion-etapa-informativa-de-consulta-indigena-sobre-planta-de-amoniaco/>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2022). <https://www.ohchr.org/es/stories/2020/12/un-human-rights-committee-provides-new-guidance-right-peaceful-assembly>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (1989). *Convenio número 169*.
- Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos. (1966). <https://www.cndh.org.mx.https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/VIH/OtrasPublicacionesdeinteresrelacionadosconelVIH/ONU/Pacto.pdf>
- Pantoja Ch. A. (2011). Los nuevos medios de comunicación social: las redes sociales. *Tejuelo* 12, 2018-226. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3737961.pdf>
- Porter, M. (1985). *Ser Competitivo*. Harvard Business Press.
- Real Academia Española. (s.f.). <https://dle.rae.es/cultura?m=form>
- Rosero, F., y Betancourt, S. (2002). *Líderes sociales en el siglo XXI*. Ediciones ABYA-YALA. https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1460&context=abya_yala
- Ros-Martín, M. (2009). Evolución de los servicios de redes sociales en Internet. *El profesional de la información*, 18(5), 552-557. <https://revista.profesionaldelainformacion.com/index.php/EPI/article/view/epi.2009.sep.10/21581>
- Santandreu, A. (2007). *Instrumentos y estrategias para promover la participación ciudadana y de la sociedad civil en la gestión ambiental*. <https://xdoc.mx/preview/instrumentos-y-estrategias-para-promover-la-participacion-5e98c0fdad4f6>
- Siliceo, A., Caseras, D. y González, J. (1999). Capítulo 4: Cultura Organizacional y Liderazgo. *Liderazgo, Valores y Cultura Organizacional*, Primera Edición, 127-162. http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Especialidad/TecnologiaEducativaG12/Modulo05/PDF/Cultura_organizacional_y_liderazgo.pdf
- Sinclair, A. J., y Diduck, A. P. (2017). Reconceptualizing public participation in environmental assessment as EA civics. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 174-182. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925516300968>
- Squella, R. (2021). Conflicto socioambiental, participación ciudadana y disputa territorial: La mirada de la Psicología Comunitaria. *Psicoperspectivas*, 20(2), 1-12. <https://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol20-issue2-fulltext-2211>
- Tello, N., & de la Peña, J. A. (2013). Estructuras sociales y gobierno. *Redes. Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 24(1), 256-263. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93126348014>
- Tello Moguel, C. (2022). *Modelo de participación social para el desarrollo sustentable en zonas costeras vulnerables. Caso: Planta de amoniaco de Topolobampo, Sinaloa, México* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave] <https://uadeo.mx/wp-content/uploads/2022/10/TESIS-DOCTORAL-CARLOS-ELIEZER-TELLO-MOGUEL.pdf>
- Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación [TEPJF]. (2021). Consulta Popular (Plebiscito y Referéndum). <https://www.te.gob.mx/eje/media/files/043e757a99c61b1.pdf>



PERCEPCIÓN DE ESTUDIANTES RESPECTO A LA ELABORACIÓN Y CONSUMO DE PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS LOCALES EN TOLUCA MÉXICO

Dixan Pozo-Leyva¹, Víctor Francisco Díaz-Echeverría²
Amelia Cen-Hoy³, Candita del Carmen Kim-Barrera⁴, Ismael Pat-Aké⁵

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Recibido: 04/03/2024 Aceptado: 28/05/2024

<https://doi.org/10.69823/avacient.v3n1a13>

Resumen.- El objetivo de este estudio fue documentar la percepción de estudiantes, con respecto a la elaboración y consumo de productos agroalimentarios locales en el Municipio Toluca, Estado de México, bajo un enfoque de sustentabilidad. Se aplicó un cuestionario en línea a estudiantes entre 11 y 25 años de edad. Los resultados fueron capturados en hoja de Excel y analizados a través de estadística descriptiva. Se encuestaron 96 estudiantes, el 57% de los encuestados consideraron que los productos que consumen afectan su salud. El 49% siembra productos para consumo en sus hogares y el 14% cría animales para autoconsumo. Al 85% de las personas le gustaría aprender a sembrar productos para su consumo y a 33% les gustaría aprender a criar animales. El 74% manifiestan alimentarse en su mayoría con productos preparados en sus hogares y el 48% suelen consumir alimentos locales. Es necesario brindar información teórica y práctica sobre el impacto que tiene la alimentación en el ambiente y cómo enfrentar la problemática ambiental, para influir positivamente en la cultura alimentaria y ambiental de las nuevas generaciones.

Palabras clave: Consumo local, producción agropecuaria, salud, ambiente.

STUDENTS' PERCEPTION REGARDING THE PREPARATION AND CONSUMPTION OF LOCAL AGRI-FOOD PRODUCTS IN TOLUCA MEXICO

Abstract.- The objective of this research was to demonstrate the perception of children and young people, regarding the preparation and consumption of local agri-food products in the Toluca Municipality, State of Mexico. An online questionnaire was applied, and the results were captured in an Excel sheet and analyzed through descriptive statistics. 96 people were surveyed, 57% of those surveyed considered that the products they consume affect their health. 49% plant products for consumption in their homes and 14% raise animals for consumption in their homes. 85% would like to learn how to grow products for their consumption and only 33% would like to learn how to raise animals. The 74% state that they feed mostly with products prepared in their homes and 48% usually consume local foods. It is necessary to provide theoretical and practical information on the impact that food has on the environment and how to deal with environmental problems, to positively influence the food and environmental culture of the new generations.

Keywords: Local consumption, agricultural production, health, environment.

Introducción

El sistema alimentario en México se ha transformado, de una agricultura simple a una cada vez más industrializada y creciente. Esto ha desencadenado serios problemas en el modelo de sostenibilidad, por lo que esta forma de producción resulta poco viable. Como solución es requerido que la sociedad genere cambios en los hábitos alimenticios. Es crucial informar a los consumidores acerca de los procesos de producción de los alimentos, para crear cambios de conciencia (Bir et al., 2019; Berti y Mulligan, 2016); originando con ello una alimentación con el menor costo ambiental posible. Es de vital importancia que las generaciones presentes y futuras sean orientadas bajo las premisas de los buenos hábitos alimentarios y socioculturales de las localidades (FAO, 2020).

¹ Investigador posdoctoral, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de la Zona Maya. dixan_pozo@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-3139-8512> (**Autor correspondiente**).

² Profesor de tiempo completo División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
victor.de@zonamaya.tecnm.mx. <https://orcid.org/0000-0003-3647-1800>.

³ Profesora de tiempo completo departamento Económico-administrativo. Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
amelia.ch@zonamaya.tecnm.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3271-9146>

⁴ Profesora de tiempo completo División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
candita.kb@zonamaya.tecnm.mx. <https://orcid.org/0000-0003-0398-1644>

⁵ Profesor de tiempo completo División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
ismael.pa@zonamaya.tecnm.mx <https://orcid.org/0000-0002-2108-7286>

Por lo anterior es necesario identificar, caracterizar, clasificar y difundir los alimentos locales, los cuales constituyen herramientas de conexión en el fomento de valores y hábitos, para lograr un ambiente en equilibrio (Cvijanovic et al., 2020; Brinkley, 2017). Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el 2020 propuso tener una alimentación basada principalmente en el consumo local, priorizando los productos de temporada y de origen vegetal. Sugiriendo el consumo de pescados y la reducción de carne roja, alimentos procesados y bebidas azucaradas. De esta forma se reducen los cambios de uso de suelo y se acortan las cadenas de suministro, generando un menor efecto ambiental y se reduce el desperdicio de alimentos

No obstante, en áreas urbanas se ha observado una transición alimentaria y nutricional, la cual en gran medida ha estado conducida por la migración interna la cual ha influenciado en el crecimiento de las ciudades. Lo anterior ha promovido la demanda en grandes cantidades de alimentos como carnes, lácteos y productos procesados. Por otro lado, esta tendencia ha llevado a la reducción de otros productos como cereales, leguminosas y verduras, alimentos con mayor aporte nutricional y con menor huella ecológica. Este hecho, ha impactado significativamente en los estados nutricionales de la población, incidiendo directamente en la desnutrición, el hambre oculta, el sobrepeso y en el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (FAO, 2020). Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo documentar la percepción de estudiantes, con respecto a la elaboración y consumo de productos agroalimentarios locales en el Municipio de Toluca, Estado de México, bajo un enfoque de sustentabilidad.

Materiales y métodos

El Municipio de Toluca de Lerdo se encuentra entre los paralelos 18°59' y 19°29' de latitud norte; los meridianos 99°32' y 99°47' de longitud oeste; a una altitud entre 2 400 y 4 700 m. Se considera que ocupa aproximadamente el 2.1% de la superficie del estado, donde destacan 97 localidades con una población de 747 512 habitantes. El 37.2% de la superficie la ocupa la zona urbana, seguida de la agricultura que ocupa el 37.0%, mientras que los bosques ocupan el 14.0% y las áreas de pastizales el 9.2%. El clima se considera templado subhúmedo con las mayores cantidades de precipitaciones en verano (INEGI, 2009).

Para recopilar la información se creó un cuestionario semiestructurado, con 16 preguntas de complementación respecto a la percepción agroalimentaria de la localidad (Bálint-Balázs, 2012); todas las preguntas tenían la opción de contestar "no sé". Para la creación de la encuesta se efectuó un recorrido comunitario a manera de estudio de campo, previo a la elaboración de las preguntas para poder tener una visualización de la localidad y su patrimonio agroalimentario. Posteriormente, se seleccionó un grupo focal con 10 participantes adultos para indagar en el conocimiento y las experiencias de las personas creando un espacio de interacción, siguiendo el procedimiento descrito por Hamui-Sutton y Varela-Ruiz, (2013), lo que permitió examinar la comprensión de las preguntas y documentar su percepción con respecto al patrimonio agroalimentario local.

El cuestionario se aplicó de forma digital y fue difundido por diferentes redes sociales y grupos de docentes, del 10 de febrero al 5 de marzo del 2022; de tal forma que lo pudieran compartir con sus estudiantes. No se contemplaron los participantes de localidades diferentes al municipio de Toluca, ni mayores a 25 años. Al inicio del cuestionario se consideró encuestar a estudiantes entre 7 y 10 años, pero por la complejidad del cuestionario en línea y porque para niños de esta categoría de edad tienen que estar supervisados por adultos, se descartaron los participantes. Los resultados se documentaron en hoja de Excel y fueron analizados a través de estadística descriptiva aprovechando las herramientas de Excel (Pozo-Leyva et al., 2019; Pozo-Leyva et al., 2022).

La técnica de selección de los participantes fue mediante un muestreo no probabilístico. La técnica de selección por conveniencia permite la selección de los sujetos según la accesibilidad conveniente y proximidad para el investigador. Los sujetos de una investigación específica se seleccionaron para el estudio solo porque son más fáciles de reclutar (Ramadhan et al., 2019; Ottoa y Pensinib, 2017). Por lo que se seleccionaron tres grupos de edades entre 11-15, 16-19 y 20-25 años considerando investigaciones previas de Brauna y Dierkes, (2016).

El procedimiento contó con cuatro etapas y nueve pasos:

Etapas I: Caracterización de la zona de estudio.

1. Reconocimiento del área de estudio mediante visita al sector productivo.

2. Acercamiento con la comunidad para indagar en el territorio las actitudes de los habitantes ante la producción y el consumo de productos alimentarios locales.

Etapas II: Diseño de instrumento de medición (cuestionario).

1. Elaboración del cuestionario para conocer los hábitos de consumo, percepciones y conocimientos previos de los estudiantes, acerca del sistema de producción agrícola y de los productos agroalimentarios en su localidad.
2. Pilotaje del cuestionario y adecuaciones.

Etapas: III. Implementación de los instrumentos de medición.

1. Difusión del cuestionario por diferentes redes sociales y grupos de docentes.
2. Implementación del instrumento de estudio.

Etapas: IV. Documentación de los resultados obtenidos en la implementación de los instrumentos didácticos para la educación ambiental.

1. Creación de bases de datos en Excel.
2. Análisis e interpretación de resultados.
3. Documentación de la información obtenida.

Resultados y discusión

La tabla 1 muestra la percepción de los 10 integrantes del grupo focal con respecto al patrimonio agroalimentario local. El cual está conformado principalmente por: Árboles frutales, cereales, verduras y vegetales, algunas especies animales y en otros productos donde se encuentran los hongos, maguey y quelites.

Tabla 1. Percepción del patrimonio agroalimentario por los pobladores adultos.

Árboles frutales	Capulín, mora, durazno, zarzamora, tejocote, pera, manzana, ciruelo.
Granos de cereales	Maíz, avena, haba, frijol.
Verduras y vegetales	Papa, acelgas, apio, lechuga, zanahoria, rábano, chilacayote, chiles manzanos, calabaza, jitomate, perejil, cilantro, nopal.
Otros	Hongos, maguey y quelites.
Animales	Chapulines, cerdos, trucha, aves, vacas, conejo cabras, borregos.

Nota: Elaboración propia.

En un estudio efectuado por Ávila-Akerberg et al. (2018) en el Estado de México encontraron que las principales actividades mediante las cuales los habitantes perciben ingresos económicos son la agricultura y ganadería. Dentro de las actividades agrícolas las más significativas fueron la cosecha de maíz blanco y avena forrajera, mientras que en las actividades ganaderas sobresalieron la producción de pollos y ganado bovino. Aunado a lo anterior, en la zona periurbana del Estado de México aún existen prácticas agrícolas de autoconsumo como la agricultura de traspatio y la siembra de milpas que favorecen la agrobiodiversidad.

La encuesta se aplicó a 96 estudiantes entre 11 y 25 años, de los cuales el 35.4% fueron hombres y el 64.6% mujeres. De acuerdo con el grado escolar fueron: 1 de primaria, 29 de secundaria, 26 de preparatoria y 40 que cursan estudios universitarios, cabe mencionar que el estudiante de primaria tenía 11 años. Con respecto a los resultados, el Tabla 2 muestra que el 64% de los encuestados consideran que los productos que consumen afectan al medio ambiente, el 13% que no lo afecta y el 23% que no sabe. Reconocen el daño que ocasiona la producción de alimentos al medio ambiente, sobre todo la huella hídrica que es la cantidad de agua vital que se utiliza en cada etapa de producción de los productos que compramos (UNAM, 2018), además de los residuos que generan los empaques y los productos químicos que son empleados en su elaboración.

El 57% de los encuestados consideran que los productos que consumen afectan su salud, el 21% que no la afecta y el 22% que no sabe. Más de la mitad de los encuestados son conscientes que muchos de los alimentos que consumen son perjudiciales para su salud, sobre todo porque desconocen su origen y su sistema de producción. El 49% de los encuestados siembran productos para consumo en sus hogares, el 48% no siembra productos y el 3% que no sabe. Por su parte el 14% de los encuestados cría animales y productos para el consumo en sus hogares, el 85% no cría animales y el 1% no sabe. El 85% de los encuestados les gustaría aprender a sembrar productos para su consumo, el 9% no les gustaría aprender y el 6% no sabe. Entre los mayores motivos de interés por aprender a sembrar fueron para evitar el uso de agroquímicos, haciendo los alimentos más saludables para su consumo y amigables con el

ambiente evitando la deforestación de bosques para la creación de cultivos extensivos.

Dado que la mayor inquietud de aprender a sembrar se presentó en el grupo entre 20 y 25 años (46.3% de los encuestados), seguida por el grupo de edad entre 16 a 19 años (28.1 %). Sería una opción implementar la agricultura urbana; la cual, se desarrolla en las ciudades y sus alrededores, con la finalidad de aumentar los alimentos y contribuir con los hogares que necesitan mejorar y garantizar su seguridad alimentaria, además de contribuir a una dieta sana (FAO, 2020). Al 33% de los encuestados les gustaría aprender a criar animales, mientras que a 47.92% argumenta no tener interés en criar animales por falta de tiempo para cuidarlos, falta de espacio y consideran que puede llegar a ser muy difícil.

El 73% de los encuestados refieren alimentarse en su mayoría con productos preparados en sus hogares, el 20% con frutas y verduras, el 4% con productos empaquetados y el 3% con productos enlatados. El 32.29% adolescentes indicó que consume alimentos preparados en casa. Lo anterior podría indicar que los adolescentes tienen una alimentación más saludable. Sin embargo, esto no es del todo cierto ya que el comer en casa no es sinónimo de buena alimentación. Lo anterior se puede corroborar con lo que reportó la asociación Savethe-Children, (2020), ya que se documentó que el primer lugar mundial en obesidad infantil lo ocupa México, problemática que está presente no solo en la infancia y la adolescencia, sino también en población en edad preescolar. Según esta investigación uno de cada diez adolescentes presenta obesidad y el 35% manifiesta sobrepeso.

Aunado a esto la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) (2012), reportó que más de 4.1 millones de niños, niñas y adolescente presentan obesidad o sobrepeso, lo que se traduce a uno de cada tres adolescentes de entre 12 y 19 años, con un aumento del 26% indistintamente del sexo. Además, Alvarado y Luyando (2012), mencionan que los jóvenes no tienen claridad en cuanto a la percepción de una alimentación saludable llegando a ser contradictoria. Lo que se traduce en una falta de información y cultura sobre el plato del buen comer y la pirámide nutricional.

El 47.92% de los encuestados suelen consumir en su mayoría alimentos locales en específico del mercado, lo cual genera beneficios al ambiente al disminuir las emisiones de CO₂ por la reducción del uso del transporte durante sus tres fases del ciclo de vida: el transporte de las materias primas previo a la fabricación del producto, su distribución desde las fábricas hasta los puntos de venta, y el transporte de los desechos del producto una vez que este ha terminado su vida útil; esto obedece, a que el transporte de mercancías sigue siendo uno de los mayores causantes del cambio climático debido a la quema de combustibles fósiles (ECODES, 2010). Además, es importante mencionar que las compras en los mercados locales contribuyen a la economía circular, a través del consumo local de productos. Mientras que el 23.96% compra sus alimentos en supermercados, el 14.58% del tianguis, el 11.46% de tiendas cercanas a sus hogares y el 3.13% no necesitan comprarlos, asumiendo lo que ellos producen o recolectan.

La alimentación es una parte fundamental de la cultura de cualquier sociedad, conformada por factores, económicos, culturales y tecnológicos, que influyen en lo que se come, en cómo se obtienen estos alimentos y sus preparaciones. De tal manera que cada grupo humano o sociedad tiene un patrón alimentario propio y es el resultado de una compleja trama de usos, costumbres y tradiciones que se transmiten y se modifican a lo largo de la historia (Meléndez y Cañez, 2009; Troncoso, 2019).

En la modernidad se han generado nuevos avances en la industria alimentaria, así como el desarrollo de formas de conservación, producción y preparación de productos alimenticios (Meléndez y Cañez, 2009). Este hecho forma parte de la “modernidad alimentaria”, caracterizada por el dominio de la ciencia sobre los procesos de producción y transformación de los alimentos, a través de laboratorios y plantas que han sustituido a las cocinas de los hogares (Troncoso, 2019). En este modelo de modernidad, el ser humano es cada vez más ajeno a la producción de lo que consume, desconoce su origen real, los procedimientos y las técnicas empleadas para su elaboración, conservación, almacenamiento y transporte (Meléndez y Cañez, 2009; Contreras, 2005).

Así mismo, los alimentos industrializados han generado una serie de problemas de salud que desencadenan en desnutrición, obesidad, diabetes e hipertensión, entre otras. Por lo que una alternativa viable para reducir estos problemas es volver a consumir comidas tradicionales, ya que se puede considerar a la comida casera, en familia y basada en el uso de alimentos naturales, como una alternativa apropiada para una alimentación saludable (Troncoso, 2019; González et al., 2007).

Tabla 2. Percepción de los encuestados de acuerdo con los aspectos relacionados con la alimentación, el consumo y el ambiente por grupo de edad.

	Edad (años)				
Parámetros	11 a 15	16 a 19	20 a 25	Media	Total
¿Los productos que consumes afectan al medio ambiente?					
Si	11	17	33	20.33	61
No	6	3	4	4.33	13
No sé	8	7	7	7.33	22
¿Los productos que consumes afectan tu salud?					
Si	15	14	26	18.33	55
No	5	7	8	6.67	20
No sé	5	6	10	7.00	21
¿Siembras plantas para tu consumo en casa?					
Si	10	12	25	15.67	47
No	13	14	19	15.33	46
No sé	2	1	0	1.00	3
¿Crias animales para tu consumo en casa?					
Si	3	5	5	4.33	13
No	22	21	39	27.33	82
No sé	0	1	0	0.33	1
¿Te gustaría aprender a sembrar plantas para tu consumo?					
Si	21	23	38	27.33	82
No	1	2	6	3.00	9
No sé	3	3	0	2.00	6
¿Te gustaría aprender a criar animales para tu consumo?					
Si	9	7	16	10.67	32
No	11	9	26	15.33	46
No sé	5	11	2	6.00	18
En su mayoría me alimento con:					
Enlatados	0	0	3	1.00	3
Productos empaquetados	3	0	1	1.33	4
Frutas y verduras	7	5	7	6.33	19
Golosinas	0	0	0	0	0
Dulces y cereales	0	0	0	0	0
Alimentos preparados en casa	15	22	33	23.67	70
No sé	0	0	0	0	0
La mayor parte de lo que consumes proviene:					
De supermercados o tiendas departamentales	8	7	8	7.67	23
Del mercado	12	8	26	15.33	46
De lo que se produce en mi casa	0	2	1	1.00	3
Del tianguis	1	3	10	4.67	14
De la tiendita cerca de la casa	4	6	0	3.67	10
No sé	0	0	0	0	0

Nota: Elaboración propia

Por tal motivo existe un vínculo entre un producto, su lugar de origen y la población que lo produce y elabora. Esto representa un patrimonio que debe resguardarse sin dejar de considerar su valor de mercado ya que los consumidores

muestran cada vez más interés de la calidad vinculada al origen geográfico, las tradiciones y la tipicidad (Vandecandelaere *et al.*, 2010). Como es el caso de los productos que muestran una denominación de origen o los productos orgánicos cuyo valor está asociado a los atributos de salud o de respeto a la naturaleza (Aranda y Combariza, 2007).

Son necesarios los estudios y análisis de procesos antiguos y recientes, tradicionales y recuperados, con el propósito de entender las nuevas dinámicas sociales de la producción (Argueta, 2016). El análisis de estas dinámicas sociales, aportan al conocimiento de la identidad territorial; la calidad de los alimentos y la forma en que los actores sociales se relacionan y organizan para definir la calidad de sus productos, así como las oportunidades económicas que se derivan de la calidad del producto (Muchnik, 2006). De igual forma, el uso de instrumentos apropiados para que esas características sean reconocidas (Vandecandelaere *et al.*, 2010).

Se expresa un interés en los alimentos orgánicos, el cual juega un rol significativo en la compra de alimentos orgánicos y una diferencia entre la actitud positiva y el comportamiento evidente (Makatouni, 2002). El consumo de productos locales se relaciona con los circuitos cortos de comercialización, menor gastos en empaques, cadenas de conservación y transporte. Lo anterior interviene en la calidad sanitaria de los productos, así como en sus propiedades organolépticas y nutricionales. Además, cabe resaltar el papel de la calidad de orden simbólico que representa un conjunto de valores sociales (Brauna y Dierkes, 2017).

Los resultados de la tabla 3 muestran que el 3.13% de los encuestados consideró que siempre tendremos agua potable, bosques y aire limpio, el 80.21% considera que en algún momento se terminarán estos recursos y el 16.67% lo desconoce. El 66.67% consideran que la vida en la tierra puede terminar si se continúa con los problemas ambientales, 6.25% considera que la vida podrá continuar y 4.17% dicen desconocer. Estos resultados reflejan que la mayoría posee conocimientos generales sobre la problemática ambiental, pero algunos de ellos desconocen el impacto que generan estos problemas sobre la vida de la flora y fauna, incluyendo a la del ser humano. Así mismo, la mayoría de los encuestados tienen la capacidad de identificar la problemática ambiental actual, considerando como principales problemas locales el exceso de basura y la contaminación del aire. Parecen comprender los daños que ocasiona la contaminación y son capaces de reconocer al ser humano como el origen de estos problemas (Tabla 3). No obstante, se ha observado que en la mayoría de los casos los niños y jóvenes a pesar de poseer una conciencia ambiental, en su mayoría desconocen lo que se debe hacer para evitar y resolver esta problemática. Galli *et al.* (2013), mencionaron que los niños y jóvenes de entornos urbanos, poseen un conocimiento más restringido acerca de los elementos naturales, lo que puede verse reflejado en sus conductas, por lo que estos niños y jóvenes dicen que es importante proteger la naturaleza, pero no concretizan sus razones.

Del mismo modo, en esta investigación se logró identificar que el 26.04% tienen actitudes proambientales, al considerar primordial cuidar a los animales y plantas en peligro de extinción (Cuadro 3) y al mostrar interés por relacionarse en un ambiente natural en lugar de uno urbano. En este sentido, la dimensión afectiva y el aprecio por el medio ambiente está desarrollado en la gran mayoría de los encuestados. No obstante, a pesar de que cuentan con conocimientos de las problemáticas ambientales y conciencia ambiental, esto muchas veces, no se ve reflejado en su comportamiento, por ejemplo, tiran basura en la calle, aun sabiendo que son conductas perjudiciales para el medio ambiente (Galli *et al.*, 2013).

Finalmente, el 53.13% no considera necesario el talar árboles para sembrar alimentos. Estos resultados muestran la importancia de los estudiantes como activistas ambientales, pues comprenden la necesidad de cuidar el medio ambiente, además podrían ser más abiertos al cambio que un adulto, más receptivos y tienden a involucrarse más en conductas proambientales (Tabla 3).

Durante las últimas dos décadas, el crecimiento económico se ha dado, gracias a un incremento en el uso de energía y mayor uso de los recursos naturales; así como las actividades como la agricultura, la extracción de recursos pétreos, la disposición inadecuada de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, el cambio de uso del suelo, el empleo de plaguicidas y transgénicos que no garantizan ser productos nutritivos y deterioran las tradiciones alimentarias y la comida autóctona de cada región; todos los anteriores son algunas de las causas principales que han generado impactos ambientales desfavorables a los elementos físicos, biológicos y socioculturales globales y regionales (Andrade y Ayaviri, 2018).

Tabla 3. Resultados del estudio de percepciones ambientales en niños y jóvenes por grupo de edad.

Edades (años)					
Parámetros	11 a 15	16 a 19	20 a 25	Media	Total
¿Consideras que siempre tendremos agua potable bosques y aire limpias?					
Si	2.0	0.0	1.0	1.0	3.0
No	15.0	24.0	38.0	25.7	77.0
No sé	8.0	2.0	6.0	5.3	16.0
¿Crees que la vida en la tierra se puede acabar si continúan los problemas? ambientales?					
Si	22.0	27.0	37.0	28.7	86.0
No	1.0	0.0	5.0	2.0	6.0
No sé	2.0	0.0	2.0	1.3	4.0
¿Consideras que los humanos somos responsables del daño ambiental?					
Si	22.0	23.0	43.0	29.3	88.0
No	3.0	4.0	1.0	2.7	8.0
No sé	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
¿Te gusta ir de paseo al aire libre e interactuar con la naturaleza?					
Si	23.0	36.0	34.0	31.0	93.0
No	1.0	0.0	0.0	0.3	1.0
No sé	1.0	1.0	0.0	0.7	2.0
¿Consideras que es necesario proteger a las plantas y animales en peligro de extinción?					
Si	25.0	27.0	44.0	32.0	96.0
No	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No sé	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
¿Consideras que es impórtate talar árboles para sembrar alimentos?					
Si	2.0	1.0	6.0	3.0	9.0
No	11.0	20.0	31.0	20.7	62.0
No sé	12.0	6.0	7.0	8.3	25.0
¿Qué te gusta más el campo o la ciudad?					
La ciudad	7.0	7.0	12.0	8.7	26.0
El campo	14.0	17.0	31.0	20.7	62.0
No sé	4.0	3.0	1.0	2.7	8.0

Nota: Elaboración propia

Lo anterior genera una serie de problemas sociales, tales como la inseguridad alimentaria que impide a nivel familiar el acceso a alimentos de calidad, que a su vez puede generar problemas de salud como la obesidad, desnutrición y anemia en niños, jóvenes y ancianos (Andrade y Ayaviri, 2018; Ottoa y Pensinib, 2017). Es aquí, donde la educación ambiental podría jugar un papel primordial en la formación de ciudadanos interesados en el cuidado ambiental. Incrementado el conocimiento y las actitudes de la población para efectuar trabajos individuales o colectivos en virtud de atenuar los problemas surgidos de la relación cultura-naturaleza y la búsqueda para el bienestar en beneficio de la humanidad. De esta forma ser conscientes en las decisiones en relación con su alimentación y ser capaces de vincularlo con los problemas ambientales, para generar una actitud de elección del consumidor de que comer y a quien comprar (Andrade y Ayaviri, 2018; Brauna y Dierkes, 2017).

La generación de conciencia ambiental y hábitos de consumo son primordiales en las nuevas generaciones,

fundamentalmente en estudiantes; ya que se encuentran en una etapa de la vida en la que están formando su identidad y los hábitos que definirán su cotidianidad como adulto (Basile, 2010; Bissonnette y Contento, 2007). Es así como los hábitos alimentarios y los estilos de vida se adquieren en los primeros años y perduran a lo largo del tiempo, influyendo de forma notable en las futuras prácticas alimentarias (Mikkila et al., 2004). Por tal motivo, la edad escolar constituye un momento importante para la consolidación de los hábitos alimentarios saludables y la actividad física. Además, estos hábitos contribuyen a mejorar la sensación de bienestar, a desarrollar con mayor éxito las actividades escolares y a disminuir el riesgo de padecer enfermedades crónicas en la edad adulta (Galiano y Moreno, 2010).

Se han generado campañas y movimientos hacia el consumo de alimentos sanos, los cuales tienen la finalidad de crear una relación entre productor y consumidor con ideas de concientización hacia la responsabilidad social, comercio justo, cuidado del ambiente y de los animales (Makatouni, 2002). Las dietas sustentables son la mejor opción para reducir el impacto ambiental, se recomienda evitar el empleo de productos con empaque y de emplearse que sean de materiales ecológicos, promover el consumo local y los almitos menos procesados. Para ello se recomienda consumir alimentos orgánicos que son aquellos productos que tienen una relación en equilibrio con la naturaleza y la biodiversidad, lo cual se asocia con lo natural y lo saludable (Expeitix, 2004). También se consideran importantes aquellos valores sociales o morales que se centran en el ambiente y bienestar animal, aunque su impacto en el factor salud parezca ser el motivo más significativo para elegir los alimentos orgánicos (Makatouni, 2002).

Además de estos alimentos no podemos perder de vista las siguientes recomendaciones para comenzar con una dieta sustentable:

- a) Reducir el consumo de azúcares refinadas y carbohidratos.
- b) Consumir menos productos empaquetados y reducir las cadenas de suministro.
- c) Envases comestibles y compostables.
- d) Dar prioridad a los productos locales.

No se puede perder de vista que el consumo local es la mejor opción para reducir las cadenas de valor de los suministros, el ahorro de tiempo y combustible en traslados lo que además de reducir los efectos ambientales incrementa la economía local (Roininen, 2006). Las distancias de traslado cortas en la comercialización de productos sean consideradas como una razón para su consumo. Ya que se perciben como productos más frescos, precios más bajos, un mejor sabor y un ahorro, lo que sea relacionado con un mejor bienestar y respeto a la naturaleza. El precio del producto es el factor determinante de la compra, por lo tanto, si el producto es fresco, su precio es elevado (Ottoa y Pensinib, 2017).

Así, los productos agroalimentarios adquieren un significado innovador. Se han visto productos que se vinculan a un medio y a un paisaje, a una forma de vivir y a una forma de hacer (Ramadhan et al., 2019). Entre las tendencias del cuidado animal y la conciencia ambiental también se mencionan los aportes sociales atendiendo a las diversas causas y motivos para el consumo de alimentos orgánicos (Díaz, 2005). Estos elementos han adquirido mayor valor en la actualidad, convirtiéndose en un área de oportunidades para aquellos productos de origen orgánico.

En México los productos locales se suman a la canasta de bienes de un territorio, se menciona la identidad local y territorial por medio de mercados o tianguis locales donde abundan especies vegetales tales como semillas, hojas, raíces, plantas enteras, las más abundantes son provenientes de los cultivos, huertos familiares o de producción silvestre (Argueta, 2016). Lo que estimula a que las personas consuman y valoricen a aquellos bienes alimenticios patrimoniales, el disfrute de las tradiciones culinarias locales incrementa el acervo cultural transmitiendo valor al producto consumido. De esta forma, se considera que las cocinas y las especialidades alimentarias regionales se desprenden de los entornos geográficos y sociales, emergen como signo distintivo de la localidad y el desarrollo sostenible (Csargo, 2004).

Conclusiones

Según la percepción de los productores el patrimonio agroalimentario del sitio de estudio está conformado por especies vegetales maíz, haba, frijol, chiles manzanos, cilantro, acelgas, jitomate, apio, perejil, zanahoria, calabaza, lechuga, rábano, chilacayote, avena, papa, nopal, hongos y maguey; frutas como zarzamora, manzana, pera, ciruelo, durazno, capulín, tejocote, mora y por otro lado las especies animales como cerdos, borregos, cabras, vacas, conejos y trucha.

El municipio de Toluca cuenta con una gran diversidad de productos agroalimentarios y cuenta con gran potencial para la producción y consumo local, lo que puede mejorar las condiciones de vida de las nuevas generaciones. Según la percepción de los encuestados, hay una tendencia hacia el consumo de productos naturales producidos localmente y un gran interés por las bondades de la vida en el campo.

Agradecimientos

Se agradece a todos los niños y jóvenes que contestaron y compartieron el cuestionario, así como a los docentes involucrados en esta actividad y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada al Dr. Dixan Pozo Leyva 505919.

Referencias bibliográficas

- Alvarado, E. y Luyando, J. (2012). Alimentos saludables: la percepción de los jóvenes adolescentes en Monterrey Nuevo León. *Estudios sociales*, 21, p. 145-165.
- Andra-Basil, D., González, T., Barquera, S. y Rivera, J. (2007). Alimentos industrializados en la dieta de los preescolares mexicanos. *Salud pública de México*, 49, p. 345- 356.
- Aranda, Y., y Combariza, J. (2007). Las marcas territoriales como alternativa para la diferenciación de productos Rurales. *Agron Colom*, 25, p. 367-376.
- Argueta-Villamar, Arturo. (2016). El Estudio Etnobioecológico de los Tianguis y Mercados en México. *Revista Etnobiología*, 14(2), p. 38-46.
- Ávila-Akerberg, V., González-Martínez, T y López-Mathamba, L.A. (2018). Análisis de la alimentación a través de educación ambiental en primarias, secundarias y preparatorias en dos municipios periurbanos a la Ciudad de México. *Sustentabilidad ambiental. Una visión interdisciplinaria de los DAAD-Alumni en México*. Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México, ISBN, 9786074229332 p. 25-34
- Basile, C. G. 2010. Environmental Education as a Catalyst for Transfer of Learning in Young Children. *The Journal of Environmental Education*. 32, p. 21-27.
- Berti, G y Mulligan, C. (2016). Competitiveness of Small Farms and Innovative Food Supply Chains: The Role of Food Hubs in Creating Sustainable Regional and Local Food Systems. *Sustainability*, 8, p. 616-651.
- Bir, C., Lai, J., Widmar N, O., Thompson, N., Ellett, J y Crosslinf, C. (2019). There's No Place Like Home: Inquiry into Preferences for Local Foods. *Journal of Food Distribution Research*, 50, p. 29-45.
- Bissonnette, M. y Contento, I. (2007). Adolescents' Perspectives and Food Choice Behaviors in Terms of the Environmental Impacts of Food Production Practices: Application of a Psychosocial Model. *Journal of Nutrition Education*, 33, p. 72-81.
- Brauna, T., y Dierke, P. (2016). Connecting students to nature – how intensity of nature experience and student age influence the success of outdoor education programs. *Environmental Education Research*, <http://dx.doi.org/10.1080/13504622.2016.1214866>.
- Brauna, T., y Dierkes, P. (2017). Evaluating Three Dimensions of Environmental Knowledge and Their Impact on Behaviour. *Res Sci Educ*, DOI 10.1007/s11165-017-9658-7.
- Brinkley-Catherine. (2017). Visualizing the social and geographical embeddedness of local food systems. *Journal of Rural Studies*, 54, p. 314-325.
- Callego, G, J. (2005). Modos de consumo y sociedad del riesgo. *Revista Internacional de Sociología (RIS) Tercera Epoca*, pp.133-157.
- Claudia Andrade, M.C., y Ayaviri, D. (2018). Demanda y Consumo de Productos Orgánicos en el Cantón Riobamba, Ecuador *Información Tecnológica*, 29, 217-226. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400217>
- Contreras, J. y M. Gracia. (2005). Alimentación y cultura. Perspectivas antropológicas. Barcelona, Ariel.
- Csergo, J. 2004. La emergencia de las cocinas regionales. En: *Historia de la Alimentación*. Coord. Flandrin, J. L. Y Montanari, M. TREA, pp1004-1024.
- Cvijanovic, D., Ignjatijevic, S., Tankosic, V.J y Cvijanovic, V. (2020). ¿Do Local Food Products Contribute to Sustainable Economic Development? *Sustainability*, 12, 2847- 2865. doi:10.3390/su12072847.
- Díaz, M. C. (2005). Los debates actuales en la sociología de la alimentación. *Revista internacional de Sociología (RIS)*, pp 47-78.
- ECODES. (2010). Consumo responsable y cambio climático, Aragon, España, Disponible en: <https://www.economiasolidaria.org/sites/default/files/GUIA.pdf>
- ENSANUT. (2012). Componentes de SALUD, Cuernavaca, Morelos. México. Disponible en: <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2012/descargas.php>
- Expeitix, E. (2004). Patrimonio alimentario y turismo: una relación singular. *Pasos Turismo y Patrimonio Cultural*, 2, p. 193-213.

- FAO. (2020). Prácticas para la producción de huertos familiares urbanos, Roma, Italia, Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-at762s.pdf>.
- Galiano-Segovia, M.J., y Moreno-Villares, J.M. (2010). El desayuno en la infancia: más que una buena costumbre. *Acta Pediátrica Española*, 68, p. 403-408.
- Galli, Francielli, Bolzan de Campos, Camila, Bedin, Livia Maria, y Castellá Sarriera, Jorge. (2013). Actitudes hacia el medio ambiente en la infancia: un análisis de niños del sur de Brasil. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 45(3): 459-471. <https://dx.doi.org/10.14349/rlp.v45i3.1487>
- Hamui-Sutton, A y Varela-Ruiz, M. (2013). Metodología de investigación en educación médica, La técnica de grupos focales. *Investigación en Educación Media*, 2, p. 55-60.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Toluca, México. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15106.pdf.
- Makatouni, A. (2002). What motivates consumers to buy organic food in the UK. *British Food Journal*, 104, 345-352.
- Meléndez-Torres, J. M., y Cañez De la Fuente, G. M. (2009). La cocina tradicional regional como un elemento de identidad y desarrollo local. El caso de San Pedro El Saucito, Sonora, México. *Estudios sociales*, 17, p. 183-204.
- Mikkila V, Rasanen L, Raitakari OT, Pietinen P, y Viikari J. (2004). Longitudinal changes in diet from childhood into adulthood with respect to risk of cardiovascular diseases. The Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Eur J Clin Nutr*, 58, p. 1058-1045.
- Muchnik, J. (2006). Identidad territorial y calidad de los alimentos: procesos de calificación y competencia de los consumidores. *Agroalimentaria*, 12, p. 89-98.
- Otto, S., y Pensinib, P. (2017). Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour. *Global Environmental Change*, 47, p. 88-94.
- Otto, S., & Pensinib, P. 2017. Nature-based environmental education of children: Environmental knowledge and connectedness to nature, together, are related to ecological behaviour. *Global Environmental Change* 47, p. 88-94.
- Pozo-Leyva D., López-González, F., Alfonso Chay-Canul, A., y Pérez-Álvarez Y. (2022). Limitantes para la producción de cerdo criollo en el sector cooperativo de holguín, cuba. Artículo aceptado para su publicación: *Agro-productividad*, 15, 29-36 doi. [org/10.32854/agrop.v14i6.2206](https://doi.org/10.32854/agrop.v14i6.2206)
- Pozo-Leyva, D., López-González, F., Olea-Pérez, R., Balderas-Hernández, P., y Arriaga-Jordán, C.M. (2019). Nitrogen utilization efficiency in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 51, p. 1215-1223.
- Ramadhan, S., Sukma, E., y Indriyani, V. (2019). Environmental education and disaster mitigation through language learning. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 314, 012054. doi:10.1088/1755-1315/314/1/012054.
- Ramadhan, S., Sukma, E., & Indriyani, V. (2019). Environmental education and disaster mitigation through language learning. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 314, 012054. doi:10.1088/1755-1315/314/1/012054.
- Roininen K., Arvola, A., y Lähteenmäki, L. (2006). Exploring consumers' perceptions of local food with two different qualitative techniques: Laddering and Word association. *Food quality and preference*, 17, p. 20-30.
- Sánchez, M. (2006). Nuevos valores en marcas de origen de calidad, arquetipos y estereotipos para el consumidor. *Estudios agro-ecológicos y pesqueros*, 20, p. 39-54.
- Savethe-Children. (2020). El estado de la salud y la nutrición infantil en México, Coyoacán, México. Disponible en: <https://hf9'hblog.savethechildren.mx/estado-salud-nutricion-infantil-Mexico>.
- Troncoso, C. (2019). Comidas tradicionales y alimentación saludable: el ejemplo de la dieta mediterránea. *HorizonteMedico* (Lima), 19 (3), 72-77. <http://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2019.v19n3.10>
- Vandecandelaere, E., Arfini, F., Balletti, G., Marescotti, A., Delgado, F., Escobar, C. y Silva, J. (2010). Uniendo personas territorios y productos: guía para fomentar la calidad vinculada al origen y las indicaciones geográficas sostenibles" (No.FAO 338.1 U58). FAO Roma (Italia), p. 219.
- Varela-Losada, M., Vega-Marcote, P., Pérez-Rodríguez, U., y Álvarez-Lires, M. (2016). Going to action? A literature review on educational proposals informal Environmental Education. *Environmental. Education. Research*, 22, p. 390-421. <http://dx.doi.org/10.1080/13504622.2015.1101751>



AvaCient

Se terminó el 30 de junio de 2024,
por el Departamento de Comunicación y Difusión
del Instituto Tecnológico de Chetumal,
Tecnológico Nacional de México.

Disponible en Internet:

<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista>

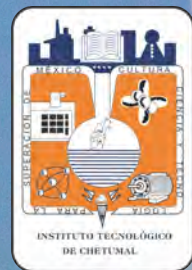
Ciudad Chetumal, Quintana Roo, México, 2024.





Facebook

AvaCient - Tecnológico Nacional de México



email: avacient@itchetumal.edu.mx
avacient@chetumal.tecnm.mx

Disponible en:

<http://avacient.chetumal.tecnm.mx/index.php/revista/index>

Av. Insurgentes No. 330 esquina Andrés Quintana Roo, Col. David Gustavo Gutiérrez Ruiz,
Apdo. postal 267 C.P. 7013, Chetumal Quintana Roo. Tel. (01-983) 2-23-30 y 2-10-19

www.itchetumal.edu.mx

#OrgulloTecNM