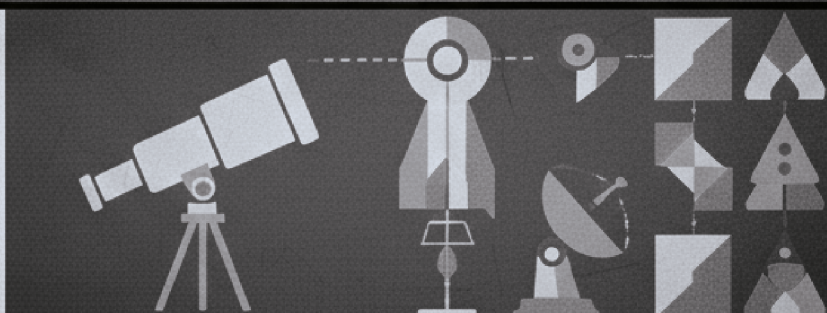
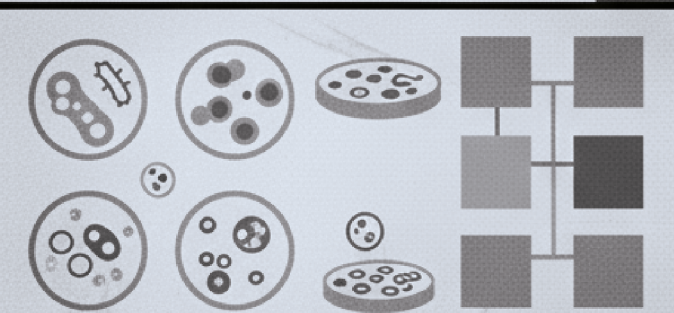
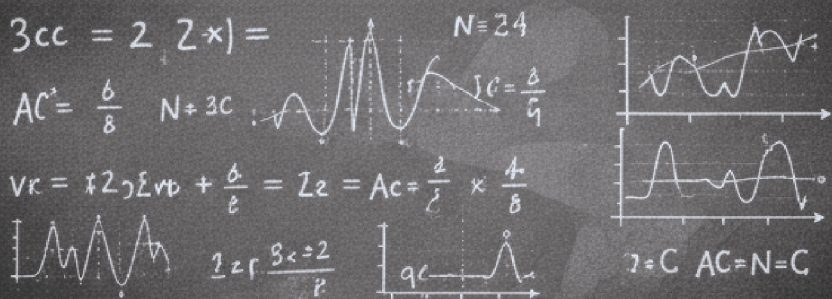
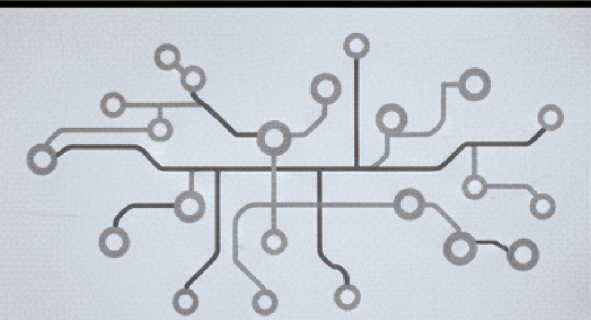
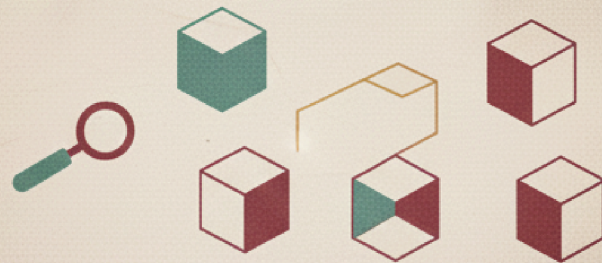




Colección
Explora. Colección de Ciencia Viva

Mercadotecnia y territorialidad en los sistemas agroalimentarios mexicanos

Raúl Gómez Vázquez
Ixchel Parola Contreras
Erik Gustavo Tovar Pérez
Coordinan



PUEBLA
Gobierno del Estado
2024-2030

**Ciencia y
Tecnología**
Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

**Pensar
Grande**

**POR AMOR A
PUEBLA**

Mercadotecnia y territorialidad en los sistemas agroalimentarios mexicanos



PUEBLA
Gobierno del Estado
2 0 2 4 - 2 0 3 0

**Ciencia y
Tecnología**
Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

**POR AMOR A
PUEBLA**

**Pensar
Grande**
ene

Colección
Explora. Colección de Ciencia Viva

Mercadotecnia y territorialidad en los sistemas agroalimentarios mexicanos

Raúl Gómez Vázquez
Ixchel Parola Contreras
Erik Gustavo Tovar Pérez
Coordinan

El contenido, las opiniones y el estilo de esta obra son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente la postura oficial de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación del Estado de Puebla

**Mercadotecnia y territorialidad en los sistemas
agroalimentarios mexicanos**

Raúl Gómez Vázquez
Ixchel Parola Contreras
Erik Gustavo Tovar Pérez
| Personas autoras ©

© 2025, las personas autoras retienen la totalidad de los derechos
morales y patrimoniales sobre esta obra.

Primera edición, México

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación
Calle 33 Sur 2301, Col Santa Cruz Los Ángeles, Puebla, Pue. C.P. 72400

| ISBN SECIHTI PUEBLA: 978-607-69288-4-4

Alejandro Armenta Mier
| Gobernador Constitucional del Estado de Puebla

Celina Peña Guzmán
| Titular de la Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

Coordinación editorial:
Luis Gerardo Aguirre Rodríguez
Mariana Baez Muñoz
Alexander Andrade Posadas

Diseño de interiores y portada:
Luis Gerardo Aguirre Rodríguez

La información contenida en este documento puede ser
reproducida total o parcialmente por cualquier medio, indicando
los créditos y las fuentes de origen respectivas.

Esta obra fue sometida a un proceso de dictaminación por pares en
la modalidad doble ciego.

Las personas autoras se han abstenido de participar en las
cualquiera de las decisiones editoriales de esta obra.

Índice

Introducción	3
Capítulo 1. Conectando Raíces: Estrategias de Marketing Sustentable para Posicionar Productos y Servicios del Agave Pulquero en Jiquipilco, México	6
<i>Eli Albertina García Soto</i>	
<i>Minerva Peralta Escobar</i>	
<i>Sandra Blas Yañes</i>	
Capítulo 2. Uso de <i>Opuntia ficus-indica</i> como coagulante natural, una alternativa al tratamiento de vinazas tequileras	22
<i>Saraí Contreras Bravo</i>	
<i>Alejandro Ortiz de Montellano Pérez</i>	
<i>Carlos Javier Escudero Santiago</i>	
Capítulo 3. Beneficios de la incorporación de la morera (<i>Morus alba</i>) como complemento de la alimentación animal	38
<i>Israel Cruz Torrecillas</i>	
<i>Reyna Durán Lugo</i>	
<i>Emilio Andrés Delis Hechavarria</i>	
Capítulo 4. Aprovechamiento del desecho del proceso de nixtamalización: nuevas oportunidades para la nutrición, salud, industria y medio ambiente	55
<i>María del Rocío Santamaría Cuellar</i>	
<i>Georgina Contreras Santos</i>	
<i>Ixchel Parola Contreras</i>	
Capítulo 5. Análisis del potencial biotecnológico del extracto etanólico de <i>Allium sativum</i> en sistemas de producción agroecológicos	68
<i>Obed Mayoral Fernández</i>	
<i>Ixchel Parola Contreras</i>	
<i>Francisco Alexander Venegas Escarcega</i>	
Capítulo 6. Potencial del chan (<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.) en la alimentación, medicina y agricultura sostenible.	84
<i>Agustin Lugo Radillo</i>	
<i>Emmanuel Garcia Ramirez</i>	
<i>Cintia Itzayana Muñoz Santiago</i>	



Resumen

México es un territorio que alberga diversas representaciones, estructuras y manifestaciones a lo largo y ancho de su geografía. La pertinencia de difundir investigaciones enfocadas en la innovación agroalimentaria recae en la generación de alternativas posibles y plausibles en su adaptación a diversos contextos del sector primario mexicano. La compilación de estudios se realizó a través del III Congreso Nacional y I Internacional Miradas Críticas y Construcciones Alternativas para los Espacios Rurales el cual tuvo como objetivo compartir constructos epistemológicos pertinentes para la incidencia en las realidades rurales mediante el intercambio de experiencias, debates y propuestas multidisciplinarios, transversales y colectivos. Se presentan 6 investigaciones que dan respuesta a problemáticas socioambientales del centro, así como de la zona Bajío del país.

Palabras clave: Territorio, innovación, transformación, agroalimentos, marketing, vinazas tequileras, biotecnología.

Abstract

Mexico is a territory home to diverse representations, structures, and manifestations across its geography. The relevance of disseminating research focused on agrifood innovation lies in generating feasible and plausible alternatives that can be adapted to the diverse contexts of the Mexican primary sector. The compilation of studies was conducted through the Third National and First International Congress on Critical Perspectives and Alternative Constructions for Rural Spaces. The objective of this study was to share relevant epistemological constructs for impacting rural realities through the exchange of experiences, debates, and multidisciplinary, transversal, and collective proposals. Six research projects are presented that address socio-environmental issues in the center of the country, as well as in the Bajío region.

Key words: Territory, innovation, transformation, agri-foods, marketing, tequila stillage, biotechnology

Resumen narrativo

En el libro se muestran seis investigaciones realizadas en diversos contextos mexicanos en los cuales se realizan propuestas orientadas a revertir algunas de las problemáticas ambientales que se incrementan con el paso de los años. Asimismo, se presentan estrategias tanto de marketing sustentable como nuevas oportunidades para la nutrición, salud, industria y medio ambiente.

Presentación de la obra

En el siglo XX y XXI la agricultura ha enfrentado retos significativos frente a la creciente demanda de la población. A medida que la población se expande los sistemas agroalimentarios se ven obligados a ofertar no sólo una cantidad suficiente de alimentos, sino también productos nutritivos. Este dilema es intrínseco a la realidad contemporánea, donde se exige innovar mientras se mantiene una visión de responsabilidad ecológica. Por lo tanto, es imperativo que la agricultura adapte su enfoque, incorporando insumos más sostenibles y estrategias innovadoras que apoyen la producción a escalas que satisfagan las necesidades humanas, al tiempo que se preservan los recursos naturales y la biodiversidad.

En este contexto, los desafíos que enfrenta la agricultura del siglo XXI son múltiples, entre los que se destacan el cambio climático, la degradación/erosión del suelo, la escasez de agua, el aumento de plagas, la implementación de semillas híbridas, entre otras. Estos factores no solo amenazan la producción de alimentos, sino que también impactan negativamente en la calidad de los alimentos y sus derivados. Ante ello, la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más sostenibles se vuelve urgente, ya que el uso excesivo de agroquímicos y la explotación intensiva de los espacios naturales han llevado a la pérdida de biodiversidad y a la contaminación de ecosistemas. En este contexto, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de cultivo son esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar de las generaciones futuras.

La innovación y sostenibilidad en la agricultura no solo se refiere a la introducción de nuevas tecnologías, sino también a la implementación de prácticas que promuevan la sustentabilidad. Esto incluye el uso de cultivos de cobertura, la rotación de cultivos, y la integración de

sistemas agroforestales, que no solo mejoran la fertilidad del suelo, sino que también ayudan a mitigar el impacto del cambio climático. Además, la agricultura de precisión, que utiliza tecnologías avanzadas para optimizar el uso de insumos y recursos, se está convirtiendo en una herramienta clave para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio.

La comunidad científica tiene un papel fundamental y compartido en la búsqueda de soluciones a los desafíos agroalimentarios y nutrimentales. A través de la investigación inter/trans/multi/disciplinaria, se están explorando metodologías novedosas tanto en la producción como aprovechamiento de alimentos. La presente compilación busca contribuir a este diálogo, aportando resultados, fruto de rigurosos esfuerzos investigativos dirigidos a satisfacer el interés humano por alimentos que no solo sean sustanciales, sino que también fomenten el bienestar general y la salud ambiental.

El libro, titulado “Mercadotecnia y territorialidad en los Sistemas Agroalimentarios mexicanos” está organizado en tres ejes centrales de investigación que reflejan las áreas de investigación más relevantes y de mayor impacto dentro del sector agroalimentario actual. se divide en tres ejes principales:

- Generación de estrategias de mercadotecnia sustentable, este primer eje se refiere a las prácticas de innovación en los productos derivados del sistema agroalimentario del agave pulquero en Jiquipilco, Estado de México, México. Esta línea de investigación ha tenido un avance significativo no solo en el aprovechamiento de los derivados sino también en el arraigo territorial de la comunidad. En dicho territorio se ha generado una economía circular y prácticas de consumo responsables.
- Aprovechamiento de cultivos subutilizados y residuos agrícolas, el segundo eje aborda el aprovechamiento de cultivos subutilizados, una tendencia que gana reconocimiento en la búsqueda de alternativas para diversificar la producción y disminuir el desperdicio. A través de su valorización, estos recursos pueden ser trasegados a distintos sectores, como la agroindustria, la alimentación y la industria farmacéutica, contribuyendo así a la creación de nuevos productos que aporten tanto a la salud humana como a la salud del ecosistema. Este tema se vuelve especialmente relevante en un mundo donde la seguridad alimentaria es una preocupación prioritaria y los recursos son cada vez más limitados. La valorización de residuos agrícolas no solo reduce el impacto ambiental, sino que también puede generar ingresos adicionales para los agricultores.

Producción de agentes antimicrobianos; finalmente, el tercer eje pone énfasis en la producción de agentes antimicrobianos, los cuales poseen un potencial significativo para ser utilizados en sistemas agrícolas sostenibles. Este enfoque no solo reduciría el uso de pesticidas y antibióticos de síntesis que han mostrado efectos nocivos en el medio ambiente y en la salud humana, sino que también podría abrir nuevas avenidas para la investigación en

biotecnología y protección de cultivos. La búsqueda de alternativas naturales y efectivas para el control de plagas y enfermedades es crucial en un contexto donde la resistencia a los antimicrobianos se ha convertido en un desafío global.

Como conclusiones y llamado a la acción, cada uno de estos capítulos ha sido elaborado con rigor académico, combinando la experiencia y las visiones de investigadores que han dedicado años de estudio a estos temas. Su lectura no solo proporcionará un compendio de conocimientos actualizados, sino que sin duda suscitará nuevas preguntas y retos a nivel científico, técnico y comunitario. El enfoque multidisciplinario que caracteriza a esta obra permite una mirada amplia y profunda a las problemáticas contemporáneas en el campo de la agricultura, fomentando el desarrollo de productos innovadores que repercutan de manera positiva en la sociedad.

El compromiso de los autores y la participación de diversas disciplinas fortalecen el contenido del libro, asegurando que cualquier lector, ya sea un agricultor, un académico o un formulador de políticas, encuentre en estas páginas información valiosa que lo motive a la acción y reflexión. La innovación y la investigación son herramientas esenciales en este proceso, y es a través de la colaboración entre científicos, agricultores, y comunidades que se podrán encontrar soluciones efectivas y afectivas a los desafíos que se enfrentarán.

Introducción

El presente tomo se organiza en torno a tres ejes temáticos fundamentales, que promueven un enfoque interdisciplinario para abordar diversos desafíos en el ámbito del turismo rural y la sostenibilidad agrícola en México. La obra propone la formulación de estrategias de mercadotecnia sustentable, analiza el aprovechamiento de residuos agrícolas a través de modelos de economía circular y aborda la producción de agentes antimicrobianos que contribuyen al desarrollo sostenible de sistemas agrícolas. Cada uno de estos ejes no solo busca generar conocimiento, sino que también tiene un foco práctico y aplicable que puede transformar comunidades rurales y sus entornos económicos.

En primera instancia, se explora la implementación de estrategias de mercadotecnia sustentable en el contexto del agave pulquero en el municipio de Jiquipilco, Estado de México. Este capítulo resalta la importancia de establecer un posicionamiento efectivo de productos y servicios derivados de este recurso agrícola, con el objetivo de establecer nuevos canales de comunicación que fomenten la concientización en la comunidad local. Al involucrar a todos los actores relacionados con el turismo —desde productores hasta autoridades locales y turistas— se busca desarrollar una serie de actividades con responsabilidad social que no solo promuevan el agave pulquero como un atractivo turístico, sino que también transformen a Jiquipilco en un destino reconocido por su turismo rural sustentable.

La implementación de estas estrategias de mercadotecnia sustentable es crucial para el desarrollo económico de la región. Al promover el agave pulquero, se busca no solo atraer a turistas, sino también generar un sentido de pertenencia y orgullo entre los residentes locales, quienes pueden ver en su patrimonio cultural y natural una fuente de ingresos. Dichas iniciativas se han traducido no solo en el beneficio económico, sino que también han

reforzado la identidad cultural y el patrimonio local, elementos esenciales en la propuesta de un turismo consciente y respetuoso con el entorno. Además, se busca crear un modelo replicable en otras comunidades rurales, donde la sostenibilidad y el respeto por la cultura local sean pilares fundamentales.

En el segundo capítulo, se presenta un estudio con enfoque de economía circular, que ofrece una alternativa innovadora para las comunidades rurales de San Sebastián Villa Nueva, en Acatzingo, Puebla. Se explora la viabilidad de utilizar los residuos agrícolas de la tuna roja (*Opuntia ficus-indica*) como coagulantes para la depuración de aguas residuales generadas durante la producción de tequila. Este enfoque resalta la relevancia de transformar lo que tradicionalmente se consideraba un desecho en un insumo valioso y sostenible, contribuyendo no solo a la mitigación del impacto ambiental de la industria del tequila, sino también a la generación de un flujo económico adicional para las comunidades que participan en estos procesos.

La economía circular se presenta como una solución viable para maximizar el uso de recursos y minimizar residuos, promoviendo un ciclo de vida más sostenible para los productos agrícolas. Al aprovechar los residuos de la tuna roja, se abre un abanico de oportunidades no solo para la depuración de aguas, sino también para la creación de nuevos productos que pueden ser comercializados, generando ingresos adicionales para los agricultores.

Dando continuidad, en el capítulo 3 se enfoca en las múltiples aplicaciones de la morera (*Morus alba*), y cómo esta planta, tradicionalmente vinculada con la sericicultura, puede ofrecer beneficios nutricionales y funcionales en la alimentación tanto animal como humana. Se abordan de manera detallada sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, lo que posiciona a la morera como una alternativa viable en la formulación de alimentos y suplementos. Su adaptabilidad a diferentes agroecosistemas la convierte en un recurso invaluable para el desarrollo de emprendimientos en zonas rurales, contribuyendo así al desarrollo económico y social de estas comunidades.

La morera, al ser subutilizada, representa una oportunidad para diversificar la producción agrícola, así como una posibilidad para la mejora en la calidad de vida de los habitantes de estas regiones. Al integrar la morera en la dieta animal y humana, se pueden mejorar los índices de salud y nutrición, lo que es fundamental en comunidades rurales donde el acceso a alimentos variados y nutritivos puede ser limitado. Además, su cultivo puede ser una fuente de ingresos para los agricultores, quienes pueden vender tanto las hojas como los productos derivados de la morera.

De manera complementaria, el capítulo 4 detalla las potencialidades del nejayote, un subproducto del proceso de nixtamalización, sugiriendo su aplicación en sectores tan diversos como la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y ambiental. Este análisis permite

vislumbrar el potencial de prácticas sostenibles que pueden ser implementadas para el aprovechamiento integral de subproductos agroindustrializados, impulsando una economía circular y responsable.

Por último, se examinan las estrategias dirigidas a encontrar alternativas a los antibióticos convencionales, enfocándose en la producción de compuestos antimicrobianos a partir de fuentes naturales. El capítulo 5 destaca el potencial antifúngico de compuestos organosulfurados extraídos del ajo (*Allium sativum*), sugiriendo su aplicación en la fabricación de pesticidas que sean seguros para la salud humana y el medio ambiente. Este enfoque busca promover prácticas de gestión agrícola más sostenibles, adecuadas a la demanda de un sistema agrícola que priorice la salud del ecosistema, al tiempo que mantiene la productividad y la calidad de los cultivos.

La producción de agentes antimicrobianos a partir de fuentes naturales no solo representa una alternativa viable a los productos químicos sintéticos, sino que también contribuye a la preservación de la biodiversidad y la salud del suelo. Al utilizar compuestos naturales, se pueden reducir los riesgos asociados con el uso excesivo de pesticidas y antibióticos, que han demostrado tener efectos nocivos en el medio ambiente y en la salud humana. Este enfoque también abre nuevas avenidas para la investigación en biotecnología y protección de cultivos, permitiendo el desarrollo de soluciones innovadoras que benefician tanto a los agricultores como a los consumidores.

Finalmente, se cierra el tomo con un capítulo centrado en el potencial del chan (*Hyptis suaveolens*), explorando su aplicabilidad en ámbitos como la alimentación, la medicina y la agricultura sostenible. A pesar de ser un cultivo con múltiples beneficios, el chan sigue siendo subutilizado en muchas regiones. Este capítulo propone una visión clara y accesible sobre cómo su integración en sistemas alimentarios podría abrir nuevas oportunidades tanto para los agricultores como para los consumidores, impulsando prácticas agrícolas sostenibles que benefician a las comunidades rurales en las que se cultiva.

La inclusión del chan en las discusiones sobre sostenibilidad agrícola es fundamental para maximizar su potencial y contribuir a un futuro donde la diversidad alimentaria y la salud ambiental sean prioritarias. Al promover el cultivo y uso del chan, se pueden diversificar las fuentes de ingresos para los agricultores, al tiempo que se mejora la calidad de la dieta de las comunidades rurales. Este enfoque integral no solo beneficia a los productores, sino que también contribuye a la resiliencia de las comunidades frente a los desafíos económicos y ambientales.

En conjunto, este tomo, presenta un análisis detallado sobre cada uno de estos temas, así como la interconexión de los diferentes ejes temáticos refleja la complejidad y la esencia misma de la sostenibilidad, donde la innovación y el respeto por el entorno son la clave para

un futuro próspero y equilibrado. A medida que se avanza hacia un futuro donde la sostenibilidad y la equidad son esenciales, es fundamental que los actores involucrados en el turismo rural y la agricultura trabajen juntos para implementar estas estrategias. La colaboración entre comunidades, investigadores, y formuladores de políticas es crucial para asegurar que las iniciativas propuestas sean efectivas y sostenibles a largo plazo. Este libro, por lo tanto, no solo es un compendio de investigaciones, sino un llamado a la acción para todos aquellos que buscan contribuir a un desarrollo rural más justo y sostenible en México.

Capítulo 1.

Conectando Raíces:

Estrategias de Marketing Sustentable para Posicionar Productos y Servicios del Agave Pulquero en Jiquipilco, México

Eli Albertina García Soto¹

Minerva Peralta Escobar²

Sandra Blas Yañes³

1.1. Introducción

Los cambios en los mercados, la innovación, el consumo indiscriminado y la mala gestión de los recursos generan impactos negativos al ambiente de manera rápida y creciente. Esta situación impulsa la creación de prácticas orientadas a la conservación del entorno ambiental y social (Giraldo *et al.*, 2020). El marketing sustentable es una alternativa de la mercadotecnia que tiene como principio la sostenibilidad, planeando estrategias compatibles con los hábitos y estilos de vida de los consumidores, para promover y posicionar los productos y servicios de una empresa consolidada o emergente (García y García, 2021).

¹ Maestra en Agroindustria Rural, Desarrollo territorial y Turismo Agroalimentario, estancia de investigación COMECYT, garciaceli696@gmail.com

² Maestra en Agroindustria Rural, Desarrollo territorial y Turismo Agroalimentario, estancia de investigación COMECYT Universidad Politécnica de Atlacomulco, minerva.peralta@upatlatcomulco.edu.mx

³ Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, profesora- investigadora Universidad Politécnica de Atlacomulco, sandra.blas@upatlatcomulco.edu.mx

El turismo por su parte es una actividad social, económica y ambiental que puede ser generadora de conciencia ambiental entre los visitantes, por lo que la mercadotecnia sustentable se ha constituido como un aliado para la gestión de turismo alternativo, toda vez que se construye valor de marca en los emprendimientos y en la renovación de contenido, a partir de las acciones sustentables que permitan la preservación del medio ambiente y el desarrollo de las comunidades receptoras de turismo (Piqué, 2021).

Esta alianza ha permitido que la mercadotecnia sustentable y los emprendimientos turísticos generen campañas publicitarias relacionadas con acciones sostenibles (Piqué, 2021) que aporten a la conciencia ambiental, esto a su vez permite el posicionamiento y la permanencia en los mercados actuales, cada vez más comprometidos con el bienestar ambiental (Hernández y Bonomie, 2010) a través de la construcción de una marca corporativa que refleje dichos principios.

En este sentido, las tendencias y debates de investigación turística se enfocan en la reorientación de la oferta, modalidades alternativas de turismo, los imaginarios turísticos y formas diferenciadoras en la comunicación de destinos (Sierra y Cacciutto, 2022), sin embargo, es preciso enriquecer estos aportes, considerando la demanda del mercado, ya que de ello depende el éxito de los emprendimientos turísticos, así como la consolidación de una marca corporativa sostenible.

De ahí que, el propósito de esta investigación es la segmentación del mercado potencial para la generación de propuestas de mercadotecnia sustentable de los productos y servicios del sistema productivo de agave pulquero, en el municipio de Jiquipilco, estado de México, esto con el fin de promoverlos de forma más eficiente. Este trabajo contribuye a abrir nuevos canales de comunicación, para la concientización, en la demanda y la oferta de un destino emergente, basados en la responsabilidad social, a partir prácticas de turismo alternativo sostenible, como el que se está consolidando alrededor del agave pulquero al norte del Estado de México.

Para el diseño de estrategias de marketing sustentable en el desarrollo de turismo local, se utilizó un diseño no experimental de tipo transversal con un enfoque cuantitativo. Se llevó a cabo un estudio de mercado mediante una encuesta compuesta por 7 secciones, aplicada a una muestra de 365 individuos. Esta encuesta fue evaluada por jueces especializados en el tema antes de su implementación (García *et al.*, 2023).

El estudio de mercado permitió identificar el perfil de los consumidores potenciales para diseñar estrategias de mercadotecnia sustentable de los emprendimientos turísticos emergentes en la zona de estudio. Además, el rigor cuantitativo de los resultados obtenidos da sustento para tomar decisiones y gestionar acciones de promoción de productos y servicios

asociados al sistema agroalimentario del agave pulquero en el contexto local, y la creación de la marca corporativa.

El trabajo está organizado de la siguiente manera. La primera parte, corresponde a la introducción; la segunda sección detalla la revisión de trabajos empíricos de mercadotecnia sustentable, segmentación de mercado generacional e imagen corporativa; el apartado siguiente detalla la metodología ocupada para la investigación; posteriormente se muestran los resultados y finalmente las conclusiones del estudio.

1.2. Desarrollo teórico

La evolución del turismo y su oferta cada día más completa, los avances en la transición o “migración digital” (Pardo y Obando, 2021), la búsqueda de turismo alternativo que garantice la personalización, diferenciación y seguridad del consumidor, el surgimiento del virus SARS-Cov2, la contracción del turismo y el incumplimiento de la agenda 2030, ejercen presión para que en el sector turístico se generen innovaciones para hacer frente a las nuevas demandas de los consumidores.

De ahí que, se retome a la mercadotecnia sustentable por ser un proceso de planificación, ejecución y el control del marketing, en pro de satisfacer las necesidades de los clientes, siendo amigable con el ambiente, alineado con los objetivos de las organizaciones y los objetivos de desarrollo sostenible o postulados de la Responsabilidad Social (Giraldo *et al.*, 2020).

También busca crear valor para la empresa y para los distintos *stakeholders*⁴ con los que está relacionada, a partir, de gestionar una adecuada relación con los mismos y del diseño y producción de bienes y/o servicios comprometidos con el medio ambiente y que, además, resulten beneficiosos para la sociedad (Bur, 2013). Los elementos que integran la mercadotecnia sustentable son la integración estratégica, compromiso social y capacidades éticas (Lucic, 2020) como se muestra detalladamente en la tabla 1.

⁴ Cualquier individuo, grupo u organización que tiene un interés o está afectado por las actividades, decisiones o resultados de una empresa, proyecto o iniciativa (San-José y Retolaza, 2012).

Tabla 1. Elementos que conforman la mercadotecnia sostenible

	Elementos	Descripción
Mercadotecnia sostenible	Integración estratégica	Construir internamente una cultura y tener una estrategia integrada de sostenibilidad, en lugar de simplemente vender productos sostenibles o usar tales actividades como una herramienta de construcción de imagen, es decir, la cultura esencial de la orientación al mercado
	Compromiso social	Desarrollo proactivo de estrategias que benefician a las partes interesadas y la organización
	Capacidades éticas	Patrones de acción de marketing que son, en su definición, originados en la moralidad y están orientados a lograr “lo correcto y lo bueno” dentro de cada uno de los tres pilares de la sostenibilidad

Fuente: elaboración propia con información de Lucic, 2020

La creciente competitividad del mercado turístico tras la época de pandemia, unida a las exigencias de los consumidores, son las principales razones que llevan a las administraciones en el ámbito turístico a aplicar políticas de segmentación (Antón, 2022). Es necesario realizar una segmentación del mercado según el tipo de consumidores, que de acuerdo a la generación que pertenecen pueden mostrar más tendencias hacia el turismo socialmente responsable (Yan y She, 2011), y de esta forma, es como se consiguen generar estrategias adecuadas para satisfacer las expectativas de cada tipo de cliente.

Existen diferentes tipos de segmentación de mercados como demográficas, geográficas, socioeconómicas, hábitos de vida y conductuales (Foullon, 2020) y recientemente en la demanda turística ha cambiado la forma de segmentar a los clientes debido a que el viajero postpandemia está mucho más informado, organiza con antelación su experiencia mediante dispositivos electrónicos y busca visitas guiadas por profesionales en destino (Antón, 2022), donde el consumidor se ha convertido en el eje de toda estrategia, por lo que es fundamental escucharlo y relacionarse con él para que, una vez fidelizado, se convierta en *adprosumer*⁵ al atraer nuevos consumidores hacia la marca (Martínez *et al.*, 2019).

Una de las segmentaciones convencionales es por grupos generacionales, lo que nos permite comprender de una mejor manera el comportamiento de los consumidores y sus procesos de toma de decisiones. En la actualidad la población denominada *millennials* se han convertido en los consumidores más importantes e influyentes, que son y empiezan a tener más protagonismo en el campo laboral y empresarial, haciéndolos así en un corto plazo en los principales tomadores de decisiones de compra (López *et al.*, 2019). Los *millennials* son selectivos y les gusta el trato personalizado. Esto incluye los productos con el diseño, color y características adecuadas para cada comprador (Madriral *et al.*, 2019).

⁵ Es el comprador y que además de recomendar el producto o servicio que ha solicitado, prioriza la experiencia de otro consumidor a la promoción de una empresa (Nebular, 2022).

Este grupo de consumidores genera actividades de responsabilidad social empresarial y/o acciones sustentables (Peñalosa y López, 2016), es decir, asocian a los productos sustentables como una “nueva tendencia en el mercado” que vino cambiar el paradigma de consumo existente, en un mundo donde las nuevas generaciones se caracterizan por su mayor grado de conciencia ambiental (Casella *et al.*, 2021).

Mientras que la generación X son individuos que han pasado por la evolución tecnológica, el auge y desarrollo de los medios de comunicación, además de gozar de estabilidad laboral y familiar y estar activos física y mentalmente. Aunque están adaptados al mundo, son menos dependientes del *Smartphone* que las siguientes generaciones y su forma de comprar prefieren cara a cara, hay que convencerlos con argumentos, consumidores racionales, atraídos por los descuentos y consumidores de tendencias (Díaz *et al.*, 2017).

Las estrategias de comercialización o de mercadeo consisten en acciones estructuradas y planeadas para alcanzar determinados objetivos relacionados con la mercadotecnia, como dar a conocer un nuevo producto, aumentar las ventas o lograr una mayor participación en el mercado (Arechavaleta, 2015). Uno de los factores internos de la comercialización es la mezcla de la mercadotecnia, en otras palabras, el mix de las “4P” (producto, precio, plaza, promoción), las cuales se deben considerar en la planificación turística de un destino emergente.

Las estrategias de mercadotecnia pueden abordar la doble necesidad de promover la oferta turística del territorio, junto con la preservación de ellos. Es necesario un equilibrio entre la sostenibilidad y la demanda de los visitantes (Sadiki, 2012). La mayoría de las estrategias de mercadotecnia en los sitios turísticos tiene un enfoque a corto plazo (Chhabra, 2009), lo cual repercute con las estrategias de mercadotecnia sostenible. Para el desarrollo de estrategias de mercadotecnia sostenible, por un lado, se deben desarrollar estudios de mercados exhaustivos, para conocer las preferencias, necesidades y expectativas del cliente, y por el otro, ajustarse a la oferta de las capacidades organizacionales (Giraldo *et al.*, 2020).

Además, para generar valor en el mercado, es necesario determinar las señales de comunicación que los clientes perciben como diferenciadoras y representativas de la imagen corporativa, a favor de empatar con creencias, actitudes y estilos de vida, que puede ayudar a la fidelización y recomendación del producto o servicio (Ramos y Valle, 2020).

1.3. Metodología

Este estudio se llevó a cabo bajo un diseño no experimental de tipo transversal, con un enfoque cuantitativo descriptivo y exploratorio. La información se recogió a través de un estudio de mercado con la técnica de encuesta, con un instrumento validado previamente por expertos (García *et al.*, 2023). El objetivo fue determinar el conocimiento y consumo de los productos derivados del agave pulquero en el Estado de México, así como las características sociodemográficas del consumidor potencial. Además, se incluyó una sección sobre el *branding* de productos para crear y gestionar los elementos que los consumidores perciben como representativos del sistema productivo del agave pulquero, para el diseño de publicidad.

Para obtener la información cuantitativa sobre la demanda de productos derivados de agave pulquero, se determinó el tamaño de la muestra estadísticamente, considerando un nivel de confianza del 95 % y el margen de error de 5 %; abarcando a la población mayor de 15 años, económicamente activa del estado de México.

Fórmula infinita: $n = (z_a^2 \cdot p \cdot q) / e^2$

$$n = \frac{n = 1.962^2 \cdot (.5)(.5)}{0.52^2} \quad n = 384$$

n= tamaño de la muestra buscado

Z= parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza

e= error de estimación máximo aceptado

p= probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q=(1-p) = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

El cuestionario se aplicó en el periodo de octubre a diciembre de 2021, utilizando la plataforma de SurveyMonkey a través de redes sociodigitales (Facebook, WhatsApp y correo electrónico) a encuestados aleatorios, recabando 365 cuestionarios contestados. La información fue analizada a través de estadística descriptiva, con las herramientas de la plataforma y Excel.

1.4. Resultados

La información recolectada, tiene como finalidad aportar al desarrollo de estrategias de marketing sostenible, en las actividades agroturísticas del sistema magueyero en el municipio de Jiquipilco, México, que han cobrado popularidad en los últimos 10 años, como base desarrollo local.

Se determinó que el mercado potencial está en los municipios del valle de Toluca, por su proximidad con la zona de estudio, que representa el mercado meta. La cercanía de estos territorios trae consigo beneficios como la disminución del impacto ambiental, promueve infraestructuras resilientes locales, reactivando las zonas rurales y el desarrollo económico sostenido (Biosphere, 2017).

La importancia de conocer el perfil del turista aporta al desarrollo de estrategias sostenibles de acuerdo con las nuevas demandas del mercado. Por otro lado, conocer el grado de conocimiento que tiene el turista respecto a la sustentabilidad y a la responsabilidad social muestra un grado de oportunidad para la generación nuevos servicios y productos turísticos, además, aporta ciertos elementos que caracterizan al turista y ayuda a identificar los hábitos de compra y consumo alimentarios de manera individual (Curvelo, 2019).

A partir del instrumento aplicado se pudo segmentar en dos perfiles, por un lado, el perfil del visitante de la generación *millennial* y por otro la generación X, en ambos casos se obtuvo el perfil demográfico, el conocimiento y consumo de los derivados del agave pulquero, la disposición de gasto, los medios de comunicación más usados y los elementos relevantes para la estructuración de la imagen corporativa.

1.5. Perfil del turista potencial Generación *millennial*

En los datos obtenidos de la generación *millennials*, se obtuvo que el 64 % son mujeres y el 36 % hombres. La mayoría tiene posgrado, son empleados, ya sea del sector privado o público, con un ingreso mensual de clase media y la zona de residencia es urbana. Este tipo de viajero busca una atención personalizada e individualizada y un viaje que se adapte a sus necesidades y gustos (Astudillo *et al.*, 2020), lo cual abre nuevas oportunidades para la generación de productos y servicios turísticos que se adapten a las nuevas demandas del consumidor.

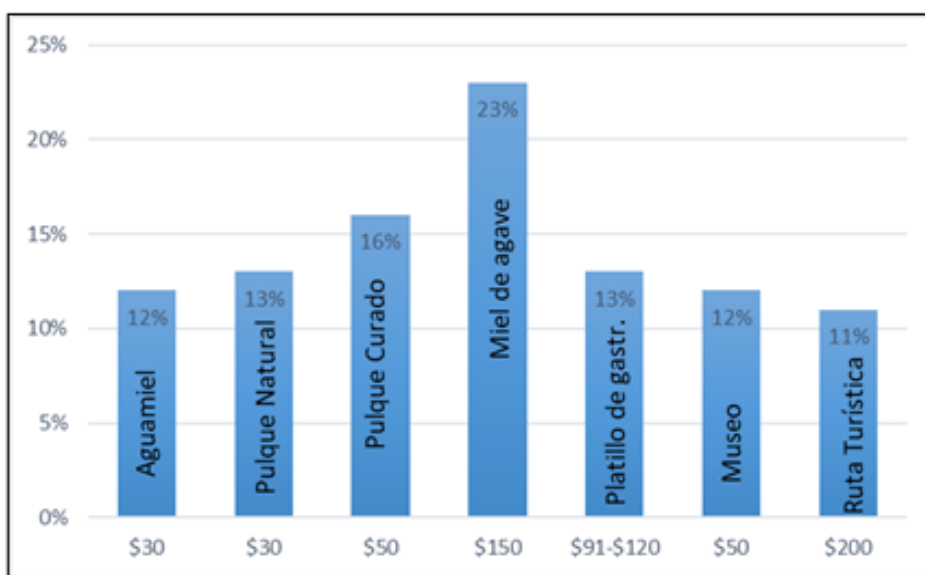
Por otra parte, se encontró que el 57 % del total de la población de estudio consume pulque y les agradan ambos tipos tanto natural como curado con un 67 % de aceptación. En el ámbito turístico, dicha generación le interesa consumir otros servicios turísticos además de la feria del pulque, como rutas agroturísticas, museos, talleres gastronómicos culturales y pulquerías.

Desde hace algunos años, los consumidores *millennials* socialmente responsables (CMSR) se han fortalecido como grupo de poder por la presión que ejercen sobre todo tipo de empresas, demandando productos y servicios amigables con el ambiente y la sociedad (Nava *et al.*, 2021). De ahí que la propuesta de una ruta agroturística, considera actividades complementarias

como: recolección y cata de aguamiel, senderos interpretativos de la cultura magueyera, talleres de producción y degustación de los derivados del agave pulquero, como actividades que prefiere este perfil generacional. De cupo limitado a grupos de 15 personas, bajo pautas de convivencia y compra de cero plásticos, como una forma de gestionar e interiorizar estrategias de marketing sustentable para los servicios turísticos rurales.

Sobre el gasto para productos derivados del agave pulquero (Grafico 1), los encuestados indicaron que pagarían unos \$30 por litro de aguamiel y de pulque natural, el pulque curado en \$50, la miel de agave el litro en \$150, el platillo de gastronomía en un rango de \$91 a \$120 peso; mientras que por servicios de turismo como el museo pagarían la entrada en \$50 y la ruta agroturística por persona en \$200, pensando en que estos servicios ya estuvieran incorporados en el territorio.

Gráfico 1. Disposición de gasto en productos y servicios turísticos en la generación *millennials*



Fuente: Elaboración propia, 2022

Dicha disposición es compatible con lo reportado por otros autores sobre un contexto en el que los jóvenes viajeros tienen mayor fuerza en los beneficios económicos y sociales y culturales, ya que generan ingresos estimados en 165,000 millones de dólares, lo que confirma su valor financiero para la industria mundial y las economías locales, y tienden a gastar más en compras de recuerdos (souvenirs) y productos locales, pero buscan vuelos y alojamientos económicos (Astudillo *et al.*, 2020).

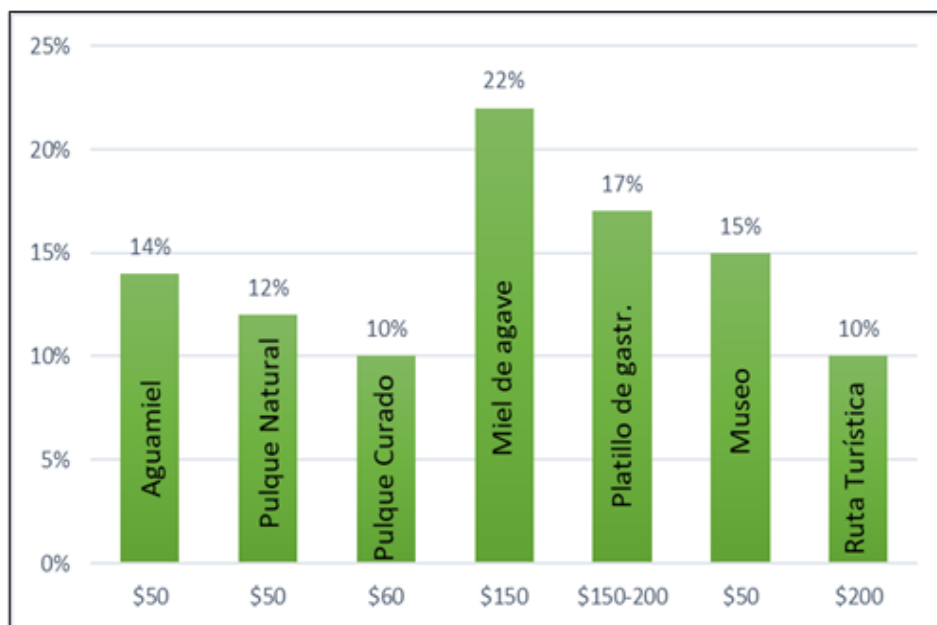
1.6. Perfil del turista potencial Generación X

La generación X corresponde a turistas de ambos sexos (masculino 54 %, femenino 46 %) con estudios de posgrados; empleados en el sector público y privado, un ingreso mensual de clase media baja y su zona de residencia es urbana. Esta generación busca siempre una mejor calidad de vida y una mayor satisfacción personal, también valoran más la experiencia de un bien o servicio que su propia adquisición (Ociokonsulting, 2019).

Por otro lado, los encuestados de esta generación reportaron preferencia por los siguientes productos y servicios turísticos enlistados, el 25 % les gusta visitar la feria del pulque y el 21 % realizarían todas las actividades dadas. En la ruta agroturística seleccionaron la degustación gastronómica basada en el agave pulquero como la más atractiva y después todas las actividades ofertadas, como la generación *millennial*.

Esta generación muestra interés por el cuidado del medio ambiente y demanda productos ecológicos y sostenibles. Optan por las actividades al aire libre y asisten a actividades culturales, les gusta descansar y aprovechar sus vacaciones al máximo (Ociokonsulting, 2019), principalmente en familia.

Gráfico 2. Disposición de gasto en productos y servicios turísticos en la generación X



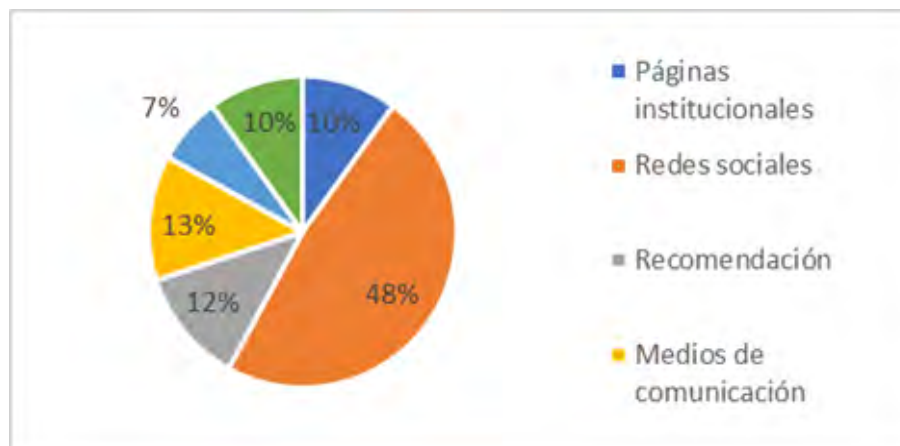
Fuente: Elaboración propia, 2022

En cuanto al gasto de esta generación (Gráfico 2), están dispuestos a pagar hasta 50 pesos por un litro de aguamiel y pulque natural, y 10 pesos más por el pulque curado mezclado con vegetales, frutas, semillas o sabores artificiales (como café, coco, vainilla o chicle). Además, pagarían 150 pesos por la miel de agave y hasta 200 pesos por un platillo de gastronomía local por persona. Esto indica una mayor disposición de gasto en comparación con la generación *millennial*. Ya que como indican otros autores, al momento de gastar, esta generación valora más la seguridad al adquirir productos y servicios e invierte más en recreación y alimentos. Buscan una buena relación calidad-precio y prefieren los viajes cortos a los largos (Astudillo *et al.*, 2020).

1.7. Medios de comunicación

Los *millennials* utilizan principalmente las redes sociodigitales como medios de comunicación (Gráfico 3). Estas redes se han convertido en una plataforma ideal para la publicidad en mercadotecnia sustentable, permitiendo a los anunciantes promover comportamientos socialmente responsables y a los consumidores seleccionar productos sostenibles que se ajusten a su estilo de vida (Minton *et al.*, 2012). Además, en esta generación, las redes sociodigitales son esenciales antes de tomar decisiones de compra, ya que los comentarios en estas plataformas son una parte fundamental de su proceso de búsqueda de información (González *et al.*, 2018).

Gráfico 3. Medios de comunicación elegidos por la generación *millennials* para recibir información sobre los productos y servicios del agave pulquero



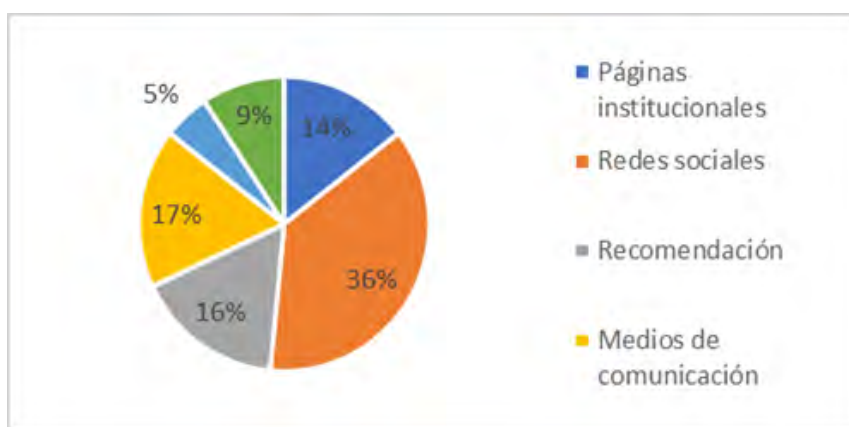
Fuente: Elaboración propia, 2022

Los *millennials* son más conscientes del impacto de sus decisiones, de la información que tienen a su disposición para tomarlas y de las consecuencias o beneficios que estas conllevan,

una característica que posiblemente las generaciones anteriores no tenían (López y Peñalosa, 2017 citado por López *et al.*, 2019).

Al igual que la generación anterior, la generación X utiliza las redes sociodigitales (48 %), especialmente Facebook y WhatsApp (Gráfico 4). Sin embargo, para relacionarse con las marcas, prefieren las llamadas personales o los correos electrónicos, ya que valoran más la interacción humana que la automatizada (Ociokonsulting, 2019). Además, la recomendación de familiares, amigos y compañeros de trabajo es su siguiente fuente preferida para recibir información sobre productos y servicios (12 %). Para esta generación, la fuente más confiable al buscar información sobre un servicio es la recomendación de terceros y muestran una clara preferencia por los descuentos y los programas de fidelización (González *et al.*, 2018).

Gráfico 4. Medios de comunicación elegidos por la generación X para recibir información sobre los productos y servicios del agave pulquero



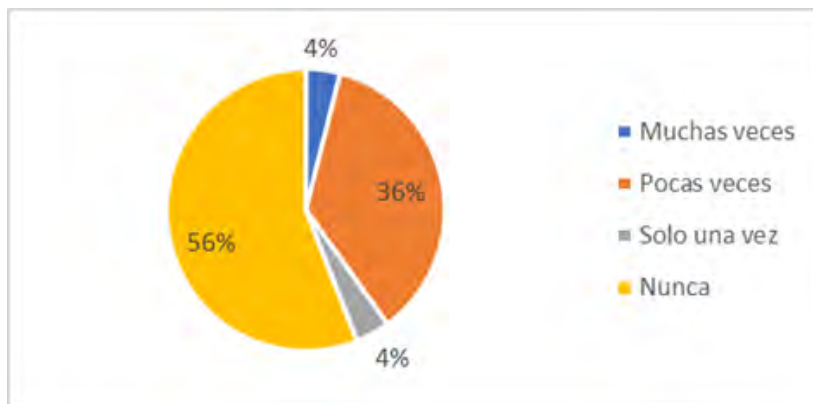
Fuente: Elaboración propia, 2022

Publicidad e imagen corporativa

En el instrumento aplicado se incluyeron dos preguntas relacionadas con la publicidad de los productos y servicios del agave pulquero. La primera indagó sobre la frecuencia con la que los encuestados veían dicha publicidad, y la segunda, sobre los elementos (imágenes) que les gustaría ver en ella.

La respuesta más común a la pregunta sobre la frecuencia fue “nunca” (56 %), lo que indica una falta de publicidad en esta actividad agroalimentaria (gráfico 5). Los resultados fueron consistentes en ambos perfiles generacionales de consumidores. Esto sugiere la necesidad de crear elementos publicitarios que actúen como catalizadores para atraer a nuevos consumidores y fidelizar a los existentes.

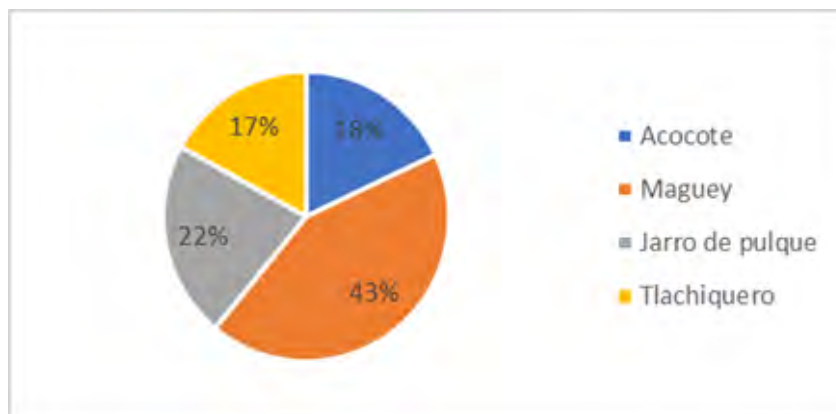
Gráfico 5. Frecuencia que han visto de publicidad de productos y servicios de agave pulquero



Fuente: Elaboración propia, 2023

Además, los elementos que los encuestados desearían ver en la publicidad de los productos y servicios del agave pulquero (Gráfico 6) incluyen el maguey, el jarro, el acocote y tlachiquero. La mayoría mencionó el maguey (43 %) y el jarro de pulque (22 %) como las principales imágenes que les gustaría ver en la publicidad. Estos elementos de *branding* son fundamentales para diseñar una imagen corporativa coherente con las percepciones del consumidor objetivo y con los productos que se desean ofrecer, favoreciendo la creación de conexiones conscientes e inconscientes con el público. Esto genera un proceso de diálogo entre las partes interesadas en el desarrollo de la identidad del emprendimiento turístico (Escobar *et al.*, 2024).

Gráfico 6. Imágenes que le gustaría ver en la publicidad de los servicios y productos del agave pulquero



Fuente: Elaboración propia, 2023

A partir de los resultados obtenidos de las dos gráficas anteriores, se construyó un logotipo (Imagen 1) de acuerdo con los elementos referidos por los encuestados. Esto forma parte de la imagen corporativa que se pretende desarrollar para los productos y servicios del agave

pulquero de Jiquipilco; tal propuesta es un primer acercamiento para la construcción de la identidad del producto.

Imagen 1. Logotipo



Elaboración: Flores y Ortiz, 2024

1.8. Estrategias de mercadotecnia sustentable Implementadas en Jiquipilco, México

Las estrategias sostenibles deben adaptarse a los formatos y canales actuales (Bassano *et al.*, 2019). Se basan en predicar con el ejemplo y dar voz a las acciones positivas de la empresa en el medio ambiente. El objetivo es que el desarrollo de actividades turísticas genere el menor impacto negativo en las tres esferas de la sustentabilidad. Las estrategias de mercadotecnia se alinean con esta premisa.

Personalización Basada en el Perfil del Consumidor

Utilizando los resultados sobre el perfil del consumidor y su segmentación por generación, se personalizan las promociones, los productos y servicios del agave pulquero, conforme a los principios del marketing sustentable mencionados por Lucic (2020).

Integración Estratégica

Se llevan a cabo programas de capacitación sobre buenas prácticas turísticas, abiertos al público, para concienciar a los prestadores de servicios sobre los impactos del turismo masificado. La capacitación busca sensibilizar a diversos grupos de interés y fomentar una cultura sustentable en la actividad turística. Esto incluye:

- Control del número de visitantes por recorrido.
- Oferta selectiva a un público consciente de la cultura del destino turístico.
- Incorporación de prácticas de educación ambiental para crear conciencia e involucrar a los visitantes en acciones proactivas de cuidado y regeneración del territorio.

1.8.1. Compromiso Social

Se propone un circuito agroalimentario que promueva la conciencia sobre el sistema productivo del agave pulquero mediante actividades recreativas y de sensibilización ambiental. Las actividades incluyen talleres de educación ambiental donde los turistas pueden plantar su propio maguey, dejando un impacto positivo en la comunidad local y generando respeto por el entorno natural.

Este circuito corto de comercialización se destaca por la venta directa de productos locales frescos, como pulque, curados y alimentos de temporada (huevo orgánico, tortillas, pan, hongos, entre otros), directamente del productor al consumidor urbano.

Una estrategia de consumo responsable es el cero uso de bolsas de plástico, invitando a los visitantes a llevar sus propios contenedores, bolsas reciclables, canastas, termos, entre otros. Esto reducirá el impacto ambiental causado por el uso de embalajes desechables.

Capacidades Éticas para el Comercio Justo y Sostenible

Entre las estrategias de promoción limpia se incluyen el uso de códigos QR, redes sociales, generación de videos informativos cortos, TikToks y enlaces en vivo, para reducir el uso de papel e impresión, transmitiendo información sobre los beneficios de los productos y servicios del agave pulquero.

Otra estrategia es la incorporación de souvenirs reutilizables, como un pequeño jarro de barro con un listón verde, que hace alusión al color del maguey y al concepto de naturaleza, y un sombrero de palma impreso con el logotipo. Estos souvenirs sirven como medio de promoción y utensilios para degustar el aguamiel recién cosechado, y el sombrero proporciona protección solar al visitante.

El consumo directo entre productor y consumidor final en el espacio de producción permitirá la generación de comercio justo en el territorio, contribuyendo a la construcción ética y sostenible del intercambio de bienes y servicios, acorde a las condiciones sociales del entorno. Esto beneficia no solo a la industria turística, sino también a la gastronómica, comensales, actores de la cadena de suministro y, de manera muy importante, al medio ambiente (Curvelo, 2019).

1.9. Conclusiones

El perfil del consumidor potencial de los productos y servicios asociados al sistema productivo del agave pulquero en Jiquipilco, México, se caracteriza por ser jóvenes con un nivel educativo superior y posgrado, sensibles a temas ambientales y sociales, de clase media, residentes urbanos y nativos digitales que utilizan habitualmente plataformas digitales de interacción social. Estos consumidores tienen una disposición de gasto de entre 350 a 500 pesos por persona para actividades de turismo rural.

Los hallazgos obtenidos fueron cruciales para el diseño de la imagen corporativa, esencial para la promoción y publicidad de los productos y servicios relacionados con el agave pulquero. Esta imagen busca captar el interés de los consumidores, integrando estrategias que reflejan el compromiso social y los valores éticos de la mercadotecnia sustentable. El desarrollo e implementación de estas estrategias ofrecen una oportunidad para aplicar prácticas éticas en cada etapa de la producción y el consumo.

Además del estudio de mercado y su importancia para el diseño y la formulación de estrategias para implementar la mercadotecnia sustentable, es fundamental trabajar en la concientización de la comunidad local, incluyendo a todos los grupos de interés involucrados en la actividad turística. Este aspecto es esencial para promover una cultura interna de sostenibilidad tanto en las unidades de producción local que ofrecen el servicio como en las autoridades locales que puedan reforzar e institucionalizar compromisos sociales como la producción y el consumo responsable.

Por lo tanto, futuras investigaciones deben explorar la colaboración y coordinación entre actores públicos y locales para transformar a Jiquipilco en un destino de turismo rural que aproveche sosteniblemente la diversidad de activos naturales y culturales, tangibles e intangibles, que lo caracterizan. Esto requeriría una planificación estratégica y coordinada.

Referencias

- Antón de la Iglesia, C. (2022). Acciones de marketing y comunicación para la reactivación del turismo de Segovia tras el Covid-19 [Tesis de Grado]. Universidad de Valladolid. [https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/54622/TFG-N. %201920.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/54622/TFG-N.%201920.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arechavaleta, E. F. (2015). Estrategias de comercialización. En Ramírez-Ortiz, M. E. (Ed.). *Tendencias de Innovación en la Ingeniería de Alimentos* (pp. 169-195). OmniaScience.
- Astudillo, S., Maldonado, K. y Maldonado, C. (2020). Análisis del gasto turístico en los segmentos de mercado baby boomers, generación X y millennials; que visitan la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista Científica de Ciencias Sociales y Humanas*, 4(76), 52- 67. <https://doi.org/10.33324/uv.vi76.265>
- Bassano, C., Barile, S., Piciochhi, P., Spohrer C, J., Iandolo, F. y Fisk, R. (2019). Storytelling about places: Tourism marketing in the digital age. *Cities*, (87), 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.12.025>
- Biosphere. (27 de febrero de 2017). 22 beneficios del turismo sostenible. <https://www.biospheretourism.com/es>
- Bur, A. (2013). Marketing sustentable: Utilización del marketing sustentable en la industria textil y de la indumentaria. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (45), 133-142.
- Casella Volosin, A., Pretini Tisiana, M., Sosa Dulce Agustina, A. y Vázquez Palana, V. (2021). Millennials, la “Generación Verde”: factores motivacionales que impulsan el consumo sustentable (Bachelor’s thesis). Universidad Nacional de Córdoba. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/19098>
- Cervantes, R. y Chaparro, P. M. (2021). Transformaciones en los hábitos de comunicación y sociabilidad a través del incremento del uso de redes sociodigitales en tiempos de pandemia. *Ámbitos: Revista Internacional de Comunicación*, 52, 37-51.
- Chhabra, D. (2009) Proponiendo un marco de marketing sostenible para el turismo patrimonial, *Revista de Turismo Sostenible*, 17:3, 303-320. 10.1080/09669580802495758
- Curvelo, B. C.E. (2019). Gastronomía Tradicional de Riohacha D.T.C. como atractivo turístico y factor de desarrollo económico local [Tesis de maestría, Universidad Externado de Colombia]. Repositorio Library.co
- Díaz, C., López, M. y Roncallo, L. (2017). Entendiendo las generaciones: una revisión del concepto, clasificación y características distintivas de los baby boomers, X y millennials. *Clío América*, 11(22). <http://10.21676/23897848.2440>

- Escobar, M., Cervera, A., y Schlesinger, W. (2024). Destination brand identity: challenges, opportunities, and future research agenda. *Cogent Social Sciences*, 10(1), <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2302803>
- Foullon, J. J. (2020). Segmentación de mercado. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara, Sistema de Universidad Virtual. <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/3432>
- García, Y. M. y García, E. K. (2021). Emprendimientos turísticos sustentables: Una revisión de la literatura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 13612-13624. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1346
- García, E.A., de Haro, R. y Blas, S. (2023). Diseño y validación de contenido de instrumentos sobre consumo productos derivados del agave pulquero. Economías alternativas y género en los espacios rurales. <https://concytep.gob.mx/publicaciones/libro-economias-alternativas-y-genero-en-los-espacios-rurales>
- Giraldo, C.L., Lonoño, J., Milcota, D. y O'neill, E. (2021). Marketing sostenible y responsabilidad social organizacional: un camino hacia el desarrollo sostenible. *Aibi revista de investigación, administración e ingenierías*, 9 (1), 71-81. <https://doi.org/10.15649/2346030X.978>
- González, P.A, Cañizares, C.A y Patiño, G.A. (2018). Las redes sociales como factor de decisión: millennials frente a la generación X. *Revista Economía y Política*, 27, 9-28. <https://www.redalyc.org/journal/5711/571167704001/html/>
- Hernández, C. A., y Bonomie, M. E. (2010). Responsabilidad Social Empresarial: Estrategia de competitividad en el marco de la globalización. *Revista de Formación Gerencial*, 9(1), 144-168.
- Lucic, A. (2020). Medición de la orientación al marketing sostenible: proceso de desarrollo a escala. *Sostenible*, 12 (5), 1734. <https://doi.org/10.3390/su12051734>
- López C. D.M., Peñalosa O.M.E., Escobar M.A.R. y Sánchez H.J.D. (2019). Análisis de la percepción de los Millennials sobre la importancia de la responsabilidad social empresarial (RSE) en Bogotá, Colombia. *Las ciencias de gestión en Latinoamérica, Revista de Administração Unimep*, 17 (4).
- Madrigal, F., Madrigal, S. y Ávila, F. (2019). Modelos de Ecuaciones Estructurales en Investigaciones Sociales enfocadas al comportamiento de compra de los Millennials. *Revista Espacios*, 40 (11). <https://www.revistaespacios.com/a19v40n11/19401113.html>
- Martínez, A.M., Monserrat, J y Searra, J. (2019). El influencer 2.0 turístico: de tumo a líder de opinión. *Revista Latina de Comunicación Social*, 74, 1344-1365. <https://doi.org/10.4185/RLCS-2019-1388>

- Minton, E., Lee, C., Orth, U., Chung, K. y Kahle L. (2012): Sustainable Marketing and Social Media, *Journal of Advertising*, 41:4, 69-84. <http://dx.doi.org/10.1080/00913367.2012.10672458>
- Nava, R.M., Sánchez, A. y Gutiérrez, C. (2021). Estrategia de marketing en las Pyme con base al interés del millennial socialmente responsable y su decisión de compra. En Publicaciones Empresariales UNAM-FCA (Eds.). Estrategias de mercadotecnia en mercados específicos (pp.49-63). ISBN: 978-607-30-2948-3
- Nebular. (17 de enero, 2022). ¿Quién es el Adprosumer? Nebular Group. ¿Quién es el Adprosumer? - Nebular Learn (nebulargroup.com)
- Ramos, E. V. y Valle, N. (2020). La gestión de la imagen corporativa como estrategia de sostenibilidad: camino hacia el cambio empresarial. *Revista Universidad y Sociedad*, 12 (1), 292-298. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000100292&lng=es&tlng=en.
- Ociokonsulting. (2019). Generación: X. <https://www.ociokonsulting.com/generacion-x/>.
- Sadiki, A. (2012). Sustainable Tourism Marketing Strategies at UNESCO World Heritage Sites. UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones. 1477. <http://dx.doi.org/10.34917/3560430>.
- San, L., y Retolaza, JL (2012). Participación de los grupos de interés en el gobierno corporativo: propuesta ontológica y metodológica de fundamentación. *Universitas Psychologica*, 11 (2), 619-628.
- Sierra, M. S. y Cacciutto, M. (2022). Turismo y pandemia por COVID-19: principales debates académicos y tendencias de abordaje. *Aportes y Transferencias*, 20(1).
- Pardo, H. M. y Obando, J. A. (2021). Análisis del proceso de Implementación de redes 4G en Colombia dentro del plan de transición a nuevas tecnologías. [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42461>
- Peñalosa, M.E y López, D.M. (2016). La generación de los millennials frente al consumo socialmente responsable. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 7(23), 73-81.
- Piqué, F. (2021). El turismo sustentable y el Marketing. Asociación de Marketing Turístico. <https://marketingturistico.com.ar/el-turismo-sustentable-y-el-marketing/>
- Yan, J. y She, Q. (2011). Developing a trichotomy model to measure socially responsible behaviour in China. *International Journal of Market Research*, 53(2), 253-274. <https://doi.org/10.2501/IJMR-53-2-253-2>

Capítulo 2.

Uso de *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural, una alternativa al tratamiento de vinazas tequileras

Saraí Contreras Bravo¹

Alejandro Ortiz de Montellano Pérez ²

Carlos Javier Escudero Santiago ²

2.1. Introducción

Opuntia ficus-indica, comúnmente conocido como nopal, tuna de castilla o tuna mansa, es una especie cactácea de gran tamaño característico de zonas áridas del mundo (Gaviria y Rubio, 2024). La producción de *Opuntia ficus-indica* megacantha (tuna blanca) y *Opuntia ficus-indica* streptacantha (tuna roja) se distribuye en Centro, Sudamérica y en muchas regiones secas, con alta producción en el territorio mexicano posicionando el producto de nopal tunero en mercados locales e internacionales. Es relevante citar que durante la cosecha de los frutos de *Opuntia ficus-indica* se acumula el material vegetal proveniente de la poda por crecimiento o sanidad (Martínez *et al.*, 2001; Otálora *et al.*, 2022).

¹ Estudiante de la Maestría en Procesos del Tequila, Universidad Autónoma de Guadalajara, Zapopan, México (saraiconbra81@gmail.com).

² Departamento de Biotecnológicas y Ambientales, Universidad Autónoma de Guadalajara, Zapopan, México (carlos.escudero@edu.uag.mx)

Respecto a la innovación de productos y procesos rurales se deben tener opciones que sean atractivas para la misma población en términos económicos, pero que también resulte en un beneficio para resolver problemas de carácter regional. Una de las alternativas que se presenta es generar de un producto derivado de residuo de podas de OF-I tuna roja con el fin de destinarlo al tratamiento vinazas tequileras, derivado de la producción de una de las bebidas de mayor renombre en México y a nivel mundial.

En la elaboración de Tequila por cada litro de este destilado se generan 10-12 L de agua residual, llamado vinazas, produciendo anualmente entre 2,500 y 3,000 millones de litros de este residuo líquido (Rodríguez *et al.*, 2020; Zurita *et al.*, 2022). Para determinar el volumen de producción de la bebida alcohólica en cada planta, el Consejo Regulador del Tequila (CRT) determina el tamaño de la fábrica con base en el volumen de tequila producido al año; clasificando las fábricas en micros (1-300 m³/año), pequeñas (de 300-1000 m³/año), medianas (1000-3000 m³/año) y grandes mayores a 3000 m³/año.

Con ello, se ha determinado que 75 % de las tequileras son de tamaño micro, mientras que aproximadamente el 12 % son fábricas grandes. El 72 % de las tequileras micro o pequeñas no cuentan con el recurso económico y carecen del conocimiento sobre el tratamiento más adecuado para tratar las vinazas, sin el compromiso de responder ante organismos calificadoros para ajustarse a lineamientos gubernamentales (CRT, 2019).

Desafortunadamente, las vinazas tequileras presentan características que lo hacen difícil de manejar para conducirlo a un tratamiento que sea eficiente, tienen un carácter ácido (pH entre 3 y 4), poseen 50 veces mayor cantidad de materia orgánica y sólidos totales respecto al agua residual doméstica (Zurita *et al.* 2022; Escudero *et al.*, 2023). Varias tequileras ubicadas en el estado de Jalisco utilizan las vinazas para el riego agrícola con la idea de aprovechar los nutrientes que pudieran contener. Sin embargo, su mala disposición está generando impactos ambientales en el suelo y en los cuerpos de agua, creando problemas como toxicidad en el suelo o eutroficación en cuerpos de agua superficiales (Díaz *et al.*, 2021).

Una proporción pequeña de tequileras ha implementado sistemas de depuración convencionales como los reactores biológicos aerobios o anaerobios resultando en una eliminación parcial de los contaminantes presentes a condición de tiempos prolongados de depuración (Marino *et al.*, 2015). La composición de las vinazas es muy variable entre empresas y dentro de una misma destiladora; este efluente es retirado de los alambiques a temperatura de 90°C, a pH menor a 4 unidades y Demanda Química de Oxígeno (DQO) entre 40,000 a 80,000 mg/L y sólidos totales 35 mg/L, muchas veces esta variación está en función del proceso, si se elabora tequila 100 % agave o tequila 51 % (Escudero *et al.*, 2023).

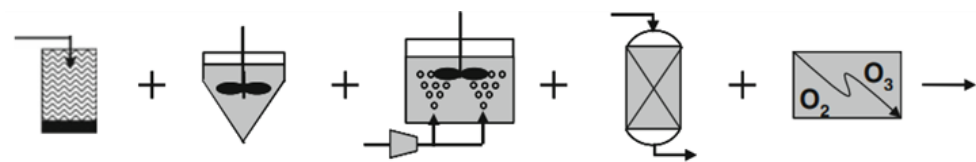
Íñiguez y Hernández (2010) realizaron estudios en el tratamiento de vinazas tequileras por coagulación-floculación con el propósito de reducir la carga orgánica que dificulta el manejo

y procesos posteriores de estos efluentes. Las vinazas fueron recolectadas de una fosa de captación, para después aplicarles la coagulación-floculación utilizando un floculante patentado de poliacrilamida catiónica PAM (SNF Floerger®) usando concentraciones de 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 mg/L del reactivo químico. Se evidenció que bajo una misma dosis de PAM a mayor concentración de DQO mayores porcentajes de eliminación de este parámetro, encontrando eliminaciones entre 21 % y 26 %.

A nivel laboratorio se ha probado la coagulación-floculación de vinazas tequileras usando 0.5 g/L de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y 0.5 g/L de cloruro férrico (FeCl_3) sin hacer ajuste de pH de la muestra, alcanzando eliminaciones del 41 % y 47 % de la DQO (Escudero *et al.*, 2023). Para el tratamiento en vinazas, Linerio y Guzmán (2004) utilizaron 5 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ más 1.5 mg/L de un polímero comercial eliminando el 25 % de la DQO. Sin embargo, esto conduce a un incremento de costos de tratamiento, además de la generación de lodos que pueden resultar complejos al final de la depuración.

López *et al.*, (2010) reportan un tren de tratamiento de vinazas tequileras con varias etapas, como se muestra en la Figura 1, donde se incluye la coagulación-floculación como tratamiento primario, alcanzando al final de todas las etapas más del 85 % de la eliminación de la DQO y más del 85 % de los sólidos totales.

Figura 1. Tren de tratamiento para vinazas



Fuente: Modificado de López *et al.* (2010)

Con lo anterior, se hace relevante aplicar varias etapas en el tratamiento de un efluente complejo como las vinazas de la producción de tequila, donde la coagulación puede resultar un proceso clave para entregar un efluente libre de sólidos disueltos próximos a someterse a un tratamiento biológico. Sin embargo, algunas de las limitaciones de la coagulación empleando reactivos químicos es el alto costo relacionado a la dosis de las sustancias, así como sus remanentes que pudieran reducir la eficiencia del tratamiento biológico posterior.

La naturaleza de *Opuntia ficus-indica* (OF-I) hacen que la planta sea buen candidato en la química de superficie para aplicarse como coagulante natural, dado la presencia de carbohidratos complejos, proteínas y fibras, donde los grupos funcionales en este material proporcionan grupos tensioactivos y moléculas complejas para la depuración de sólidos disueltos y coloides presentes en el agua residual (Otálora *et al.*, 2022).

Estudios sobre el análisis vía espectrofotometría en el infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR) para identificar grupos funcionales presentes en OF-I, revelaron que en su estructura se presentan polisacáridos que permiten aglutinar sustancias en agua (Loza *et al.*, 2012; Vargas *et al.*, 2016). Se detectaron varios compuestos principalmente en el mucílago, como la L-arabinosa (46.20 %), D-galactosa (19.17 %), L-ramnosa (6.72 %), D-xilosa (24.04 %) y ácido galacturónico (7.10 %).

El ácido poligalacturónico derivado de los galacturónicos es el componente principal de la actividad de coagulación en polvo de *Opuntia* y de su mucílago (Otálora, 2022). Con lo anterior, OF-I resulta un material amigable con el ambiente natural, al tener la posibilidad de utilizarse como coagulante, más aún si se usa el rechazo de las plantaciones tuneras para la elaboración del coagulante natural. En el presente trabajo se experimentó la coagulación-floculación, como tratamiento primario, de vinazas tequileras usando coagulantes naturales a partir de las fibras (polvo) y del mucílago (líquido) de *Opuntia ficus-indica*.

2.2. Metodología

Obtención del coagulante natural

Se inició con la colecta de muestras de nopal *Opuntia ficus-indica* (OF-I) que queda como merma de la limpieza de los campos de cultivo de este producto (poda de producción) en la comunidad de San Sebastián Villa Nueva, Acatzingo, Puebla. De esta forma se tuvo un enfoque de economía circular valorizando un residuo que queda de esta práctica agrícola. Los nopales fueron trasladados al Laboratorio de Procesos Químicos Sostenibles de la Universidad Autónoma de Guadalajara para su pesado y la determinación de sus medidas.

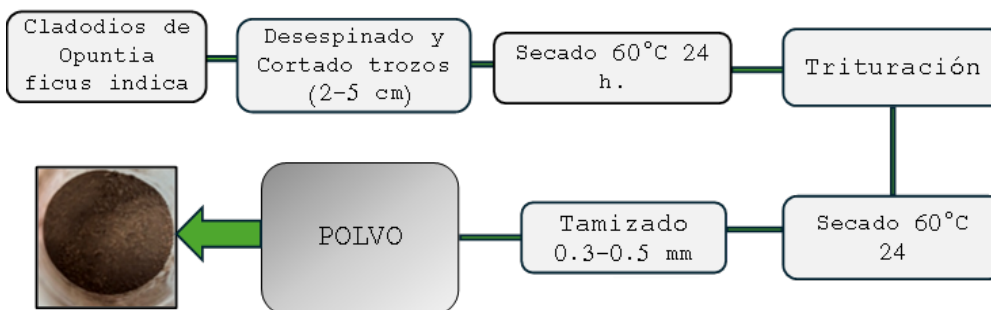
Se determinó el peso en masa seca de cladodio de *Opuntia* ocupando una balanza analítica Pionner™ modelo OAHUS para obtener el peso fresco y posteriormente conocer la pérdida de humedad al tener el peso de la muestra una vez deshidratada en estufa de secado marca Felisa. La fórmula ocupada para el cálculo del porcentaje de humedad de la muestra analizada de OF-I lo indica la ecuación 1.

$$\% \text{ humedad} = [(\text{masa de OF-I fresco} - \text{masa de OF-I seco}) / \text{masa de OF-I seco}] * 100 \text{ Ec. (1)}$$

Para tener una comparación en el desempeño de OF-I se consideró experimentar su aplicación en el tratamiento de las vinazas tequileras con dos formas o presentaciones del coagulante, polvo seco y mucílago fresco (líquido). Para la obtención de OF-I en polvo se siguió

una metodología aplicando separaciones mecánicas indicadas y adaptada de los reportes de Fuentes *et al.*, (2016) y Al *et al.*, (2016), como se muestra en la Figura 2.

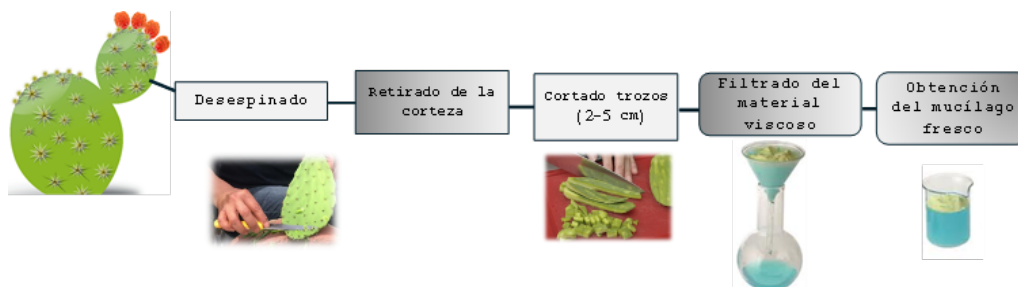
Figura 2. Etapas seguidas para la elaboración del coagulante natural de OF-I en polvo



Fuente: Elaboración propia 2024

Para obtener partículas de OF-I en polvo de tamaño similar la muestra fue pasado por un tamiz de malla 100, de tal forma que no existiera heterogeneidad en cuanto al coagulante natural sólido. Respecto a la obtención del mucílago fresco de OF-I se inició con la limpieza del nopal, quitando las espinas y corteza, luego se trituró y se finalizó con el exprimido del material sólido sobre una membrana de papel filtro para dejar escurrir el mucílago libre de impurezas sobre un material de vidrio. Esta metodología fue tomada de lo indicado por Olivero *et al.*, (2013). Lo anterior, queda representado en la Figura 3.

Figura 3. Etapas seguidas para la elaboración del coagulante natural de OF-I en forma líquida



Fuente: Elaboración propia 2024

Caracterización de las vinazas tequileras

Se realizaron muestreos de vinazas a una planta productora de tequila, ubicada en el centro-poniente del Estado de Jalisco, para su caracterización en el Laboratorio de Procesos Químicos Sostenibles de la Universidad Autónoma de Guadalajara. Los parámetros de calidad estudiados de este efluente fueron los que se muestran en la Tabla 1, siguiendo métodos

estandarizados. Cabe señalar que todas las determinaciones se hicieron por duplicado, incluso en ocasiones por triplicado para asegurar que el resultado obtenido sea fiable.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua estudiados en el proyecto

Parámetro	Unidad	Normatividad de referencia
pH	-	NMX-AA-008-SCFI-2016
Conductividad	mS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2018
DQO (DQO)	g/L	NMX-AA-030-SCFI-2001
Sólidos Totales Totales (STT)	g/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	g/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Suspendidos totales (SST)	g/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos Sedimentables (SSed)	mL/L	NMX-AA-004-SCFI-2013
Turbiedad	NTU	NMX-AA-038-SCFI-2001

Fuente: Elaboración propia 2024

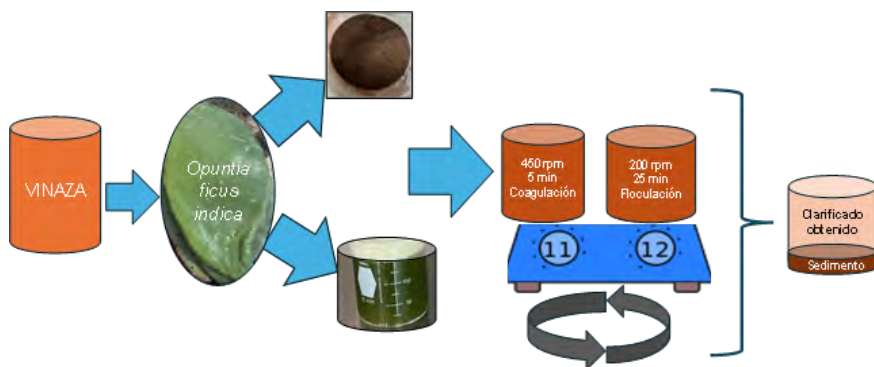
Tratamiento de coagulación-floculación de vinazas tequileras

Las dosis experimentadas con el coagulante de OF-I en polvo y mucílago fresco se encontraron en el rango de 0.10 y 1.0 g/L. Para ello, se utilizaron volúmenes de 100 mL de las vinazas dispuestos en vasos de precipitado de vidrio y, una vez agregado el coagulante natural en cualquiera de sus presentaciones se mantuvo en agitación con equipo Cimarec[®] 2 de Thermoline a 450 rpm durante los primeros 5 min. Pasando este tiempo se dejó la muestra a 200 rpm aproximadamente para dar paso a la formación de los flóculos durante los 25 min restantes. Una vez finalizada la prueba se deja en reposo la muestra por más de 2 h para esperar la separación completa de los sedimentos formados. Después el clarificado formado fue recuperado y se procedió a su caracterización, para de esta manera poder comparar la eficacia de depuración respecto a los datos de la muestra de vinaza cruda.

En la Figura 4 se representa las etapas llevadas a cabo para el tratamiento de las vinazas tequileras aplicando el coagulante natural de OF-I, incluyendo la última fase de recuperación del clarificado para su posterior análisis fisicoquímico.

Fue importante hacer algunas pruebas comparativas del nivel de depuración que se pudiera alcanzar usando coagulantes químicos, por lo cual se llevaron a cabo experimentos usando 0.5 g/L de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Golden Bell), 0.5 g/L de sulfato ferroso (FeSO_4 , Fermont) y 0.5 g/L de cloruro férrico (FeCl_3 , Golden Bell). Estas pruebas se realizaron usando el mismo volumen usado para los experimentos anteriores.

Figura 4. Etapas seguidas del tratamiento vía coagulación-floculación de vinazas tequileras usando OF-I en polvo y en forma de mucilago



Fuente: Elaboración propia 2024

2.3. Resultados

Las muestras de OF-I fueron colectadas del municipio de Acatzingo, Puebla, específicamente en la comunidad de San Sebastián Villa Nueva, como se representa en las imágenes de la Figura 5.

Figura 5. Obtención de las muestras de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) en los campos de agrícolas de la zona central del Estado de Puebla



Fuente: Elaboración propia 2024

En la Figura 6 se presentan imágenes del procedimiento llevado a cabo para la determinación del porcentaje de humedad del nopal, con lo que se demostró que la muestra contenía un porcentaje de humedad en promedio de 87.4 %, que es valor alto respecto a la masa fresca de cladodios de OF-I por lo que para la obtención del coagulante natural en polvo implica tiempo para su deshidratación. Este dato obtenido es correspondiente a lo que han reportado diversos autores con valores entre 88 % y 95 % de humedad (Maki *et al.*, 2015).

Figura 6. Procedimiento para la obtención del porcentaje de humedad y OF-I en polvo



Fuente: Elaboración propia 2024

Las diferencias entre los contenidos de humedad entre cada nopal se deben a las variaciones de tamaño o crecimiento, ya que la humedad es el resultado del desarrollo del parénquima que conduce a un incremento en la capacidad de almacenamiento de agua y su disminución en los tejidos ocasionada por la pérdida de vapor debida a la transpiración, lo que afecta la apariencia del cladodio (Maki *et al.*, 2015).

Se obtuvieron mediciones de las dimensiones de algunas muestras de nopal una vez ingresado al laboratorio, los resultados se resumen en la Tabla 2, donde se dan valores promedio de peso y largo y ancho.

Tabla 2. Resultado de los pesos y dimensiones promedio de muestras de nopales de estudio

Peso total (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Ancho superior (cm)	Ancho inferior (cm)	Anchura intermedia (cm)	Espesor (cm)	Peso penca pelada (g)	Peso cáscara (g)
750	30.05	19	7.2	3.7	15.3	4	316	434

Fuente: Elaboración propia 2024

La caracterización de las vinazas tequileras arrojó los datos que se presentan en la Tabla 3, donde se puede observar que se trata de una muestra bastante completa al presentar una concentración de materia orgánica de más de 50,000 mg/L. Esta característica y los valores de pH ácidos son típicos de las vinazas tequileras lo que suma la importancia de tratar este tipo de efluente antes de su descarga a cuerpos de agua.

Tabla 3. Valores de los parámetros fisicoquímicos de las vinazas tequileras estudiadas

Parámetros	Unidades	Vinaza cruda	Vinaza sedimentable
pH	-	3.70	3.69
Conductividad eléctrica	mS/cm	2.22	2.12

STT	mg/L	30.59	29.02
SDT	mg/L	26.95	25.83
SST	mg/L	4.50	2.26
DQO	mg/L	60,000	59,500
Turbiedad	UNT	346.00	319.00
Sólidos Sedimentables	(mL/L)	34	N/A*

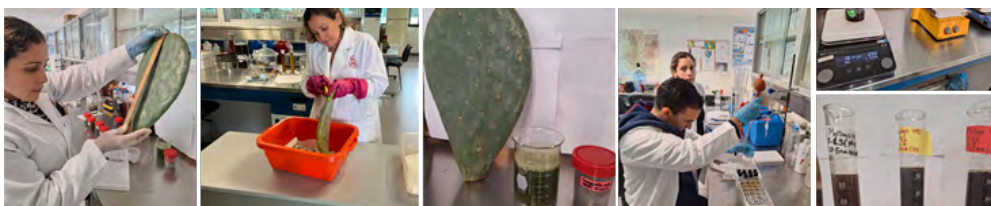
N/A*= No aplica. Fuente: Elaboración propia 2024

En la Tabla 3, también se puede observar que la muestra sedimentada presentó valores un poco menores respecto a la muestra cruda en términos de sólidos y de la demanda química de oxígeno, sin embargo, no fueron tan significantes. Algo importante que se detecta del análisis de estos resultados es que la mayoría de los sólidos presentes en las vinazas corresponden a sólidos sedimentables, que justifica el uso de la coagulación-floculación para dar tratamiento primario a efluentes de esta índole.

Adicionalmente, se revela el carácter ácido tanto de la vinaza cruda como la sedimentada, por los bajos valores de pH, que está muy distante al valor que marca la normatividad en cuanto a descargas de agua residual a cuerpos de agua (NOM-001-SEMARNAT-2021), donde el rango permisible es de 6-9 unidades de pH.

En la Figura 7 se representa en imágenes las actividades experimentales que involucra la caracterización de las muestras de nopal colectados, la de vinazas tequileras, el tratamiento de vinazas con el coagulante natural y la recuperación del clarificado.

Figura 7. Imágenes de las etapas experimentales de la preparación del coagulante natural, la caracterización de las vinazas tequileras y su tratamiento con coagulación-floculación



Fuente: Elaboración propia 2024

En la Tabla 4, se muestran los resultados del tratamiento vía coagulación-floculación usando OF-I en polvo, mientras que en la Tabla 5 se presentan los datos obtenidos del tratamiento usando OF-I en forma líquida.

Tabla 4. Valores de los parámetros fisicoquímicos de las vinazas tequileras tratadas con OF-I en polvo

Parámetro Fisicoquímico	Vinaza con OFI- P 0.1 g/L	Vinaza con OFI-P 0.25 g/L	Vinaza con OFI- P 0.5 g/L	Vinaza con OFI-P 0.9 g/L	Vinaza con OFI-P 1.0 g/L
pH	3.58±0.50	3.58±0.50	3.63±0	3.70±0.50	3.68±1.96
Conductividad (μS/cm)	1.87±0.10	1.94±0.22	1.96±0.20	2.32±0.29	2.34±0.56
DQO (g/L)	40.50±2.50	40.50±4.28	36.80±3.02	41.50±1.90	42.00±0.80
STT (g/L)	27.73±1.50	27.77±0.77	25.42±1.30	27.56±5.14	25.73±1.30
SDT (g/L)	25.47±7.04	25.95±8.60	23.35±0.78	26.08±9.28	23.67±0.04
SST (g/L)	0.83±0.04	1.04±0.12	3.9±0.37	1.27±0.36	1.22±0.05
SSed (mL/L)	30	30	30	30	30

Fuente: Elaboración propia 2024

Los resultados que se reportan en la Tabla 4 indican que a medida que la dosis de OF-I en polvo aumenta la eliminación de la DQO y los STT es mayor, llegando a un óptimo para una concentración del coagulante natural de 0.5 g/L dado que se obtienen eliminaciones de 38.7 % de la materia orgánica y de 6.6 % de los sólidos totales.

Tabla 5. Valores de los parámetros fisicoquímicos de las vinazas tequileras tratadas con OF-I en forma de mucílago

Parámetro Fisicoquímico	Vinaza con OFI-M 0.1g/L	Vinaza con OFI-M 0.25 g/L	Vinaza con OFI-M 0.5 g/L	Vinaza con OFI-M 0.9 g/L	Vinaza con OFI-M 1.0g/L
pH	3.63±0.08	3.90±0.12	3.65±0.06	3.70±0.05	3.87±0.10
Conductividad (μS/cm)	2.08±0.60	2.31±0.29	2.15±0.40	2.01±0.35	2.48±0.26
DQO (g/L)	40.50±0.30	40.50±0.42	48.00±0.25	36.8±0.50	41.00±0.72
STT (g/L)	31.08±0.95	33.09±1.03	29.59±0.74	28.57±0.85	30.06±0.88
SDT (g/L)	29.05±0.64	30.01±0.10	28.50±0.52	28.41±0.80	27.98±0.25
SST (g/L)	2.04±0.02	2.21±0.07	1.07±0.65	1.25±0.23	2.11±0.84
SSed (mL/L)	65	90	100	25	55

Fuente: Elaboración propia 2024

De los datos mostrados en la Tabla 5 se puntualiza que usando mucílago como coagulante natural la dosis de 0.9 g/L brindó el mayor nivel de depuración, alcanzando porcentajes de eliminación de la DQO y de sólidos totales de 38.7 % y 6.6 %, respectivamente.

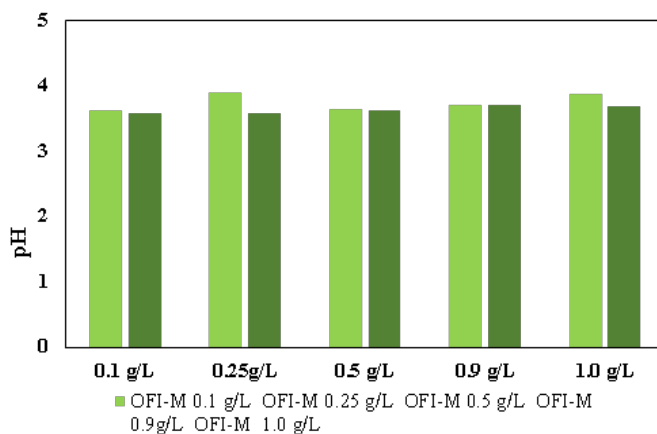
Con lo anterior, se evidencia, que tanto OF-I en polvo como en forma de mucílago conducen al mismo nivel de eliminación de la materia orgánica presente en las vinazas tequileras. No obstante, el coagulante natural en polvo lleva a mejores resultados de eliminación de sólidos, además, de que la concentración óptima de OFI-P es menor (0.5 g/L) que OFI-M (0.9 g/L). También, es destacable de que usando OF-I en polvo se propicia una menor generación de sólidos sedimentables respecto a OF-I líquido, lo que resulta ventajoso sabiendo de que este lodo residual debe conducirse a una disposición final adecuada.

Trabajos como los de Vaca *et al.*, (2014) indican que se obtiene cerca del 38 % de la eliminación de la DQO en efluentes de drenaje municipal empleando como mínimo 3 g/L del coagulante natural a base de OF-I. Con lo anterior, se evidencia una mejora en la dosis óptima empleada y dado la complejidad de las vinazas tequileras se tiene una mayor eliminación másica de la materia orgánica presente.

Existen otras investigaciones, como las de Bouatay y Mhenni (2014); Solaiappan y Karthikeyan (2014) donde se indica que un incremento en las dosis de OF-I en la depuración de aguas residuales reales y sintéticas se esperaría un aumento en la eliminación de la DQO, sin embargo, ocurre lo contrario, ya que la saturación del coagulante en el medio podría generar inconvenientes en la formación de los flóculos en el medio desfavoreciendo el biotratamiento.

Los resultados que se representan en la Figura 8, corresponden al comportamiento del parámetro pH al final del tratamiento de la muestra para las dosis estudiadas de los coagulantes naturales de OF-I (0.1 g/L, 0.25 g/L, 0.5 g/L, 0.9 g/L y 1.0 g/L). En general, en esta Figura 6, se logra apreciar un ligero incremento del pH de las muestras al final de tratamiento a medida que incrementa las dosis, acentuándose más en las muestras tratadas con OF-I en polvo. Sin embargo, este aumento es insignificante, de menos de 0.12 unidades de pH.

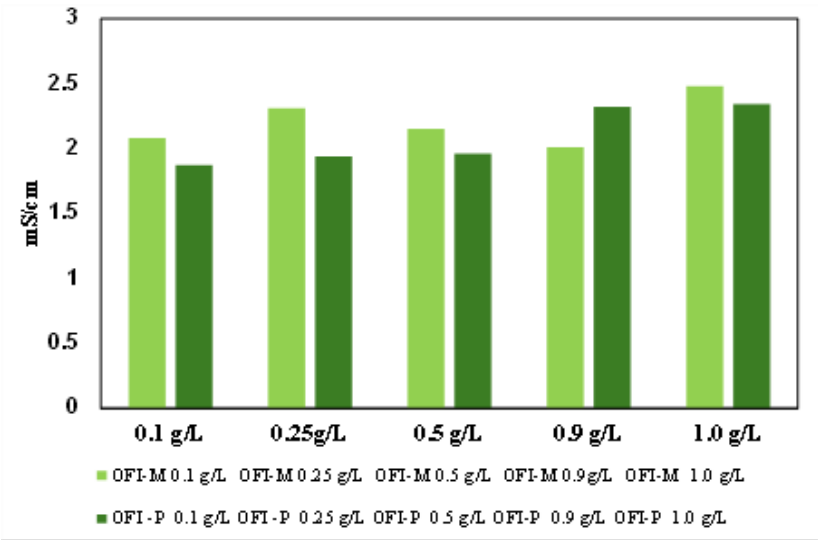
Figura 8. Comportamiento del pH a diferentes dosis con coagulante natural OFI-P y OFI-M para el tratamiento de vinazas tequileras



Fuente: Elaboración propia 2024

La Figura 9, representa los valores medidos en la conductividad eléctrica al final del tratamiento de las vinazas tequileras bajo las dosis probadas de coagulante de OF-I, donde se logra apreciar que OF-I en polvo lleva a mayores valores de la conductividad respecto a OF-I líquido, con diferencias no significativas respecto al valor de este parámetro en la muestra cruda, de menos de 0.2 mS/cm, que incluso pudieran estar dentro de las desviaciones estándar de las mediciones.

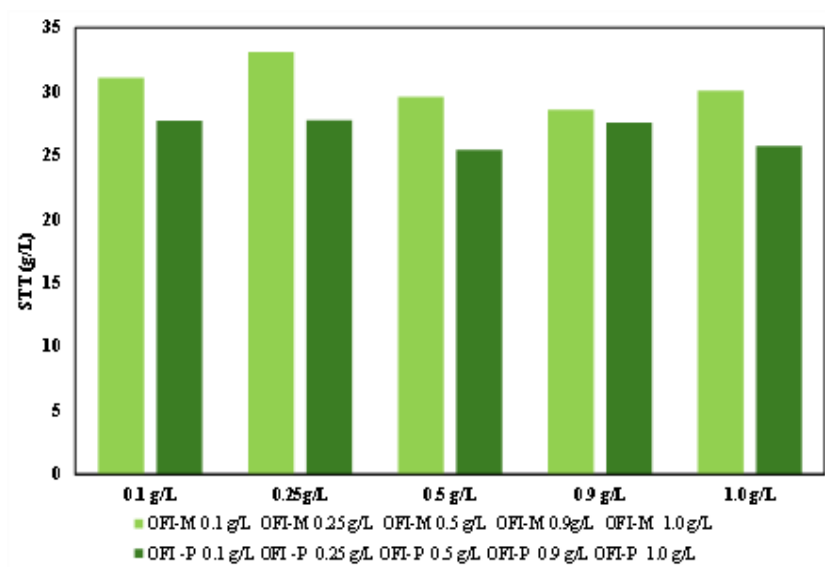
Figura 9. Comportamiento de la conductividad eléctrica a diferentes dosis del coagulante natural OFI-P y OFI-M para el tratamiento de vinazas tequileras



Fuente: Elaboración propia 2024

Es importante comentar que el parámetro de la conductividad puede relacionarse con la presencia de sales disueltas en las muestras. Sin embargo, en este estudio no se demostró una correlación entre el comportamiento de los valores de conductividad vs concentraciones de SDT. Por un lado, podría verse a que existieron fluctuaciones en las determinaciones evidenciados con la desviación estándar que se reporta, pero también debido a que las vinazas tequileras de por sí corresponden a un agua residual muy compleja conteniendo varios iones que pueden interferir en el valor de la conductividad (Zurita *et al.*, 2022). En cuanto al comportamiento de los sólidos totales, los resultados obtenidos para ambas presentaciones de OF-I, se resume en la Figura 10, aplicando las cinco dosis del coagulante natural.

Figura 10. Comportamiento de los sólidos totales a diferentes dosis de coagulante natural OFI-P y OFI-M en el tratamiento de vinazas tequileras



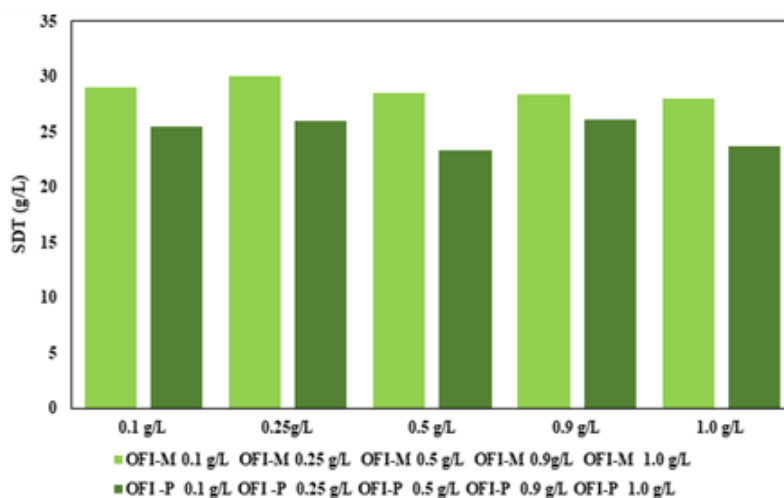
Fuente: Elaboración propia 2024

En la Figura 10, se puede apreciar que OF-I en polvo condujo a resultados favorables en la concentración de sólidos, mientras que aplicando OF-I líquido arrojó concentraciones más altas de STT. Estos datos se corresponden con los datos obtenidos de la DQO para ambas formas de los coagulantes.

Es relevante identificar que al aumentar la dosis de los coagulantes hubo efecto de disminución los niveles de sólidos totales presentes en la muestra de vinazas tequileras, lo que denota el beneficio de aglutinamiento de sólidos de la muestra señalado por Loza *et al.*, (2012), como resultado de la presencia de polisacáridos.

En la Figura 11, se muestran los resultados del comportamiento de los sólidos disueltos obtenidos para el tratamiento usando los coagulantes naturales de OF-I a diferentes dosis. Esta Figura 11 revela una disminución, en general, de la concentración de los SDT de las muestras estudiadas a medida que se aumenta la dosis de OF-I. Sin embargo, el mejor efecto depurativo fue conseguido con el coagulante natural del O-FI en polvo, presentando la dosis intermedia usada (0.5 g/L) la menos concentración de SDT de 23.35g/L. OF-I en forma de mucílago arrojó la menor concentración de este tipo de sólidos a la mayor dosis usada, logrando un valor de 27.98 g/L.

Figura 11. Comportamiento de los sólidos disueltos totales a diferentes dosis de coagulante natural OFI-P y OFI-M en el tratamiento de vinazas tequileras



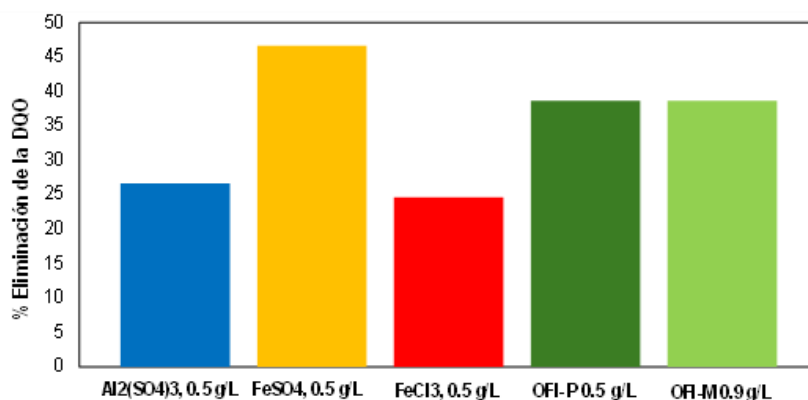
Fuente: Elaboración propia 2024

Los coagulantes naturales a partir de OF-I también se ha aplicado para la depuración de aguas superficiales y para el tratamiento de agua residual de la industria aceitera (Olivero *et al.*, 2013; Al *et al.*, 2016), obteniendo resultados muy favorables para la eliminación de sólidos disueltos totales (entre el 79 % y 96 %, respectivamente), que es un nivel de depuración más grande de SDT a la obtenida en esta investigación. Sin embargo, en estos trabajos se reportan efluentes menos complejos con concentraciones tanto de DQO como de SDT menores a las que presentan las vinazas tequileras.

Para evaluar la efectividad de los coagulantes naturales respecto a los coagulantes químicos comerciales, se procedió a experimentar el tratamiento de coagulación-floculación de las vinazas usando FeSO_4 , FeCl_3 y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y, bajo una dosis de 0.5 g/L, que es una concentración intermedia de todas las dosis experimentadas. En la Figura 12, se muestra una gráfica del porcentaje de eliminación de la DQO con las condiciones mencionadas de los coagulantes comerciales y la eliminación de la DQO con los mejores resultados conseguidos con los bio-coagulantes.

En cuanto a los coagulantes químicos, la Figura 12, indica que el mejor reactivo empleado para tratar las vinazas es el FeSO_4 , alcanzando en torno a un 47 % de eliminación de la DQO, seguido del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con un 27 % de eliminación de la materia orgánica y, por último, el FeCl_3 con un 25 % de reducción de la DQO.

Figura 12. Comportamiento de la eliminación de la materia orgánica de vinazas tequileras alcanzada con diferentes tipos de coagulantes, usando dosis de 0.5 g/L



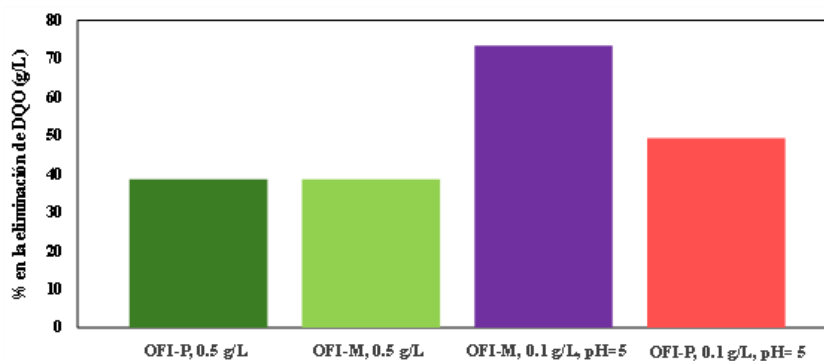
Fuente: Elaboración propia 2024

Comparando la eliminación de la DQO lograda por los coagulantes comerciales y lo obtenido con OF-I en polvo y OF-I mucílago, es notorio que el reactivo de FeSO₄ es el único que ofrece una ventaja sobre los coagulantes naturales. Sin embargo, tanto OF-I en polvo como mucílago ofrecen mejores resultados comparándolos con lo alcanzado con FeCl₃ y Al₂(SO₄)₃.

Finalmente, se buscó una mejoría de los resultados que se obtuvieron con los coagulantes naturales. Como el pH es una variable indispensable en la coagulación-floculación, se realizaron algunas pruebas variando dosis-pH de los coagulantes de OF-I.

Los mejores resultados obtenidos se resumen en la Figura 13, donde se aprecia que si se incrementa el pH a 5 unidades se tiene una mejoría notable usando menor dosis de OF-I.

Figura 13. Comportamiento de la eliminación de la materia orgánica de vinazas tequileras alcanzada con coagulantes naturales, a diferentes pH y dosis



Fuente: Elaboración propia 2024

En la Figura 13, se tiene que el OFI-M conduce a una notable mejoría en cuanto al resultado de la eliminación de la materia orgánica, logrando un 73 % de depuración de DQO en la muestra, mientras que usando la misma condición de 0.1 g/L de coagulante y pH de 5, pero ahora con OF-I en polvo se alcanza cerca del 50 % de la eliminación de la DQO.

Con lo anterior, se revela que el pH juega un papel fundamental en el tratamiento de este tipo de efluentes al emplear este tipo de coagulantes naturales, dado que se demuestra la disminución de la dosis del biocoagulante mejorando la calidad del efluente final.

Es importante comentar que estas pruebas representarían en un tren depurativo parte del tratamiento primario y, que el clarificado obtenido aún debe pasar por etapas posteriores si se quiere dejar a niveles de descarga a cuerpos de agua permitidos por la normatividad (NOM-001-SEMARNAT-2021), porque incluso la vinaza tratada vía coagulación-floculación con OF-I presenta aspecto de presencia de color y turbiedad.

2.4. Conclusiones

El trabajo presentado se centra en una alternativa a las comunidades rurales para la utilización de un residuo agrícola innovando en la generación de un producto de interés como lo son los coagulantes naturales a partir de *Opuntia ficus-indica*. Por otra parte, la industria tequilera busca cada vez más alternativas que sean sostenibles capaces de depurar el agua residual generada en sus procesos productivos, por lo que el empleo de OF-I resulta atractivo desde el punto de vista económico y sabiendo que se parte desde un enfoque de economía circular aprovechando un residuo que se rechaza en las plantaciones nopaleras.

Las pruebas condujeron a eliminaciones cercanas al 40 % de la materia orgánica, medida como DQO, tanto para OF-I en polvo como en forma líquida. Sin embargo, OF-I sólido presentó mejoría respecto al mucílago al encontrar una dosis más baja como óptima (0.5 g/L OFI-P vs 0.9 g/L de OFI-M), y obteniendo mayores eliminaciones de los sólidos presentes en las vinazas tequileras.

Las pruebas comparativas de la eliminación de la DQO con coagulantes químicos y los preparados a partir de OF-I revelaron que los biocoagulantes pueden ser competitivos frente a coagulantes como el sulfato de plata y cloruro férrico, siempre y cuando se usen las dosis óptimas encontradas. No obstante, haciendo una modificación del pH a las muestras de vinazas próximas a su tratamiento se revela que OFI-M presenta una mejoría significativa (con 0.1 g/L y pH de 5,) alcanzando hasta un 73 % de eliminación de la materia orgánica, siendo éste el nivel de depuración más alto encontrado en la investigación.

Es importante comentar que este estudio corresponde a una propuesta de una primera etapa de tratamiento de las vinazas tequileras, considerando que un tren de depuración de estos efluentes se constituye por varias operaciones y procesos que demandan consumo de reactivos y energía. Por lo que usando OF-I en cualquiera de sus formas se promueve ahorros en materia prima y se obtendría un efluente menos peligroso.

Referencias

- Al, N., Hwaidi, E. y Jassam, S. (2016). Comparing cactus (*Opuntia* spp.) and alum as coagulants for water treatment at Al-Mashroo Canal: a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(12), 1-8. doi: 10.1007/s13762-016-1114-0.
- Bouatay F., y Mhenni, M. (2014). Use of the Cactus *Cladodes Mucilage* (*Opuntia Ficus Indica*) As an Eco-Friendly Flocculants: Process Development and Optimization using Stastical Analysis. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1295-1308. doi: 10.22059/ijer.2014.822.
- CRT (Consejo Regulador del Tequila) (2019). Manual del Técnico Tequilero, 1ra Ed. (pp 503-521).
- Díaz, D., et al. (2021). An integrated approach for the assessment of environmental sustainability in agro-industrial waste management practices: The case of Tequila industry. *Frontiers in Environmental Science*, 9, doi: 10.3389/fenvs.2021.682093.
- Escudero, C., Pellegrini, F., y Delgadillo, O. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras mediante la aplicación de coagulación-floculación y procesos Fenton y foto-Fenton. *Ciencia y Frontera*, 1(2), 40-49, doi: 10.61865/j.cyfdcyt.2023.072x-n4ry.
- Fuentes, N., Molina, E., y Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54. doi: 10.22507/pml.v11n2a4.
- Gaviria, A., y Rubio, A. (2024). Coagulant and flocculant effect of *Opuntia ficus-indica* in water treatment. *Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 81 (602), 112-122. doi: 10.55815/428768.
- Hernández, D. (2021). Beneficio de los residuos de la tuna (*Opuntia ficus indica*, variedad rojo vigor) proveniente de San Sebastián Villanueva del municipio de Acatzingo, Puebla (Tesis de Maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Puebla.
- Hysa, E., et al. (2020). Circular Economy innovation and environmental sustainability impact on economic growth: An integrated model for sustainable development. *Sustainability*, 12 (4831), 2-16. doi: 10.3390/su12124831.

- Íñiguez, G., y Hernández, R. (2010). Estudio para la rehabilitación de una planta de tratamiento de vinazas tequileras mediante un floculante polimérico de poliacrilamida (PAM). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(4), 299-311.
- Linerio, J., y Guzmán, A. (2004). Tratamiento de efluentes y aprovechamiento de residuos. En: *Ciencia y tecnología del tequila, avances y perspectivas*, Gschaedler-Mathis A.C. (ed.), 258-284.
- López, A., et al. (2010) Tequila vinasses: generation and full scale. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(2), 109-116. doi: 10.1007/s11157-010-9204-9.
- Loza, S., Terrazas, T., y López, L. (2012). Fruits, seeds and germination in five species of globose Cactaceae (Cactaceae). *Interciencia*, 37(3), 197-203.
- Maki, G., et al. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49(1), 31-51.
- Marino, E., et al. (2015). Tequila vinasses acidogenesis in a UASB reactor with *Clostridium* predominance. *Springer Plus*, 4(419), 1-8. doi: 10.1186/s40064-015-1193-2.
- Martínez, J., et al. (2001). Poda y época de despunte de Cladodios de nopal tunero. *Agrociencia* 35(2), 159-167.
- Olivero, R., Mercado, I., y Montes L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8(1), 19-27.
- Otálora, M., et al. (2022). Use of *Opuntia ficus-indica* Fruit Peel as a Novel Source of Mucilage with Coagulant Physicochemical/Molecular Characteristics. *Polimers*, 14(18). doi: 10.3390/polym14183832.
- Rodríguez, J., et al. (2020). 2-Phenylethanol and 2-phenylethylacetate production by nonconventional yeasts using tequila vinasses as a substrate. *Biotechnology Reports*, 25(e00420), 1-11, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00420.
- Solaiappan, V., y Karthikeyan, R. (2014). Cactus opuntia (ficus - indica): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent. *Desalination and Water Treatment*, 56(6), 1489-1497. doi: 10.1080/19443994.2014.945487.
- Vaca, M., et al. (2014). Aplicación del nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 7(3), 210-216. doi: 10.22201/iingen.0718378xe.2014.7.3.
- Vargas L., et al. (2016). Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, 26, 8-11. doi: 10.15174/au.2016.839.
- Wautelet, T. (2017). Circular Economy as part of the corporate strategy competitive advantage or contemporary trends?. *European University for Economics and Management*. DOI: 10.13140/RG.2.2.18061.84963.
- Zurita, F., et al. (2022). Generation of tequila vinasses, characterization, current disposal practices and study cases of disposal methods. *Water*, 14(1395), doi: 10.3390/w14091395.

Capítulo 3.

Beneficios de la incorporación de la morera (*Morus alba*) como complemento de la alimentación animal

Israel Cruz Torrecillas¹

Reyna Durán Lugo²

Emilio Andrés Delis Hechavarria³

3.1. Introducción

En la intersección entre la naturaleza y la nutrición, la morera (*Morus alba*) emerge como un tesoro biodiverso con potencial desaprovechado. Este árbol fue el punto de partida para todas aquellas labores culturales del hombre para explotar la capacidad del gusano de la seda (*Bombyx mori*) de producir mediante sus glándulas salivosas, miles de metros de un hilo fino llamado seda. El gusano confecciona su capullo con este hilo para protegerse durante el proceso de metamorfosis que lo lleva a su estado de madurez. El gusano usa a la morera

¹ Tecnológico Nacional de México/TES de Chimalhuacán. División de Ingeniería Industrial. Primavera S/N, Santa María Nativitas, Chimalhuacán, Estado de México, México

² Tecnológico Nacional de México/TES de Chimalhuacán. División de Gastronomía. Primavera S/N, Santa María Nativitas, Chimalhuacán, Estado de México, México

³ CONAHCYT-Estancias posdoctorales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de México, Av. Universidad 3000, C.U, Ciudad de México, México, delisemilio@gmail.com

como fuente de almidón. Sin embargo, por cada 500 metros de hebra apenas se alcanzan a formar 130 miligramos de seda confeccionada. La seda aún tiene una alta demanda por la cualidad de conservar el calor natural; además, hay que destacar la enorme capacidad de la seda para absorber agua, gases y colorantes, y es un excelente material aislante para alambres de metal (Rodríguez *et al.*, 2018).

Se estima que la morera se comenzó a sembrar para la producción de la seda en los países asiáticos desde hace aproximadamente 4,500 años. El desarrollo de la sericultura origino el desplazamiento de especies y variedades por diversos continentes, por lo que estas plantas leñosas han acompañado a la humanidad, desde su surgimiento y desarrollo en esta región del continente, generando la ruta comercial más importante de la historia: La ruta de la seda. Su control ha marcado las pautas de la historia de la humanidad desde la era romana, siendo prioritario restablecerla tras la caída de Constantinopla, dando lugar a la era de la navegación y la era colonial por parte de las potencias europeas, y sus eventuales conflictos en dicha región, en los últimos tres siglos.

México, durante la época de la Colonia, recibió los primeros ejemplares de gusanos y moreras. Se considera que la corona española otorgó la concesión para plantar 100,000 moreras en Tepexi, Oaxaca, y que los misioneros dominicos expandieron el cultivo de esta especie. Para 1537 el cultivo de la mora ya prosperaba en el Valle de México, y algunas regiones de Michoacán, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y San Luis Potosí. En 1991 se crea el Centro Nacional de Sericultura en el estado de San Luis Potosí, desde donde apoyan y lideran proyectos relacionados con la producción de gusano de seda y por supuesto con la siembra y producción de moreras (Rodríguez *et al.*, 2012).

3.2. Metodología

Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales. Se realizó una búsqueda bibliográfica desde junio 2023 en Scopus, SciELO, Redalyc y el Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina, así como Revistas Indexadas de reconocimiento internacional utilizando los descriptores: escritura científica, *morera albus*, revisiones, lectura crítica de las múltiples variedades de morera estudiadas. Los registros obtenidos son alrededor de 71 tras la combinación de diferentes palabras claves, también se realizó una búsqueda en internet en el buscador “Google académico” con los mismos términos, seleccionando aquellos documentos que informaron sobre los aspectos formales que involucran el estudio de la morera. Los datos tomados de los documentos buscados fueron la introducción del cultivo de la morera en América, sus partes, el clima, el cultivo, las propiedades nutricionales en hojas y frutas. Asimismo, se extrajeron datos como fuente de proteína como suplemento de alimento de animales y los beneficios a la salud humana derivados de los metabolitos secundarios presentes.

3.3. Resultados

3.3.1. Origen y ecología de la morera

La morera pertenece al orden Urticales, familia Moraceae y género *Morus*. Las especies más conocidas son *Morus alba*, *M. nigra*, *M. indica*, *M. laevigata* y *M. bombycis* parecen tener su origen al pie del Himalaya donde el clima es templado (Noda *et al.*, 2004). Ésta se reproduce más comúnmente de forma asexual, y esto la ha dotado de una gran capacidad de adaptación a diferentes climas y altitudes, o bien, un cuidado mayor en su cultivo. Este tipo de reproducción se hace mediante el enraizamiento de estacas o esquejes, lo que permite propagarla con mayor velocidad o mantener un germoplasma por varias generaciones. Por otra parte, también es posible propagarla a través de la germinación de semillas. Todo esto hace que el árbol de morera sea considerado un cultivo cosmopolita. La morera se compone de los siguientes tejidos (Iwata, 1994):

Raíz. Responsable de la absorción del agua y sustancias minerales del suelo a través de los pelos radiculares, que son apéndices modificados de la epidermis. En el proceso de crecimiento de la raíz algunos pelos radiculares se forman y mueren de manera constante y marca las pautas del crecimiento de la morera. En la reproducción a través de semilla se desarrolla una raíz primaria embrionaria (raíz pivotante profunda, con ramificaciones laterales), de rápido crecimiento y verticalmente dentro del suelo, gracias a un fuerte geotropismo positivo, después se desarrollan raíces secundarias delgadas (Iwata, 1994). Estas moreras son las más resistentes a periodos de sequía, gracias a esta profundidad. Las moreras desarrolladas asexualmente presentan las raíces adventicias en forma de cabellera, llegar a un metro de profundidad y su tamaño se relaciona con la parte aérea, el tipo de suelo y la fertilidad. En los suelos livianos con alto contenido de materia orgánica se logra una mayor cantidad de raíces que en los suelos arcillosos; y son más susceptibles y vulnerables en sequías y ausencia de riego (Rodríguez *et al.*, 2012).

Tallo. Las moreras presentan un tallo arbóreo y su producción puede mantenerlos como arbustos, con tallos pequeños. El tallo consiste en el cuello de la planta sobre la superficie del suelo y termina en las primeras ramificaciones, y es el encargado de ligar la parte aérea con los órganos subterráneos de la planta. A través del tallo se transporta el agua y sales minerales, absorbidas en las raíces, y también las sustancias sintetizadas en las hojas hacia las ramificaciones de las raíces (Iwata, 1994). Las yemas permiten la identificación de las variedades, los colores del tronco y de la raíz, van desde el gris al marrón y su madera es de color amarillo. Se utiliza como colorante natural en tejidos. La pulpa se aprovecha para la elaboración de papel de baja calidad. Las ramas y la madera del tronco se emplean como leña (Rodríguez *et al.*, 2012).

Hojas. La hoja es el órgano más importante de la morera, produce la fotosíntesis y la respiración, y constituye el alimento del gusano (Iwata, 1994). Adicionalmente, la morera tiene hojas alternas, brillantes, íntegras, pecioladas, simples, y estipuladas de uno a cinco lóbulos, con el haz lampiño y el envés ligeramente tomentoso en las axilas de los nervios principales. Hay diferentes formas de hojas: cordadas, elípticas, enteras, lobuladas, ovales, o con la punta caudada, afilada, dual, obtusa o con bases en forma de retasa, emarginada, acunada o linear (Rodríguez *et al.*, 2012). El borde de las hojas es acutado-serrado, serrado mastoidal, doble serrado o serrado con cintura; se pueden observar de anchamente ovadas a orbicular-ovadas, con ápice agudo o cortamente acuminado; base oblicua y semitruncada o subcordada. Las hojas menores de 5 cm de longitud se clasifican pequeñas, características propias de moreras silvestres; medianas con longitud de hasta 10 cm y las grandes superan los 15 cm de longitud. Las más apropiadas para una explotación sericícola son las últimas, aunado a que la morera tenga ramas con entrenudos cortos. La dormancia se presenta de otoño-invierno, y brotan a inicios de año (Iwata, 1994; Rodríguez *et al.*, 2012).

Ramas. Las ramas son todos los tallos con hojas y yemas que brotan y se desarrollan durante el periodo vegetativo y cada cierta longitud se forman los nudos y entrenudos. La longitud de los entrenudos varía de acuerdo a las condiciones del manejo, del clima, de la luz y sobre todo de la variedad de la morera plantada (Iwata, 1994). Para la producción forrajera se desea que las variedades de morera tengan un crecimiento vertical sin ramificaciones tempranas. Por tal razón, en los trabajos de selección de moreras, se eligen aquellas con entrenudos cortos y sin ramificaciones laterales (Iwata, 1994; Rodríguez *et al.*, 2012).

Flores y frutos. La inflorescencia es simple, axilar, en amentos de color crema o verdosos; con pedúnculos colgantes, flores de sexos separados en la morera. Las plantas pueden ser monoicas (en un mismo árbol aparecen flores masculinas y femeninas en forma separada) o dioicas (plantas con sólo flores masculinas o femeninas). También existen flores unisexuales, formadas en espigas densas de hasta dos centímetros de largo, con cuatro sépalos (Iwata, 1994). Las espigas masculinas se caen rápidamente, las flores están arregladas descuidadamente y, después de dejar caer el polen, la inflorescencia se seca. La flor es poco vistosa y la polinización se realiza por la acción del viento (Iwata, 1994; Rodríguez *et al.*, 2012).

Los frutos son de forma cilíndrica, cada gramo contiene entre 500 y 1,000 semillas, y algunos no forman semillas, a este fenómeno se le llama partenocarpia. El color de los frutos es variable, conforme a su grado de maduración, iniciando en un tono blanco verdoso y al llegar a la maduración adquieren un tono que va del rojo oscuro al negro o bien color lila o morado (Iwata, 1994). El cultivo de moreras con un plan de podas otoñal destinado a la alimentación animal pocas veces llega a tener producción de frutos (Iwata, 1994; Rodríguez *et al.*, 2012). Los frutos de la morera son ricos en minerales, vitaminas y azúcares, convirtiéndolos en adecuada materia prima para la industria alimenticia y farmacéutica, en la elaboración de jarabes, mermeladas, jugos y como saborizante natural que se puede aprovechar en la gastronomía,

constituyendo así un importante aporte nutricional que podría incluirse en cualquier tipo de dieta animal o humana (Rodríguez *et al.*, 2012).

3.3.2. Entorno de la morera

Para el cultivo de la morera, sin importar su variedad se requiere de un intervalo de temperaturas entre 18 y 38°C; una precipitación anual de 600 a 2,500 mm; fotoperiodos de 9 a 13 horas/día y que se mantenga una humedad relativa de 65 a 80 %, el pH requerido es entre 6.5 y 6.8, aunque la morera es tiene resistencia a la acidez y la salinidad en el sustrato. La morera puede arraigarse desde el nivel del mar hasta 4,000 m de altitud. Su crecimiento se puede dar en tierras planas o con pendiente, pero tiene poca tolerancia a suelos de mal drenaje ni compactados y es una planta tiene un alto consumo de nutrientes, puede extraer hasta el 50 % de la fertilización aplicada, por lo que ésta tiene que ser permanente (Martin *et al.*, 2000).

Aunque la morera es capaz de crecer en suelos poco productivos, cuando es cultivada en suelos fértiles, con riego regular, con alto rendimiento de hojas de la alta calidad. El ciclo de cosecha de la morera es de tres meses, momento en el cual sus hojas son colectadas y procesadas para su consumo (Martínez *et al.*, 2012). Como se mencionó en la sección pasada, su cultivo fue casi siempre exclusivo para la cría de gusanos de seda; sin embargo, también fue utilizada en la medicina tradicional asiática por sus propiedades antioxidantes y nutricionales. También se ha utilizado como alimento de ganado, especialmente en la producción de leche de vacas y cabras; la producción de fruta y hasta la elaboración de recetas medicinales debido a los compuestos fenólicos y antioxidantes contenidos en la morera y que se pueden utilizar como complementos alimenticios. También se usa en la edificación de jardines, producción madera, leña y papel (Rodríguez *et al.*, 2012).

Las principales propiedades morfológicas, ecológicas y fisiológicas que se requiere para el cultivo de las moreras son elevada capacidad para tomar los nutrientes, velocidad de desarrollo vegetal, alta productividad foliar, crecimiento vertical de ramas, fortaleza y vigor en los nuevos brotes, distancia entre los nudos o yemas foliares, tamaño, forma y grosor de las hojas, resistencia a enfermedades o plagas, resistencia a sequías o frío extremo, y alta habilidad de enraizamiento (Noda *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2012).

En México, el desarrollo de la sericultura en la época colonial tuvo su epicentro en algunas zonas de Michoacán, Oaxaca, y San Luis Potosí, lugares donde se promovió la introducción de diversas variedades provenientes de Japón y Europa; sin embargo, por las variaciones del relieve nacional, y por la característica de la morera de adaptarse a diversos ambientes. Actualmente hay una amplia variedad de ejemplares productivas de los cuales se desconoce su origen varietal, lo que demanda en un futuro la necesidad de tipificar y definir las características morfo agronómicas y genómicas.

Las principales variedades de moreras que se pueden encontrar en México, y que se han documentado son SLP-1, SLP-2, SLP-3, SLP-4, SLP-5 y Kanva. Estas variedades son reproducidas principalmente por estacas o esquejes, muy requerido por los sistemas de producción animal. Pero la planta madre que sea el origen de estas estacas es preferible seleccionar una planta proveniente de semilla, debido a que así se obtiene un sistema radicular profundo, con capacidad de absorción de agua y nutrientes que permiten una elevada productividad y una longevidad de las plantaciones de morera, y una buena fuente para futuras estacas (Rodríguez *et al.*, 2012).

3.3.3. Cultivo de morera

Por la facilidad del esquejado y por el aspecto económico, es más conveniente establecer un cultivo de plantas obtenidas por estacas, debido a este tipo de propagación se pueden reproducir todas las cualidades productivas de las plantas progenitoras, y ganar tiempo para su explotación (Rodríguez *et al.*, 2012). La densidad de la plantación queda por completo al criterio del productor, pero se recomienda establecerlo como cultivo automatizado, simplificando y facilitando su manejo e incrementa la productividad. Si el terreno cuenta con pendiente, las líneas de plantación deben seguir las curvas de nivel, con una distancia de 10 cm entre cada planta, y 1 m entre cada surco. Para prevenir la erosión, la mejor distribución de estacas recomendada es a *Tres bolillo*, triángulo o escalonado (Martínez *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2012). En tierras planas se recomienda una distancia de 0.4 m entre plantas y 1 m entre cada surco (Benavides, 1995).

El requerimiento hídrico del cultivo es de aproximadamente 5 mm/día durante el periodo de mayor crecimiento vegetativo. Si se detecta que las hojas se comienzan a amarillear o se han caído puede ser por la deficiencia de agua. Los regímenes de riego convenientes para el cultivo de morera son el goteo, microaspersión y riego por gravedad, procurando una lámina equivalente a tres milímetros diarios; sin acumular agua en el terreno, a causa de que las plantas no toleran condiciones de exceso de humedad y sus raíces se pudren (Rodríguez *et al.*, 2012).

Fertilización. Los nutrientes del suelo son la fuente principal de alimento de las plantas como el nitrógeno, en forma de nitratos y sales de amonio. Es el responsable de fortalecer el desarrollo vegetativo de la planta, así como la producción de hojas. La fertilización exagerada con nitrógeno en el suelo retrasa la formación de los retoños anuales, después de los meses de septiembre u octubre. Por otro lado, la deficiencia de nitrógeno origina que las hojas sean de un verde pálido, opacas y pobres en sustancias nutritivas, especialmente en proteína cruda. Las hojas cosechadas de plantas fertilizadas con nitrógeno son más gruesas, jugosas, más tiernas y nutritivas (Rodríguez *et al.*, 2012). Debido a la fuerte demanda de nitrógeno por parte de la planta, se recomienda como opción de sembrar la morera junto con plantas con una efectiva fijación de nitrógeno, como leguminosas (Vargas, 2012).

La fertilización con fosfatos debe realizarse en el suelo, durante el otoño con el barbecho; fortalece las raíces y la resistencia general de la planta, además acelera la producción de frutos. Por su parte, el potasio es el responsable de intensificar la producción de clorofila, que es necesaria para el funcionamiento regular de la planta; su deficiencia las hace susceptibles a la infestación por hongos. Respecto al calcio, su presencia aumenta la resistencia al frío, además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo y mejora de los procesos microbiológicos.

El calcio influye sobre la resistencia general de la morera e influye directamente en el pH interior de la planta (Rodríguez *et al.*, 2012). En suelos normales, una fertilización deficiente tiende a producir salinidad por la reactividad del sodio y del magnesio. Los compuestos como el cloruro de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio o el sulfato de magnesio resultan particularmente dañinos para la morera. Otros elementos básicos para el desarrollo de la morera, son los microelementos, los cuales, aunque en cantidades pequeñas incorporados al suelo, aumentan la resistencia y productividad de las plantas; tales micronutrientes son por ejemplo el manganeso, magnesio, boro, hierro, cobre entre otros (Noda *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2012).

Poda. Después de 12 meses de la siembra se realiza la primera poda, y su frecuencia es cada 3 meses en zonas húmedas, y cada 4 meses en zonas secas, a una altura entre 0.3 y 1.5 m del suelo. La frecuencia de poda tiene un mayor efecto sobre la cosecha que la altura de la planta, por lo que es importante respetarlo (Benavides, 1995). Durante el primer año la planta puede producir alrededor del 30 % de hoja, respecto a producción plena. Al segundo año se puede alcanzar alrededor del 65 %, y el 100 % a partir del tercer año. La producción llega a su máximo a partir del cuarto año, llegando entre 10 y 15 kg por cada árbol, pudiendo llegar entre 20 a 30 toneladas por hectárea sembrada (Rodríguez *et al.*, 2012).

3.3.4. La morera como fuente de alimentación

La morera, en fresco o seco representa una excelente fuente de elementos nutricionales, ya sea como suplemento alimenticio apto para el consumo humano, o forraje para crianza de animales con fines lecheros, cárnicos o seda, como ya se ha descrito anteriormente. En la Tabla 1 se muestra los aportes nutricionales contenidos en hojas y tallos de múltiples variedades de morera.

Tabla 1. Aportes nutricionales del forraje de distintas variedades de moreras (porcentajes)

Variedad	Materia Seca	Proteína Cruda	Fibra Cruda	NFE	FND	FAD	Hemcel	Calcio	Fósforo	Ceniza	Referencia
<i>M. alba</i>	33.6	22.13	5.9	54.7	36.35	31.52	4.83	3.3	1.43	13.35	(Deshmukh et al., 1993)
<i>M. alba</i> 70 DDR	16.98	20.88	NR	NR	45.32	34.87	10.4	NR	NR	3.64	(Boschini, 2005)
<i>M. alba</i> 112 DDR	22.9	15.04	NR	NR	57.54	42.01	15.5	NR	NR	13.13	
<i>M. alba</i>	6.175	23.11	11.875	NR	35.6	NR	NR	175.6	97	14.27	(Butt et al., 2008)
<i>Morus ssp.</i>	36.54	8.47	14.04	9.16	3.72	NR	NR	NR	NR	NR	(Bamikole et al., 2005)
<i>M. alba</i>	25	16.86	NR	NR	26.2	16	10.2	3.15	0.1	2.59	(Dhiman et al., 2020)
<i>M. nigra</i>	66.4	NR	NR	NR	58.4	52.6	NR	2.6	NR	NR	
<i>TR-8</i>	6.02	7.69	NR	NR	11.3	NR	NR	56	NR	5.31	(Srivastava et al., 2006)
<i>CM</i>	7.1	9.96	NR	NR	10.69	NR	NR	74.6	NR	5.32	
<i>Haldwani local</i>	7.24	5.38	NR	NR	9.26	NR	NR	38	NR	4.26	
<i>S-34</i>	6.08	5.66	NR	NR	8.28	NR	NR	78.66	NR	4.51	
<i>S-146</i>	5.11	7.26	NR	NR	10.16	NR	NR	66.66	NR	4.54	
<i>K-2</i>	5.67	4.72	NR	NR	8.15	NR	NR	38.66	NR	5.19	

NFE: Extracto Libre de Nitrógeno, DDR: Días Después del Rebrote, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Ácida, Hemcel: Hemocelulosa, NR: No Reportado.

Por su parte, en la Tabla 2 se encuentran los aportes nutricionales de fruta de morera de diferentes variedades de moreras. La mora, tiende a ser consumida en fresco o formas procesadas como jugo, mermeladas, en almíbar, bebidas, colorantes naturales o deshidratados.

Tabla 2. Valores nutricionales de cuatro variedades de fruta de morera. Los valores presentados son porcentajes, excepto energía que son kcal/100g y el * representa peso en fresco

Variedad estudiada	Agua	Energía	Proteína	Lípidos Totales	Carbohidratos	Fibra	Calcio	Hierro	Magnesio	Fósforo	Potasio	Sodio	Zinc	Referencia
<i>M. alba</i>	87.69	43	1.44	0.39	9.8	1.7	0.04	0.002	0.018	0.038	0.194	0.01	0.00012	(Yuan y Zhao, 2017)

<i>M. alba</i>	81.72	NR	1.55	0.48	14.21	4.9	0.576	0.014 *	0.443	0.342	168.8	0.185	0.003 *	(Dhiman <i>et al.</i> , 2020)
<i>M. nigra</i>	82.4	NR	0.96	0.55	13.83	11.75	0.47	0.023	0.24	.232 *	92.2	0.127	0.006	
<i>M. rubra</i>	NR	NR	1.26 *	0.85 *	0.98 *	NR	0.132 *	3.094	0.115	.226 *	83.4	0.083	0.004	
<i>M. alba</i>	80.24	332.7	13.5	1.48	69.47	NR	0.466	0.031	0.24	0.012	1.673	0.019	0.005	(Sadia <i>et al.</i> , 2014)
<i>M. nigra</i>	80.14	330.4	10.34	1.93	75.58	NR	0.57	0.059	0.212	0.024	0.00425	0.079	0.006	
<i>M. laviegata</i>	80.37	316.8	12.41	2.42	74.09	NR	0.717	0.143	0.225	0.068	1.546	0.166	0.003	
<i>M. alba</i>	72.1	438	9.02	11.1	75.4	NR	0.146	0.059	0.207	NR	1.14	0.011	0.005	(Mehmood <i>et al.</i> , 2016)
<i>M. laviegata</i>	62.2	442	9.98	12.4	72.6	NR	0.08	0.043	0.132	NR	1.23	0.013	0.003	
<i>M. macroura</i>	71.7	434	13.1	10.9	70.7	NR	0.112	0.014	0.181	NR	1.2	0.005	0.003	
<i>M. nigra</i>	83.9	431	8.96	9.86	76.6	NR	0.0689	0.014	0.108	NR	1.09	0.015	0.002	
<i>M. serrata</i>	85.4	416	7.25	8.37	80.5	NR	0.0548	0.014	0.084	NR	1.08	0.014	0.002	
<i>M. alba</i>	NR	NR	11.5	NR	NR	NR	0.3	0.03	0.15	0.25	1.85	0.01	0.001	(Sánchez <i>et al.</i> , 2014)
<i>M. alba</i>	NR	NR	NR	NR	NR	NR	0.273	0.006	0.182	0.198	0.907	0.083	0.002	(Liang <i>et al.</i> , 2012)

NR: No Reportado

En el sector ganadero, el factor más determinante para la producción, y la consecuente obtención de beneficios, es la alimentación. Esta puede representar hasta el 70 % de los costos operativos. La alimentación varía de acuerdo a las características de la especie, del régimen de producción seleccionado por el productor (intensivo, extensivo, semi-intensivo) y del tipo de producción: carne, leche o lana. No obstante, la proteína y la energía en gran escala vienen suministrados del grano de maíz o productos de soya, componentes que en la actualidad tienen un costo elevado y son de difícil acceso para los medianos y pequeños productores. Con todo esto en mente, el mayor reto para los sistemas de producción animal es el desarrollar alternativas de alimentación que permitan tener sistemas rentables, sostenibles en el tiempo y que no sean agresivos para el medio ambiente, deseable que no dependan de los recursos importados para la explotación.

El uso de árboles forrajeros en los esquemas de alimentación animal, es una alternativa en el presente y futuro para la producción sostenible. Investigaciones en diversos países han destacado el alto contenido de proteína en las hojas de morera y los grandes rendimientos de biomasa por unidad de área. La inclusión de material vegetal proveniente de morera; hojas y ramas verdes, harinas derivadas y hasta ensilados, en la dieta de los animales, son un buen sustituto de los concentrados comerciales, además de que pueden complementar la dieta a base de forrajes fibrosos de baja calidad nutricional en los sistemas de traspasio. De acuerdo a múltiples resultados, el forraje de morera ha tenido un desempeño similar a otras fuentes de alimento como la gallinaza, o alimentos formulados (Sánchez *et al.*, 2014).

Pero sus variaciones en la acumulación de elementos como cobre o cadmio no le permiten ser la única fuente de alimento, pero sí un buen complemento para el régimen que se quiera establecer. Al añadirse hojas de morera frescas, en la dieta para vacas lecheras se ha obtenido la apropiada cantidad de proteína requerida. Por su parte, Datta et al. (2002), alimentaron vacas híbridas con hojas de morera, en lugar de paja de arroz, y se consiguió un incremento en la producción de leche de 15.1 a 20.2 litros diarios por animal, también tuvo un aporte entre el 20 y 23 % de la proteína cruda requerida por el ganado, y además se obtuvo una reducción en el periodo entre parto y concepción de 100 a 77 días.

En el caso de cabras lecheras, la alimentación suplementaria pasó de 1 al 2.6 % del peso vivo en base seca, obteniendo incrementos de 2 a 2.5 kg/día en la leche, con ligeros aumentos en los contenidos de grasa, proteína y sólidos totales de la leche (Medina *et al.*, 2004). Para que la producción lechera de cabras, sea superior a 3 kg/día debe suministrarse alrededor de 6 kg de hoja de morera y 6 kg de *King grass* de buena calidad diariamente (Rojas *et al.*, 1994). En cunicultura, es posible sustituir con hojas de morera frescas hasta el 80 % del alimento comercial, para la etapa de engorda, sin afectar la ganancia diaria, lo que reduce el costo de producción hasta en 50 %, consiguiendo un ahorro significativo para los sistemas de producción de traspatio (Martínez *et al.*, 2012).

En Colombia, Uribe (2002) reporta terneras de cuatro meses de edad con ganancias de peso diarias de 406, 437 y 406 gramos al sustituir hojas de morera al 100, 75 y 50 % del concentrado comercial (16 % de proteína cruda). Mientras que en ovinos en crecimiento al incrementar su desempeño productivo; con una ganancia de peso de alrededor de 133 g/día al suplementar con su dieta con morera (Pacheco *et al.*, 2002).

También la sustitución parcial del pienso convencional hasta 14 % puede aportar buenas ganancias de peso para cerdos en fase de crecimiento (Medina *et al.*, 2004). Esta complementación de follaje de morera para los cerdos, se recomienda tanto en la fase de inicio como en la de crecimiento y en la de acabado, lo cual representa un ahorro apreciable de proteína convencional en la dieta. Respecto a pavos, la adición de un 15 % de harina de morera en la dieta, generó una ganancia diaria en pesos de 82 g/día. Para el pollo de engorde se recomienda incluir como máximo en la ración 10 % de harina de morera, ya que niveles mayores reducen la ganancia diaria de peso (Martínez *et al.*, 2012).

3.3.5. Beneficios a la salud humana

Muchos estudios han probado los diversos aportes que tiene la morera a la salud humana, por la diversidad de sus compuestos fenólicos, tanto en frutas como en su forraje. La morera es rica en compuestos fenólicos como flavonoides, ácidos fenólicos, y antocianinas en algunos casos. Como queda evidenciado en las Tablas 1 y 2, la morera es una fuerte fuente de proteínas, también contiene aminoácidos esenciales como la valina, la glutamina, la leucina, la glicina y la lisina. En sus hojas también se han detectado micronutrientes como las vitaminas C, D, K y complejo B e incluso β -caroteno (Yuan y Zhao, 2017). Todos estos compuestos participan activamente en la contención y recuperación de diversas enfermedades en el cuerpo humano:

Actividad Antioxidante. La capacidad de la morera para inhibir a los radicales responsables del estrés oxidativo se debe a sus compuestos fenólicos. Los extractos de mora ricos en polifenoles inhiben fuertemente la oxidación de lípidos y del ácido linoleico, así como reduce radicales como DPPH, hidroxilos, ABTS o el superóxido. El potencial de la actividad antioxidante varía en función del cultivar y el fenotipo que se estudie, lo que se traduce en variaciones tanto en el contenido total de compuestos fitoquímicos, como en la identidad de los compuestos, y la sinergia entre los compuestos involucrados (Yuan y Zhao, 2017). Los principales compuestos fitoquímicos contenidos en la morera se reportan en la Tabla 3.

Tabla 3. Compuestos fitoquímicos y actividad antioxidante de la morera

Variedad	Tipo extracto	Contenido Fenoles totales (mg EAG/100 g PF)	Contenido Flavonoides Totales	DPPH	Referencia
<i>M. alba L.</i>	metanólico	0.162	0.264 mg ER/100 g PF	2.12 mM CAET/g	(Iqbal <i>et al.</i> , 2012)
<i>M. nigra</i>	metanólico	0.243	0.313 mg ER/100 g PF	1.95 mM CAET/g	
<i>M. rubra</i>	metanólico	0.206	0.33 mg ER/100 g PF	1.81 mM CAET/g	
<i>M. alba L.</i>	etanólico	6,676.6	3303 mg ER/100 g PS	12.4 IC ₅₀	(Yuan y Zhao, 2017)
<i>M. alba L.</i>	etanólico	550.3	378.2 mg ER/100 g PS	NR	
<i>M. alba L.</i>	metanólico	2820	NR	139 IC ₅₀	
<i>M. alba L.</i>	acuoso	628	302.7 mg ER/100 g PS	360 IC ₅₀	
<i>M. alba L.</i>	acuoso	54.4	27.5 mg ER/100 g PF	62.5 %	(Mehmood <i>et al.</i> , 2016)
<i>M. alba L.*</i>	acetona	13.6	20.4 mg ER/100 g PF	62.2 %	
<i>M. laevigata*</i>	acuoso	80.9	51.4 mg ER/100 g PF	39.1 %	
<i>M. laevigata*</i>	acetona	13	14.8 mg ER/100 g PF	72.4 %	
<i>M. macroura*</i>	acuoso	75.2	64.5 mg ER/100 g PF	41.3 %	
<i>M. macroura*</i>	acetona	12.1	16.5 mg ER/100 g PF	75.4 %	
<i>M. nigra*</i>	acuoso	85.6	95.8 mg ER/100 g PF	33.8 %	
<i>M. nigra*</i>	acetona	14.2	21.5 mg ER/100 g PF	93.8 %	

<i>M. alba</i> Linn	etanólico	0.05	0.16 mg ER/100 g PS	2.01 IC ₅₀	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
<i>M. multicaulis</i> Perr	etanólico	0.18	0.36 mg ER/100 g PS	1.03 IC ₅₀	
<i>M. laevigata</i> Wall	etanólico	0.1	0.19 mg ER/100 g PS	1.76 IC ₅₀	

EAG: Equivalentes de Ácido Gálico, EC: Equivalentes de Catequina, ER: Equivalentes de Rutina, CAET: Capacidad Antioxidante Equivalente al Trolox, IC₅₀: Concentración inhibitoria media, PF: Peso Fresco, NR: No Reportado, *en fruta.

Actividad Anti-aterosclerótica. En la investigación enfocada a los extractos de polifenoles de morera, se detectó la capacidad de estos extractos para detener el ciclo celular del músculo liso de la aorta torácica en ratas mediante la inducción de la producción de óxido nítrico y la activación de AMPK/p53 (Chan *et al.*, 2015). El extracto metanólico de Frs de *Morus nigra*, redujo significativamente el contenido de malondialdehído y mejoró las actividades enzimáticas antioxidantes, atenuó la esteatosis en el hígado y suprimió el desarrollo de la aterosclerosis arterial al regular las anomalías del metabolismo de los lípidos, fortalecer las actividades antioxidantes y reducir las lesiones ateroscleróticas (Jiang *et al.*, 2017).

Actividad Antidiabética. Los efectos antidiabéticos de la morera se le atribuyen a los fenoles, flavonoides y antocianinas contenidos en la fruta. Estos compuestos son potentes inhibidores de la α -glucosidasa, la α -amilasa y la difusión de glucosa. El estudio *in vivo* probó la relación entre los compuestos fenólicos y la reducción de la glucosa en sangre y la proteína sérica glicosilada. Por otro lado, los polisacáridos derivados de la fruta de *M. alba* repararon el tejido dañado en el páncreas, redujeron los niveles de glucosa en la sangre, y aumentaron significativamente el colesterol de lipoproteínas de alta densidad y colesterol de una dieta alta en grasas para ratas con diabetes tipo 2 (Jiao *et al.*, 2017).

Actividad Neuroprotectora. El extracto de mora inhibió la disfunción olfativa, mejoró los déficits motores y la degeneración de neuronas dopaminérgicas (Gu *et al.*, 2017). El morus-salbanol A es un aducto neuroprotector de DielsAlder sintetizado en la corteza de *M. alba*, en los cuales se identificaron cuatro aductos de tipo DielsAldes, el flavonoide albanina T y otros 21 compuestos fenólicos conocidos (Ha *et al.*, 2018). Los componentes extraídos de la raíz de morera demostraron su actividad contra la enfermedad de Alzheimer, en específico los aductos de tipo DielsAlder mulberrofurano G y albanol B, así como el flavonoide prenilado, kuwanon G (Choi *et al.*, 2020). Compuestos como el karpmpferol-3-O-glucósido y kaempferol-3-O-(6-malonil) glucósido, contenidos en el extracto metanólico de hojas de morera, inhiben la formación de fibrillas del péptido β -amioloide. Estos péptidos al acumularse forman una placa en el cerebro que permite el desarrollo de la neurotoxicidad de la enfermedad de Alzheimer (Kadam *et al.*, 2019).

Actividad antitumoral. El extracto acuoso de morera y paclitaxel detuvieron la propagación de cáncer de vejiga en la fase G2/M durante el ciclo celular (Chen *et al.*, 2016). El odisoano, obtenido de la morera, podría ser capaz de inhibir de forma significativa la formación de tubos en las células endoteliales vasculares de la vena umbilical humana (Lee *et al.*, 2016).

La morusina otorga las capacidades antioxidantes, antiinflamatorias, antitumorales y anticancerígenos, puede ser un tratamiento prometedor contra algunos tipos de cáncer (Memete *et al.*, 2022). Asimismo, la moruina, inhibe el crecimiento de células de cáncer de mama fue confirmado por estudios in vitro e in vivo (Li *et al.*, 2015).

Actividad inmunomoduladora. Los alcaloides contenidos en la mora mostraron su actividad inmunomoduladora. La glicoproteína disminuyó las citocinas proinflamatorias en las vías de señalización de NF- κ B y MAPK mediadas por TLR4 (Chang *et al.*, 2015). El resvatrol es un potente antioxidante con actividad antiviral probado en trastornos homeostáticos asociados con la COVID-19 con efectos terapéuticos (Gyebi *et al.*, 2022; Singh y Rao, 2021). El jugo extraído de la raíz de morera fluidifica es útil para combatir los Cestodos y otros parásitos del tracto digestivo (Vochyánová *et al.*, 2017). Los frutos de *M. alba* inducen la maduración fenotípica de las células dendríticas debido a los polisacáridos en la composición y pueden usarse como complemento en la inmunoterapia contra el cáncer de células dendríticas (Chang *et al.*, 2021).

Antiobesidad. El compuesto farnesilado 2-arilbenzofurano aislado de un extracto de morera ha probado tener un efecto antiobesidad por inhibir la proteína intracelular tirosina fosfatasa 1B (PTP1B) (Ha *et al.*, 2020). La mezcla de minerales y fitoquímicos presentes en las Fjs como 1-desoxinojirimicina (DNJ), rutina, quercetina-3-(6-malonil) glucósido, isoquercitrina, astragalina, quercetina 3-O- β glucopiranosido-7-O- α -ramnopiranosido, kaempferol-7O-glucósido, quercetin-3-O-ramnopiranosido-7-oglucopiranosido, etc., es responsable directa de los efectos antiobesidad, antiinflamatorios, antidiabéticos, anticancerígenos y nefroprotectores (Dhiman *et al.*, 2020).

3.4. Conclusiones

El follaje de morera es el método más práctico para la alimentación del ganado. Su resistencia, bajo requerimiento y rápido crecimiento la convierten en una opción atractiva para emprendimientos rurales. La morera puede ser una alternativa prometedora para la producción de alimentos y complementos alimenticios en zonas rurales, lo que podría contribuir significativamente al desarrollo económico y social de estas regiones por su alto valor nutricional y por la versatilidad de formas de uso. Por ello es necesario seguir trabajando sobre el diseño, la validación y la transferencia de tecnologías adaptativas ante la versatilidad de los productores.

El presente estudio tiene un valor académico, ya que aporta información referente a la morera (*Morus alba*), por su uso en la alimentación animal como en la salud humana. Destacándose sus propiedades nutricionales y la presencia de compuestos que le confieren un alto valor

funcional. Otro elemento a tener en cuenta es la adaptabilidad de la morera a diferentes climas, como ventaja al momento de establecer la especie en un agroecosistema dado. Por todo lo anterior y por las posibilidades de investigación que se abren con la morera, tanto para la alimentación animal como para la salud humana y animal, se considera a la morera un objeto de estudio relevante para diversas investigaciones.

Referencias

- Bamikole, M. A., Ikhatua, M. I., Ikhatua, U. J., y Ezenwa, I. V. (2005). Nutritive value of mulberry (*Morus* spp.) leaves in the growing rabbits in Nigeria. *Pakistan Journal of nutrition*, 4(4), 231-236.. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.231.236>.
- Benavides, J. (1995). Manejo y utilización de la morera (*Morus alba*) como forraje. *Aroforestaria En Las Américas*, 2(7), 27-30. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6559/Manejo_y_utilizacion_de_la_morera.pdf?sequence=1.
- Boschini, C. (2005). Nutrientes digeribles, energía neta y fracciones proteicas de la morera (*Morus alba*) aprovechables en vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 141. <https://doi.org/10.15517/am.v17i2.5154>.
- Butt, M. S., Nazir, A., Sultan, M. T., y Schroën, K. (2008). *Morus alba* L. nature's functional tonic. *Trends in Food Science and Technology*, 19(10), 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.06.002>.
- Chan, K. C., et al. (2015). Mulberry polyphenols induce cell cycle arrest of vascular smooth muscle cells by inducing NO production and activating AMPK and p53. *Journal of Functional Foods*, 15, 604-613. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.033>.
- Chang, B. Y., Kim, S. B., Lee, M. K., Park, H., y Kim, S. Y. (2015). Improved chemotherapeutic activity by morus alba fruits through immune response of toll-like receptor 4. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10), 24139-24158. <https://doi.org/10.3390/ijms161024139>.
- Chang, B. Y., Koo, B. S., y Kim, S. Y. (2021). Pharmacological activities for morus alba L., focusing on the immunostimulatory property from the fruit aqueous extract. *Foods*, 10(8), 1-18. <https://doi.org/10.3390/foods10081966>.
- Chen, N. C., et al. (2016). Promotion of mitotic catastrophe via activation of PTEN by paclitaxel with supplement of mulberry water extract in bladder cancer cells. *Scientific Reports*, 6(January), 1-13. <https://doi.org/10.1038/srep20417>.

- Choi, D. W., et al. (2020). The beneficial effects of morusin, an isoprene flavonoid isolated from the root bark of morus. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms21186541>.
- Datta, R. K., Sarkar, A., Rama, M. P., y Singhvi, N. R. (2002). Utilization of mulberry as animal fodder in India. Mulberry for animal production. *FAO Animal Production and Health Paper*, 1(147), 183–188.
- Deshmukh, S. V, Patha, N. N., Takalika, D. A., y Digraskar, S. U. (1993). Nutritional effect of mulberry (*Morus alba*) leaves as sole ration of adult rabbits. In *World Rabbit Science* (Vol. 1, Issue 2, pp. 67–69).
- Dhiman, S., et al. (2020). Bioactive compounds, health benefits and utilisation of Morus spp.– a comprehensive review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(1), 8–18. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1644969>.
- Gu, P. S., Moon, M., Choi, J. G., y Oh, M. S. (2017). Mulberry fruit ameliorates Parkinson's-disease-related pathology by reducing α -synuclein and ubiquitin levels in a 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine/probenecid model. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 39, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2016.08.014>.
- Gyebi, G. A., et al. (2022). Prevention of SARS-CoV-2 cell entry: insight from in silico interaction of drug-like alkaloids with spike glycoprotein, human ACE2, and TMPRSS2. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 40(5), 2121–2145. <https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1835726>.
- Ha, M. T., et al. (2018). Chalcone derivatives from the root bark of Morus alba L. act as inhibitors of PTP1B and α -glucosidase. *Phytochemistry*, 155(July), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.08.001>.
- Ha, M. T., et al. (2020). Inhibition of PTP1B by farnesylated 2-arylbenzofurans isolated from Morus alba root bark: unraveling the mechanism of inhibition based on in vitro and in silico studies. *Archives of Pharmacal Research*, 43(9), 961–975. <https://doi.org/10.1007/s12272-020-01269-4>.
- Iqbal, S., et al (2012). Proximate composition and antioxidant potential of leaves from three varieties of mulberry (Morus sp.): A comparative study. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 6651–6664. <https://doi.org/10.3390/ijms13066651>.
- Iwata, E. (1994). Técnica del cultivo de morera en la zona aledaña a la capital de San Luis Potosí. In *Centro Nacional de Sericicultura de México*.
- Jiang, Y., et al. (2017). Effects of the ethanol extract of black mulberry (Morus nigra L.) fruit on experimental atherosclerosis in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 200, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.02.037>.

- Jiao, Y., et al. (2017). Antidiabetic effects of *Morus alba* fruit polysaccharides on high-fat diet- and streptozotocin-induced type 2 diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 199, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.02.003>.
- Kadam, R. A., Dhumal, N. D., y Khyade, V. B. (2019). The Mulberry, *Morus alba* (L.): The Medicinal Herbal Source for Human Health. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(04), 2941–2964. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.341>.
- Lee, S. R., et al. (2016). Odisolane, a Novel Oxolane Derivative, and Antiangiogenic Constituents from the Fruits of Mulberry (*Morus alba* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(19), 3804–3809. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01461>.
- Li, H., et al. (2015). Morusin suppresses breast cancer cell growth in vitro and in vivo through C/EBP β and PPAR γ mediated lipooptosis. *Journal of Experimental and Clinical Cancer Research*, 34(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13046-015-0252-4>.
- Liang, L., et al. (2012). Chemical composition, nutritional value, and antioxidant activities of eight mulberry cultivars from China. *Pharmacognosy Magazine*, 8(31), 215–224. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.99287>.
- Martin, G. J., et al. (2000). Estudios agronómicos realizados en Cuba en *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*, 23(4), 323–332.
- Martínez, A., Juan, M. M. C., Martínez, R., y Ehsan, M. (2012). *Tópicos selectos de Sericultura*.
- Medina, M. G., Lamela, L., y García, D. E. (2004). Supervivencia de la morera (*Morus alba*) en una asociación sometida a pastoreo y corte. *Pastos y Forrajes*, 3(27), 241–245.
- Mehmood, A., Shah, M. H., Guo, X., y Khan, N. (2016). Comparison of Nutritional Value, Antioxidant Potential, and Risk Assessment of the Mulberry (*Morus*) Fruits. *International Journal of Fruit Science*, 16(2), 113–134. <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1061960>.
- Memete, A. R., et al. (2022). Phytochemical Composition of Different Botanical Parts of *Morus* Species, Health Benefits and Application in Food Industry. *Plants*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/plants11020152>.
- Noda, Y., Pentón, G., y Martín, G. (2004). Comportamiento de nueve variedades de *Morus alba* (L.) durante la fase de vivero. *Pastos y Forrajes*, 27(2), 131–138.
- Pacheco, D., Lara, P. E., y Sanginés, R. (2002). Niveles crecientes de morera (*Morus alba*) en la ración de ovinos de engorde. *I Reunión Regional Morera, Planta Multipropósito. EEPF "Indio Hatuey"*.
- Rodríguez, A., Martínez, A., Ventura, A., y Vargas, J. (2018). Adaptación de tres variedades de morera (*Morus* spp.) en el estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 671–683. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i4.1422>.

- Rodríguez, A., et al. (2012). *Manual De Sericultura en Hidalgo*.
- Rojas, H., Benavides, J. E., y Fuentes, M. (1994). Producción de leche de cabras alimentadas con pasto y suplementadas con altos niveles de morera. *Árboles y Arbustos Forrajeros En América Central*, 2, 305.
- Sadia, H., et al. (2014). Nutrient and mineral assessment of edible wild fig and mulberry fruits. *Fruits*, 69(2), 159–166. <https://doi.org/10.1051/fruits/2014006>.
- Sánchez, E. M., et al. (2014). Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *Journal of Functional Foods*, 12, 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.010>.
- Singh, K., y Rao, A. (2021). Probiotics: A potential immunomodulator in COVID-19 infection management. *Nutrition Research*, 87, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.12.014>.
- Srivastava, S., Kapoor, R., Thathola, A., y Srivastava, R. P. (2006). Nutritional quality of leaves of some genotypes of mulberry (*Morus alba*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 57(5–6), 305–313. <https://doi.org/10.1080/09637480600801837>.
- Uribe, F. (2002). Mulberry for rearing dairy heifers. *Mulberry for Animal Production. FAO Animal Production and Health Pape*, 1(147), 203–206.
- Vargas, J. (2012). Tecnologías alimenticias a base de morera (*Morus* spp.) en los sistemas de producción animal. In *Tópicos selectos de Sericultura*. (pp. 41–56).
- Vochoyánová, Z., et al. (2017). Prenylated flavonoid morusin protects against TNBS-induced colitis in rats. *PLoS ONE*, 12(8), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182464>.
- Yuan, Q., y Zhao, L. (2017). The Mulberry (*Morus alba* L.) Fruit - A Review of Characteristic Components and Health Benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (65), Issue 48. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03614>.
- Zhang, Y., et al. (2017). Antioxidant activity and the potential for cholesterol-lowering of phenolic extract of *Morus alba*, *Morus multicaulis*, and *Morus laevigata* leaves from Yunnan (China). *Journal of Food Biochemistry*, 41(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12339>.

Capítulo 4.

Aprovechamiento del desecho del proceso de nixtamalización: nuevas oportunidades para la nutrición, salud, industria y medio ambiente

María del Rocío Santamaría Cuellar ¹

Georgina Contreras Santos ²

Ixchel Parola Contreras ¹

4.1. Introducción

En México y el mundo, el maíz (*Zea mays* L.) tiene un papel preponderante en la alimentación y forma parte de la seguridad nutricional y alimentaria. Este cereal se domesticó hace más de 9,000 años en el sur de México y diseminado al mundo por la conquista europea (Erenstein *et al.*, 2022). Asimismo, se cultiva ampliamente, siendo el producto mayormente industrializado como subproductos. El cultivo llega al 40 % de la producción de cereal en la región Sub-Sahariana Africana. El maíz provee al menos 30 % del total de las calorías con una ingesta entre 52-450 gramos (g) g/persona/día en esta zona. El continente americano

¹ Tecnológico Nacional de México/TES de Chimalhuacán. División de Ingeniería Industrial. Primavera S/N, Santa María Nativitas, Chimalhuacán, Estado de México, México. ixchelparola@teschi.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México/TES de Chimalhuacán. División de Ingeniería Química. Primavera S/N, Santa María Nativitas, Chimalhuacán, Estado de México, México.

provee la extensión mayor de tierras; así como, de producción de este producto. Mientras que, en Latinoamérica, el consumo de maíz varía de 50 a 267 g/persona/día. Años tras año la producción mundial anual incrementó de 205 a 1,145 millones métricas de toneladas, este incremento se relaciona con el aumento en el rendimiento y las zonas de cultivo (Prasanna *et al.*, 2021). Estados Unidos de América (USA, con 361 millones de toneladas) y China (con 259 millones de toneladas) lideran la mitad de la producción mundial, mientras que, a nivel global, Argentina, China, Brasil, India, Indonesia, México, Ucrania y USA producen 881 millones de toneladas (Erenstein *et al.*, 2022).

La planta de maíz muestra una eficiencia fotosintética y capacidad de adaptación en diversos ambientes, incluyendo los trópicos, subtrópicos y zonas templadas, así como un amplio rango de altitudes, lo que permite su cultivo en muchos países del mundo. Los cultivos de maíz requieren 1200 L de agua por kg de producto, una cantidad menor en comparación con otros cereales. Esta característica hace que el maíz tenga una baja huella de agua por Kcal o energía nutrimental (0.41 L de agua por kcal) en comparación con otros cultivos. Se estima que un tercio de los productores a nivel mundial cultivaron maíz en 2020, variando el rendimiento asociado a los sistemas de producción (tipo de semilla, fertilizantes y otros agroquímicos), mecanización y el mercado (Wang *et al.*, 2021).

Esto ha llevado al mejoramiento del germoplasma del maíz, con la polinización cruzada y ha abierto propuestas de vigor híbrido (heterosis) en donde la progenie de los cruces entre padres endogámicos es superior a los padres originales, pero deja de lado la producción de semilla, ya que se requiere semilla nueva en cada ciclo. El maíz se distribuye como alimento de ganado, para usos no alimentarios y como alimento por su versatilidad. La diversidad del maíz es tal, que, a parte de sus múltiples usos, también existe una gran diversidad genética reflejada en el color y otros atributos como la biofortificación. Adicionalmente, las variedades reflejan las diferencias del endospermo, pericarpio, tipo de harina y núcleo. Por otro lado, el maíz utilizado para el consumo humano directo se procesa tradicionalmente en harina de maíz molida entera o refinada o masa fresca nixtamalizada que posteriormente se transforman en gachas, tortillas, cereales para el desayuno, papillas, snacks y productos de panadería (Erenstein *et al.*, 2022).

4.2. Metodología

Se revisó la literatura sobre nejayote en varios portales en línea, como Science Direct, Google Scholar, Web of Science, Scifinder, PubMed SciELO, Redalyc y el Sistema Regional de Información en línea para Revistas Científicas de América Latina y de Estados Unidos de América. La búsqueda bibliográfica se enfocó en el desecho de nejayote del proceso de nixtamalización, obtenido a partir de los resultados de experimentos de diferentes estudios

que reutilizaron y midieron las características físicas y químicas. Se incluyeron artículos de investigación originales e informes de revistas revisados por pares, hasta 2023. Esta revisión presenta los hallazgos basados en 40 publicaciones científicas relacionadas con la validación científica de la afirmación sobre los subproductos del nejayote, con énfasis en la especie *Zea mays* L. y el agua de desecho llamada nejayote. Se recopilaron y organizaron los datos en forma tabular utilizando Microsoft Word.

4.3. Resultados

Los agricultores han identificado y descrito 59 variedades o razas autóctonas de maíz criollo, conocido como maíz nativo. Han desarrollado estas variedades de manera tradicional a lo largo de generaciones debido a la selección de los agricultores. El maíz criollo se ha adaptado a terrenos y climas específicos y es común en áreas rurales y serranas del país. Su origen se remonta a la región central de México, donde se cultiva aproximadamente desde hace 10 mil años a.C. Las razas criollas de maíz están ligadas a lugares específicos y su cultivo ha disminuido en México debido a factores como la tecnificación de la agricultura, la sustitución por variedades con más rendimiento, las políticas en el mercado, la urbanización y el estrés inducido por el cambio climático; especialmente sequía, calor, inundaciones, salinidad, frío, enfermedades y plagas de insectos, que combinados afectan el rendimiento (Wang *et al.*, 2021).

Algunas de las variedades de maíz criollo en México son pepitilla, Tata de Dios, Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño, maíz criollo de la Costa Chica de Guerrero. La variante pepitilla es más difícil de rastrear debido a su baja productividad y adaptación a condiciones particulares. La variedad Tata de Dios se cultiva en zonas tórridas con escasa precipitación y en regiones templadas. Mientras que las variedades Nal Tel de Altura, Serrano, Negro de Chimaltenango y Quicheño fueron descritas inicialmente en otras regiones, pero también se han colectado o reportado en México. Adicionalmente, el maíz criollo de la Costa Chica de Guerrero ha sido insuficientemente identificada y caracterizada en diversos estudios (Pertierra *et al.*, 2019).

En México, se utiliza el maíz para elaborar tortillas, tamales, sopes y otros platillos. Durante este proceso, se emplea la antigua técnica de nixtamalización, la cual fue desarrollada por las civilizaciones maya y azteca en Mesoamérica (Argun y Argun, 2017). Se pueden emplear más de 65 variedades de maíz para llevar a cabo la nixtamalización, siendo el maíz blanco el más común y popular. No obstante, el tipo de maíz utilizado afectará factores como el tiempo de cocción, las características reológicas y las propiedades nutricionales. Cada variedad de maíz aporta atributos únicos a los alimentos preparados con nixtamal, como su color, sabor y textura, influyendo así en la calidad final del producto. Estudios realizados han demostrado

que las características fisicoquímicas de los granos de maíz criollo pueden afectar el proceso de nixtamalización (Díaz *et al.*, 2016).

En general, se requiere maíz de alta calidad para lograr la calidad deseada del nixtamal. El nixtamalizador obtiene el nixtamal a partir del proceso de nixtamalización, y prepara el producto utilizando maíz, agua y la solución alcalina generada con Ca(OH)_2 (hidróxido de calcio) y la ceniza de madera (Ca, K, Mg, Fe y Zn). La temperatura relativamente alta (cerca del punto de ebullición) y el pH (aproximadamente 12; Tabla 1) facilitan diversas conversiones de componentes del maíz como proteínas (albuminas, globulinas, glutaminas, leucina, prolaminas), lípidos y almidón (Buitimea *et al.*, 2020).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del nejayote

Característica	Valor reportado	Referencias
Materia seca (%)	1.08 -14.5	(Bedolla y Rooney, 1984)
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	8,342.5	(Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
Humedad (%)	97.72	(Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
Densidad (kg/m ³)	1,030.85–1,047.32	(Rosentrater <i>et al.</i> , 1999)
Turbidez (NTU)	538–1,072	(Castro <i>et al.</i> , 2015; Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Conductividad (µs/cm)	2424-4510	(Díaz <i>et al.</i> , 2016; Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
pH (lechada de nejayote)	11.5–11.6	(González, 1984)
pH (nejayote)	11.2-13.48	(Castro <i>et al.</i> , 2015; Téllez <i>et al.</i> , 2016)

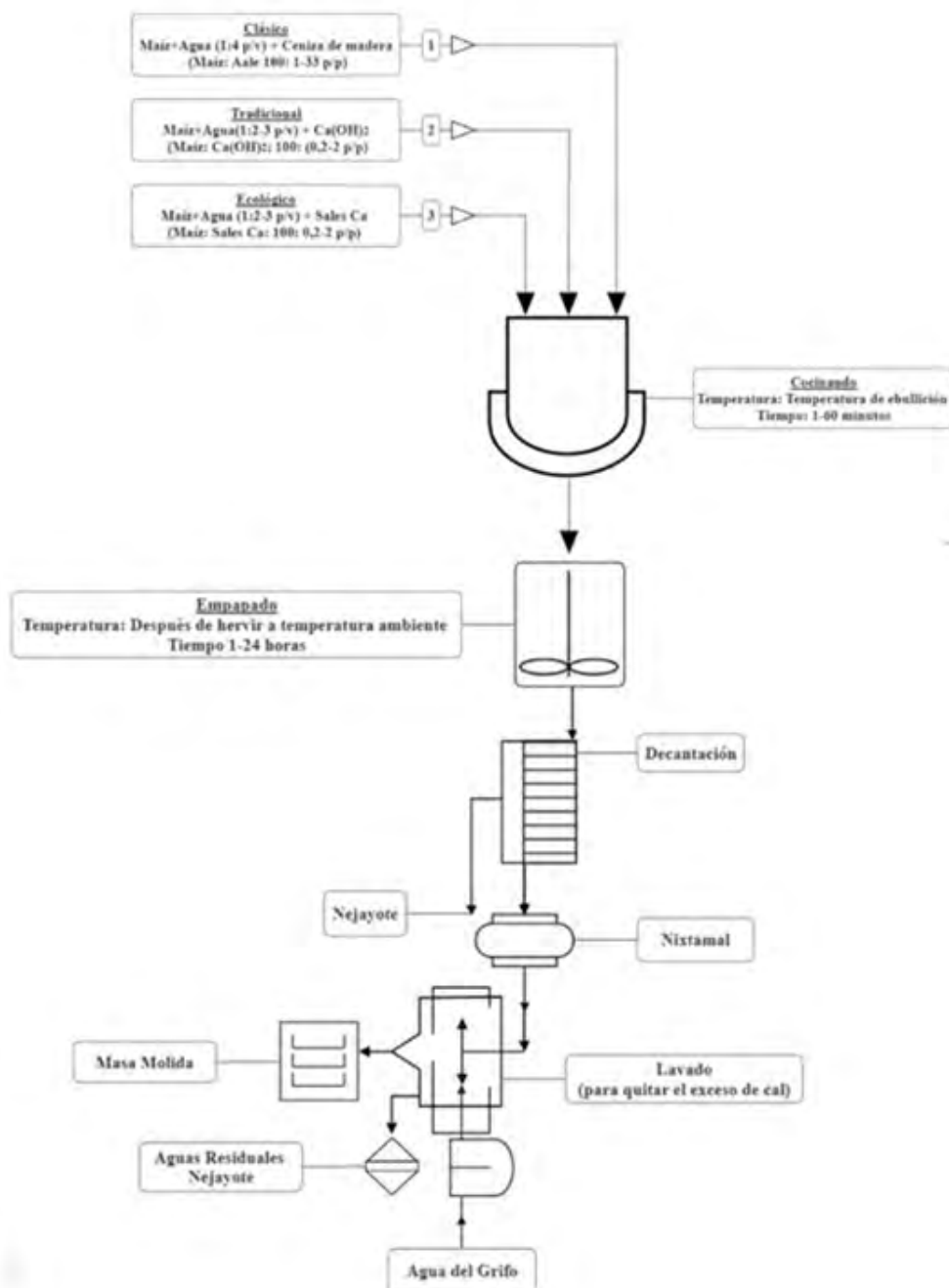
Estas propiedades varían dependiendo del tipo de maíz, fuente/cantidad de calcio, tiempos de cocción y maceración para la nixtamalización (España *et al.*, 2017).

El proceso consiste en cocer granos de maíz en una solución de cal, remojarlos, reposarlos en agua con cal, lavarlos y enjuagarlos, se muelen para obtener una harina que, al agregar agua, se vuelve masa suave y aflojada (Figura 1). La nixtamalización tiene varias ventajas nutricionales como neutralizar la acidez del maíz, lo que mejora el sabor y el aroma de los alimentos. Asimismo, aumenta la biodisponibilidad de aminoácidos, fósforo y calcio, fibra soluble y almidón resistente, mejorando la absorción de minerales; y disminuye el contenido de ácido fítico, el contenido de vitaminas, almidón y solubilidad de proteínas del maíz (Tabla 2). También, mejora la absorción de minerales. La cal es un elemento vital para la nixtamalización, ya que ayuda a obtener los beneficios mencionados (Duru, 2020).

Durante el proceso de nixtamalización, el maíz se cocina en una mezcla de agua y cal, generando grandes cantidades de aguas residuales conocidas como nejayote. Este subproducto del proceso contiene una alta cantidad de agentes orgánicos como germinales, pericarpio, estructuras celulósicas, polisacáridos sin almidón, almidón, proteínas, calcio y endospermo (TOC = 9,836 mg/l), así como materia seca que varía de 1 a 15 % y características contaminantes.

Después de cocer el maíz con la cal, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con abundante agua para eliminar el exceso de cal. El nixtamal se caracteriza por su naturaleza alcalina y altas concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos.

Figura 1. Pasos del proceso de nixtamalización adaptados de datos publicados



Fuente: Argun y Argun, 2017; Díaz *et al.*, 2016

Tabla 2. Propiedades nutrimentales del nejayote.

Característica	Valor reportado	Referencia
Fibra (%, sólidos de nejayote)	10-45.3	(Acosta <i>et al.</i> , 2014; Campechano <i>et al.</i> , 2012)
Fibra (%, nejayote)	0.581	(Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
Ácido ferúlico (mg/100 g de sólidos de nejayote)	219	(Acosta <i>et al.</i> , 2014)
Polifenoles (mg ácido gálico/l)	577-1,190	(Castro <i>et al.</i> , 2015; García <i>et al.</i> , 2017)
Calcio (%, sólidos de nejayote)	5.7	(Acosta <i>et al.</i> , 2014)
Calcio (mg/l, nejayote)	1,526-1,543	(García <i>et al.</i> , 2017; Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
Fósforo (%, nejayote)	0.015	(Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Potasio (%, nejayote)	0.001	(Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Calcio (%, nejayote)	0.941	(Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Magnesio (%, nejayote)	0.174	(Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Hierro (%, nejayote)	0.0011	(Téllez <i>et al.</i> , 2016)
Grasa (%, b.s. sólidos de nejayote)	0.74–5.76	(Rosentrater <i>et al.</i> , 1999)
Proteína (%, b.s. sólidos de nejayote)	1.3-4.90	(Pflugfelder <i>et al.</i> , 1988)
Almidón (%, b.s. sólidos de nejayote)	6.4-32.0	(Pflugfelder <i>et al.</i> , 1988)
Carbohidratos totales (mg/l)	3,470-16,020	(Castro <i>et al.</i> , 2015; García <i>et al.</i> , 2017)
Azúcares reductores totales (mg/l)	149	(García <i>et al.</i> , 2017)
Cenizas (%, b.s. sólidos de nejayote)	17.41–19.09	(Rosentrater <i>et al.</i> , 1999)
Cenizas (%, b.s. de nejayote)	17.86-47.29	(Maya <i>et al.</i> , 2009; Téllez <i>et al.</i> , 2016)

Estas propiedades varían dependiendo del tipo de maíz, fuente/cantidad de calcio, tiempos de cocción y maceración para la nixtamalización (España *et al.*, 2017).

En México, la industria de la tortilla genera una cantidad importante de nejayote anualmente; en promedio, una planta con capacidad de 600 toneladas/día de maíz produce entre 1,500 y 3,000 m³ de este subproducto y requiere cerca de 75 L de agua por cada 50 Kg de maíz (España *et al.*, 2017). En el nejayote, hay compuestos fenólicos en diferentes proporciones según el tipo de maíz. Los gránulos contienen 10 veces más ácido ferúlico libre y 8 veces más capacidad antioxidante en el maíz; mientras que la masa de maíz nixtamalizado contiene 53 veces más ácido ferúlico unido y 61 veces más capacidad antioxidante. Además, el sólido de nejayote contiene, respectivamente, aproximadamente 40 y 8 veces más capacidad antioxidante libre y 191 y 61 veces más capacidad antioxidante unida en comparación con los gránulos y la masa sin procesar. Cuanto mayor es el tiempo de cocción, mayor es el aumento de la cantidad de amilosa del almidón al nejayote (Tabla 1).

4.4. Propiedades nutraceuticas

El nejayote tiene propiedades nutraceuticas derivadas de los fitoquímicos y compuestos fenólicos presentes, como los arabinoxilanos como los ácidos hidroxicinámico, ferúlico (FA),

p-cumárico (p-CA), deshidrodiferúlico (Di-FA) y deshidrotriferúlico (Tri-FA) que tienen potencial antiinflamatorio por inhibir el NO (óxido nítrico) y antioxidante en modelos (Buitimea *et al.*, 2020).

Sin embargo, la entrega directa del nejayote posterior al proceso al entorno receptor conlleva un gran riesgo ambiental (Tabla 3). La primera aplicación de aprovechamiento del nejayote es su reúso (1:1, nejayote:agua) en la cocción alcalina para la producción de masa. Este reúso incrementó el CaCO_3 y ceniza en la masa, reológicamente mostró flexibilidad, elasticidad y pegajosidad similar a la masa de control, este reúso puede ser un método adecuado para reducir los desechos orgánicos al sistema de drenaje (Valderrama *et al.*, 2012). El nejayote es una sustancia gelatinosa que se obtiene al cocinar el maíz en agua con cal y se utiliza en diferentes preparaciones culinarias. Algunos usos comunes del nejayote son (Mora *et al.*, 2012):

- Como espesante en sopas y guisos.
- Para preparar tamales y atoles.
- Como base para salsas y aderezos.
- Como ingrediente en postres como gelatinas y flanes.
- Para dar consistencia a bebidas tradicionales como el tejate.
- En la fabricación de productos cosméticos y de belleza, debido a sus propiedades hidratantes y suavizantes para la piel.

Tabla 3. Propiedades de las aguas residuales

Característica	Valor reportado	Referencia
Carbono orgánico total (TOC, mg/l)	2,984-9,836	(Castro <i>et al.</i> , 2015; Meraz <i>et al.</i> , 2016)
DBO ₅ (mg O ₂ /l, escurrimiento del nejayote)	190-14,219	(García <i>et al.</i> , 2017; González, 1984; Valderrama <i>et al.</i> , 2012)
COD (mg O ₂ /l, escurrimiento del nejayote)	1,670-21,280	(González, 1984)
Generación total (m ³ /ton maíz)	2.5-3.3	(Salmerón <i>et al.</i> , 2003)

Estas propiedades varían dependiendo del tipo de maíz, fuente/cantidad de calcio, tiempos de cocción y maceración para la nixtamalización (España *et al.*, 2017)

4.5. Aplicaciones tópicas

Con el fin de reducir la contaminación, buscamos implementar prácticas de cocción alcalina más sostenibles y purificar el nejayote para utilizarlo en otros procesos. A pesar de que se considera un contaminante ambiental, estudios han demostrado que el nejayote contiene compuestos beneficiosos, como antioxidantes y proteínas con propiedades

antiinflamatorias. Estamos explorando varios métodos para tratar el nejayote y recuperar sus compuestos beneficiosos para su uso potencial en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y energética. Las aplicaciones del nejayote como emulsificante, aditivo (arabinosidos), alimento para pollos, fertilizante de hojas y del suelo se deben a su alto contenido de CaCO_3 y residuos sólidos (80 %), que pueden promover un aumento de peso saludable en los animales y bienestar en las plantas; además de la producción de bioetanol y bio-hidrógeno (Buitimea *et al.*, 2020; España *et al.*, 2017). Por lo tanto, aunque el nejayote es un producto de desecho, estamos estudiando sus posibles aplicaciones beneficiosas en diversos campos (Vacio *et al.*, 2020).

Debido a que el transporte nutricional de los compuestos que se encuentran en el nejayote, estos compuestos tienen el potencial de ser utilizados para diferentes propósitos al ser separados del nejayote. Otra aplicación que puede usarse de los desechos del proceso es la tópica para promover la cicatrización. Promover la cicatrización es un proceso biológico encaminado a la reparación correcta de las heridas, por medio de reacciones e interacciones celulares. Se puede dividir el proceso de cicatrización en tres fases (desbridamiento o limpieza, epitelización y remodelación). El desbridamiento comienza inmediatamente después de que se produzca la herida, el cuerpo desencadena un sistema de reparación de emergencia para frenar la pérdida de sangre y evitar la infección. Mientras que la epitelización, consiste en que la herida se va contrayendo para cerrarse, y comienza a formarse piel nueva, rosácea y delgada al principio, hasta que cubre la herida por completo y se convierte en una cicatriz.

En la fase de remodelación, el cuerpo activa la cicatrización y la cicatriz se vuelve más sólida, ajustándose a la forma de la herida original (Humala *et al.*, 2022). Diversas culturas han utilizado el nejayote como un remedio natural para acelerar la cicatrización de heridas y quemaduras debido a sus propiedades antiinflamatorias y astringentes, que ayudan a limpiar la herida y promover la formación de tejido nuevo. Para utilizar el nejayote como cicatrizante, se puede aplicar directamente sobre la herida limpia y cubrir con una gasa estéril durante algunas horas, o realizar compresas con nejayote para colocar sobre la herida y dejar actuar durante un tiempo determinado (Ramírez y Castro, 2021).

La cicatrización puede ser estética o inestética, y su apariencia puede variar según el tipo de herida y el proceso de cicatrización. En condiciones ideales, una vez finalizado el proceso de curación, la elevación de la cicatriz no debe divergir de la de la piel circundante. Sin embargo, en algunos casos, las cicatrices pueden presentar problemas físicos y psicológicos, como calor, escozor, dolor y malestar. Varios factores influyen en el proceso de cicatrización, incluyendo los factores sistémicos y locales. Los factores sistémicos incluyen la edad, la nutrición, la presencia de enfermedades crónicas, la inmunidad, el estrés, la falta de sueño, entre otros (Fernández *et al.*, 2008). Los factores locales que afectan la cicatrización incluyen la presencia de infecciones, la falta de oxígeno, la presencia de cuerpos extraños, la tensión en la herida, la falta de humedad, la mala circulación, entre otros. Además, la

cicatrización es influenciada por el tipo de herida, su tamaño, profundidad y ubicación. Cada persona puede tener una respuesta diferente a la misma herida, ya que la cicatrización es un proceso complejo y multifactorial.

Es fundamental seguir las recomendaciones médicas y proporcionar cuidados adecuados para favorecer una cicatrización óptima. Se puede acelerar el proceso de cicatrización mediante la limpieza diaria de la herida, evitando la exposición al sol, masajeando la zona, evitando estirar la piel con cremas hidratantes, y utilizando cremas cicatrizadoras (Arenas, 2003). Aunque no se ha demostrado científicamente la eficacia del nejayote como cicatrizante, algunos estudios han señalado que ciertos componentes del maíz, como los antioxidantes y los compuestos fenólicos, podrían tener efectos beneficiosos en la cicatrización de heridas. Además, se ha sugerido que el nejayote podría acelerar la cicatrización de heridas en humanos. Por lo tanto, es posible que el nejayote tenga propiedades cicatrizantes, pero se requieren más investigaciones para determinar su posible mecanismo de acción en este proceso.

Las cremas cicatrizantes ayudan a calmar, promover la restauración y proteger la piel contra el sol. Algunos compuestos químicos y alimentos han demostrado tener un impacto positivo en el proceso de cicatrización. Por ejemplo, un compuesto que se encuentra en los arándanos silvestres ha demostrado acelerar el proceso de cicatrización de heridas (Muñoz *et al.*, 2021). Además, los cítricos, que contienen una gran cantidad de vitamina C, favorecen la resistencia a infecciones, participan en la formación de colágeno y tienen propiedades antiinflamatorias, lo que puede contribuir a la cicatrización. En cuanto a los medicamentos, existen diferentes tipos de cremas y pomadas cicatrizantes que contienen ingredientes activos para acelerar el proceso de cicatrización (Gwarzo *et al.*, 2022).

La Blastoestimulina® es un medicamento de uso tópico que contiene un principio activo llamado centella asiática, el cual promueve y acelera la cicatrización de heridas, úlceras cutáneas, llagas, escaras, quemaduras, eccemas, intertrigos, heridas quirúrgicas y en el prendido e injertos cutáneos; así mismo, actúa como coadyuvante en procesos ya infectados o con peligro de contaminación. La posología recomienda la pomada Blastoestimulina® de 1 a 3 aplicaciones al día (Arribas *et al.*, 2022). La Blastoestimulina® crea una barrera para prevenir el crecimiento bacteriano en la mucosa vulvovaginal. Además, tiene un efecto antiinflamatorio que previene que las heridas se inflamen, y un efecto antibiótico que evita que la herida se infecte como consecuencia de las bacterias a las que se ve expuesta. La Blastoestimulina® es un aliado para la salud de la piel, ya que es eficaz en el tratamiento de heridas infectadas, quemaduras, úlceras cutáneas y abscesos, entre otras afecciones dermatológicas (Diniz *et al.*, 2023).

4.6. Aplicaciones al medio ambiente

El líquido del desecho del proceso de nixtamalización es el agua con un pH básico, influenciada por la presencia de cal, que puede tener varios efectos en las tuberías, entre ellos reducir la corrosión, la formación de incrustaciones, y el ajuste del pH. Sin embargo, el ajuste del pH puede usarse en el tratamiento de aguas (Castro *et al.*, 2016). Este radica en la disminución del pH ácido por medio de la presencia de la cal, que puede tener efectos beneficiosos en la eliminación de contaminantes y la desinfección del agua; se aplica al saneamiento de las aguas superficiales, que puede ser un amortiguador de los ríos (Cassano y Galanakis, 2018). El pH básico se refiere al agua que ha sido tratada con cal, lo que aumenta su pH y la hace más básica. La cal se utiliza en el tratamiento de aguas para reducir la dureza del agua, eliminar impurezas, ajustar el pH y desinfectar el agua. El agua tratada con cal (pH básico) se utiliza en el tratamiento de aguas para mejorar su calidad y hacerla más segura para su consumo y uso en diferentes aplicaciones; lo que resalta la importancia de monitorear y controlar el pH del agua en los sistemas de distribución y tratamiento (Paz *et al.*, 2019).

El ajuste de pH de las aguas en el contexto de la economía circular se relaciona con la gestión sostenible del agua y la reutilización de aguas residuales tratadas; el pH del agua es un parámetro importante que se controla en el tratamiento de aguas para garantizar sus especificaciones en los diferentes usos, como la agricultura, la industria y el consumo humano (Preisner *et al.*, 2022). La economía circular promueve la reutilización de aguas tratadas, lo que implica ajustar el pH de estas aguas para adaptarlas a los requerimientos específicos de cada uso, contribuyendo así a la gestión sostenible de los recursos hídricos y a la minimización del impacto ambiental. El ajuste de pH se realiza mediante el uso de diferentes sustancias, como la cal, ácidos u otros compuestos, con el fin de alcanzar los niveles de acidez o alcalinidad adecuados para cada aplicación específica (López y Oropeza, 2021). Este enfoque de circularidad en el sector del agua potable y saneamiento busca impulsar la resiliencia, la eficiencia y la innovación, generando evidencia para facilitar la generación de políticas de economía circular en los países (Voulvoulis, 2018). El nejayote ha sido utilizado en diversos estudios como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales debido a sus propiedades adsorbentes y su capacidad para remover contaminantes. El nejayote puede ser una alternativa efectiva y económica en el tratamiento de aguas residuales debido a su eficiente capacidad para remover nutrientes y metales pesados.

4.7. Conclusiones

En conclusión, el proceso de nixtamalización del maíz no solo es fundamental para la preparación de alimentos tradicionales, sino que también genera un subproducto llamado nejayote con propiedades nutraceuticas que pueden tener aplicaciones benéficas en diferentes sectores. Desde la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica hasta el tratamiento de aguas y la promoción de la cicatrización de heridas, el nejayote puede ser una fuente valiosa de compuestos beneficiosos. Esto resalta la importancia de explorar prácticas más sostenibles en la gestión adecuada de estos subproductos, promoviendo no solo la eficiencia en el uso de recursos, sino también la innovación y el desarrollo de aplicaciones útiles para el beneficio humano y medioambiental.

El valor académico del estudio del proceso de nixtamalización del maíz y sus subproductos, como el nejayote, radica en la comprensión de cómo este proceso ancestral puede generar compuestos beneficiosos con potencial aplicación en diversos sectores. Desde la identificación y caracterización de variedades de maíz criollo hasta la exploración de las propiedades nutraceuticas del nejayote, este estudio aporta conocimientos que pueden ser útiles para el desarrollo de prácticas más sostenibles en la gestión de subproductos agrícolas.

En cuanto a las implicaciones prácticas, el estudio sugiere que el nejayote, además de ser un subproducto del proceso de nixtamalización, puede tener aplicaciones beneficiosas en diferentes sectores, como la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica y ambiental. Estas aplicaciones pueden contribuir a la promoción de prácticas más sostenibles, la gestión adecuada de subproductos agrícolas y la innovación en el uso de recursos. Además, el estudio destaca la importancia de explorar y aprovechar el potencial de compuestos beneficiosos presentes en el nejayote para mejorar la calidad de vida de las personas y contribuir al cuidado del medio ambiente.

Referencias

- Acosta, B. A., et al. (2014). Improvement of dietary fiber, ferulic acid and calcium contents in pan bread enriched with nejayote food additive from white maize (*Zea mays*). *Journal of Cereal Science*, 60(1), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.006>.
- Arenas, J. (2003). Las heridas y su cicatrización. *Offarm: Farmacia Y Sociedad*, 22(5 (MAY)), 126–132. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5325389ISSN 0212-047X>.
- Argun, M. S., y Argun, M. E. (2017). Treatment and alternative usage possibilities of a special wastewater: Nejayote. *Journal of Food Process Engineering*, 41(1), e12609. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12609>.
- Arribas, E., Zand, N., Ojo, O., Snowden, M. J., y Kochhar, T. (2022). A Systematic Review of the Effect of Centella asiatica on Wound Healing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3266. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063266>.
- Bedolla, S., y Rooney, L. W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World*, 29(11), 732–735. <https://europepmc.org/article/AGR/IND85022082>.
- Buitimea, N. E., Antunes, M., Gutiérrez, J. A., del Refugio, M., de la Rosa, J., y Torres, P. I. (2020). Protein-phenolic aggregates with anti-inflammatory activity recovered from maize nixtamalization wastewaters (nejayote). *LWT*, 134, 109881. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109881>.
- Campechano, E. M., et al. (2011). New ecological nixtamalisation process for tortilla production and its impact on the chemical properties of whole corn flour and wastewater effluents. *International Journal of Food Science y Technology*, 47(3), 564–571. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02878.x>.
- Cassano, A., y Galanakis, C. M. (2018). Membrane technologies for the fractionation of compounds recovered from cereal processing by-products. *Elsevier EBooks*, 159–187. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102162-0.00006-x>.
- Castro, R., Barragán, B. E., y Yáñez, J. (2016). The Use of Nixtamalization Waste Waters Clarified by Ultrafiltration for Production of a Fraction Rich in Phenolic Compounds. *Waste and Biomass Valorization*, 7(5), 1167–1176. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9512-6>.
- Castro, R., Orozco, C., Cerón, G. I., y Yáñez, J. (2015). Characterization of the microfiltration process for the treatment of nixtamalization wastewaters. *Ingeniería Agrícola Y Biosistemas*, 7(1), 23–34. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2015.03.001>.

- Díaz, E., Castro, R., y Yáñez, J. (2016). An overview of nejayote, a nixtamalization by product. *Ingeniería Agrícola Y Biosistemas*, 8(2), 41–60. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2016.03.002>.
- Diniz, L. R. L., Calado, L. L., Duarte, A. B. S., y de Sousa, D. P. (2023). Centella asiatica and Its Metabolite Asiatic Acid: Wound Healing Effects and Therapeutic Potential. *Metabolites*, 13(2), 276. <https://doi.org/10.3390/metabo13020276>.
- Duru, C. E. (2020). Mineral and phytochemical evaluation of *Zea mays* husk. *Scientific African*, 7(e00224), e00224. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00224>.
- Erenstein, O., et al. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and RyD implications. *Food Security*, 14(14). <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
- España, E., et al. (2017). Corn industrial wastewater (nejayote): a promising substrate in Mexico for methane production in a coupled system (APCR-UASB). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(1), 712–722. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0479-z>.
- Fernández, V. L., Muñoz, V., Fornes, B., y Garcia, M. (2008). La cicatrización de las heridas. *Enfermería Dermatológica*, 2(3), 8–15. <https://aneditic.com/descargas/formacion-dermatologica/03/la-cicatrizacion-de-las-heridas.pdf>.
- García, O., Gómez, J., León, E., y López, A. (2017). A novel biohydrogen production process: Co-digestion of vinasse and Nejayote as complex raw substrates using a robust inoculum. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(9), 5820–5831. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.204>.
- González, S. (1984). Biological treatability of the wastewaters from the alkaline cooking of maize (Indian corn). *Environmental Technology Letters*, 5(1-11), 365–372. <https://doi.org/10.1080/09593338409384287>.
- Gwarzo, I. D., Mohd, S. P., Abdul, R., y Zia, A. (2022). Recent advances and future prospects in topical creams from medicinal plants to expedite wound healing: a review. *Biotechnology y Biotechnological Equipment*, 36(1), 81–93. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2053340>.
- Humala, J. X., Rengel, G. R., Crespo, M. C., y Crespo, C. S. (2022). Cicatrización de heridas. In D. Margoth Rivera (Ed.), *Suturando conocimientos en el arte de la cirugía* (pp. 79–101). Puerto Madero Editorial Académica. <https://puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/pmea/catalog/view/13/82/120>.
- López, E. A., y Oropeza, M. T. (2021). Nejayote biopolyelectrolytes multifunctionality (glucurono ferulauted arabinoxylans) in the separation of hazardous metal ions from industrial wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 423, 130210. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130210>.

- Maya, D. C., et al. (2009). Whole-grain corn tortilla prepared using an ecological nixtamalisation process and its impact on the nutritional value. *International Journal of Food Science y Technology*, 45(1), 23–28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02095.x>.
- Meraz, K. A. S., et al. (2016). Eco-friendly innovation for nejayote coagulation–flocculation process using chitosan: Evaluation through zeta potential measurements. *Chemical Engineering Journal*, 284, 536–542. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.09.026>.
- Mora, R., Robles, M., y Flores, A. (2012). Corn tortillas: Physicochemical, structural and functional. In *Maize: cultivation, uses and health benefits* (pp. 89–112). Nova Science Publishers, Inc. https://www.researchgate.net/profile/Rosalva-Mora-Escobedo/publication/287235689_Corn_tortillas_Physicochemical_structural_and_functional_changes/links/57966fde08aec89db7b85bd5/Corn-tortillas-Physicochemical-structural-and-functional-changes.pdf#page=103.
- Muñoz, V., et al. (2021). An Autologous Protein-Based Topical Ointment for Hard-to-Heal Skin Wounds. *Journal of Wound, Ostomy y Continence Nursing*, 48(4), 350–355. <https://doi.org/10.1097/won.0000000000000775>.
- Paz, R., et al. (2019). Nixtamalized Maize Flour By-product as a Source of Health-Promoting Ferulated Arabinoxylans (AX). In V. R. Preedy y R. R. Watson (Eds.), *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 225–235). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814639-2.00018-6>.
- Pertierra, R., Balmaseda, C., y Villacrés, J. (2020). Technical and economic feasibility of goat supplementation with hydroponic *Zea mays* L. in Santa Elena, Ecuador. *Pastos Y Forrajes*, 43(4), 308–317. http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v43n4/en_2078-8452-pyf-43-04-326.pdf.
- Pflugfelder, R., Rooney, L., y Waniska, R. (1988). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chemistry*, 65(2), 127–132. https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1988/Documents/65_127.pdf.
- Prasanna, B. M., et al. (2021). Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(6), 1729–1752. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03773-7>.
- Preisner, M., et al. (2022). Indicators for resource recovery monitoring within the circular economy model implementation in the wastewater sector. *Journal of Environmental Management*, 304, 114261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114261>.
- Ramírez, A. K., y Castro, R. (2020). Emerging techniques assisting nixtamalization products and by-products processing: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(20), 3407–3420. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798352>.

- Rosentrater, K. A., Flores, R. A., Richard, T. L., y Bern, C. J. (1999). Physical and nutritional properties of corn masa by-product streams. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(5), 515–523. <https://pure.psu.edu/en/publications/physical-and-nutritional-properties-of-corn-masa-by-product-strea>.
- Salmerón, A., et al. (2003). Aerobic treatment of maize-processing wastewater (*nejayote*) in a single-stream multi-stage bioreactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(5), 401–406. <https://doi.org/10.1139/s03-046>.
- Téllez, V., López, J. F., Aragón, A., y Zayas, T. (2016). Application of Nejayote as a Foliar and Edaphic Fertiliser to Native Blue Maize (*Zea mays* L.) Crops. *American Journal of Plant Sciences*, 07(15), 2221–2238. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.715196>.
- Vacio, K. J., et al. (2020). Removal of nejayote contaminants with alginate and chitosan. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 497–515. <https://doi.org/10.20937/rica.53185>.
- Valderrama, C., et al. (2012). Constant pressure filtration of lime water (*nejayote*) used to cook kernels in maize processing. *Journal of Food Engineering*, 110(3), 478–486. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.018>.
- Voulvoulis, N. (2018). Water reuse from a circular economy perspective and potential risks from an unregulated approach. *Current Opinion in Environmental Science y Health*, 2, 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.01.005>.
- Wang, K., et al. (2021). Review of combine harvester losses for maize and influencing factors. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6034>.

Capítulo 5.

Análisis del potencial biotecnológico del extracto etanólico de *Allium sativum* en sistemas de producción agroecológicos

Obed Mayoral Fernández¹

Ixchel Parola Contreras²

Francisco Alexander Venegas Escarcega¹

5.1. Introducción

La producción de ajo (*Allium sativum*) en México ha experimentado un crecimiento del 11 % para el año 2023 manteniendo el rendimiento promedio de 12.75 udm/ha en los últimos 5 años (SIAP, 2022). El ajo es una hierba, originaria de Asia Central, con bulbo anual con fuerte olor y sabor, que se usa como condimento en la preparación de alimentos (Ruiz y Lázaro, 2021). En todo el mundo se cultivan intensivamente siete de 750 especies conocidas del género *Allium* después de la cebolla (Ammarellou *et al.*, 2022). En los últimos años, el consumo de ajo se

¹ Departamento de Innovación, Desarrollo e Investigación, Tecnologías AgriBest S.A. de C.V., San Luis Huexotla, Texcoco, México. aescarcega@agribest.com.mx

² Tecnológico Nacional de México/TES de Chimalhuacán, División Ingeniería Industrial, Chimalhuacán, Estado de México, México

ha incrementado en el grupo de los veganos y es un ingrediente básico en sopas, ensaladas, panes y noodles (Tasci y Koca, 2016).

China es el mayor productor de este bulbo con 24.4 millones de toneladas métricas en 2021, incrementando su producción en 2 % anualmente; seguido de India y Bangladesh (Rouf *et al.*, 2020). Debido al clima templado y días cortos de México este cultivo tiene potencial económico para su producción durante el ciclo vegetativo con una duración entre 4 y 5 meses (Sánchez *et al.*, 2021). El ajo se puede cultivar en superficies pequeñas con suelos bien drenados, prefiriendo suelos arcillosos, ricos en humus, con un rango de pH de 6-7. El ajo se propaga mediante bulbos, cuando las hojas se tornan amarillentas o parduzcas con signos de secarse, el cultivo puede cosecharse. Este procedimiento se hace arrancando la planta de raíz con un arado rural para atarse en pequeños manojos. Los bulbos se almacenan colgándolos o manteniéndolos sobre arena seca. Se sugiere la rotación de cultivos para plantarse seguido de un cultivo de cobertura densa evitando las plagas, reduciendo las enfermedades, al mismo tiempo de que generan materia orgánica en el suelo y limitar la propagación de las malezas (Ammarellou *et al.*, 2022; Atif *et al.*, 2020).

El ajo contiene una variedad de compuestos de azufre que son responsables de su olor y sabor característicos, así como de sus posibles beneficios para la salud. El bulbo contiene α -alanina, ácido aspártico, ocho aminoácidos, β -caroteno, carotenoides, flavoxantina, histidina, lisina, luteína, metionina, prolina, rubixantina, valina, serina, violaxantina, y zeaxantina (Tasci y Koca, 2016). Los compuestos órgano- sulfurados varían del diente de ajo intacto en comparación de aquellos presentes en el jugo del ajo.

Por ejemplo, γ -glutamyl-S-alk(en)il-L-cisteínas no volátiles (γ -glutamyl-S-alil-L- cisteína, γ -glutamyl-S-trans-1-propenil- L-cisteína) y sulfóxidos de S-alquenil-L-cisteína (sulfóxido de S-alil-L-cisteína (aliína), sulfóxido de S-(trans-1-propenil)-L-cisteína (isoaliína) y S-metil-L-cisteína sulfóxido (metiína) con una pequeña cantidad de S-alil cisteína (SAC)). Mientras que el ajo triturado libera la enzima alinasa de la vacuola y se transforma en tiosulfatos como la alicina (Bhatwalkar *et al.*, 2021).

Algunos de los compuestos de azufre que se encuentran en el extracto de ajo incluyen alicina, ajoene, sulfuro y disulfuro de dialilo, S-alil-l-cisteína. La alicina (tiosulfato de dialilo) es un compuesto conformado por azufre que se produce cuando se tritura o pica el ajo, con propiedades antibacterianas, antivirales, antifúngicas, y con efectos anticancerígenos (Lee *et al.*, 2012; Omar y Al-Wabel, 2010). Por su parte el ajoene es un compuesto sulfurado formado a partir de la alicina cuando el ajo se calienta o se añeja, con efectos antiinflamatorios, antiplaquetarios y anticancerígenos. Otro de estos compuestos es el sulfuro y disulfuro de dialilo encontrado en el aceite de ajo con efectos antioxidantes y antiinflamatorios. Además, el S-alil-l-cisteína es soluble en agua encontrado en el extracto de ajo, con posibles beneficios cardiovasculares (Abe *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2012; Martín *et al.*, 1995; Sánchez *et al.*, 2022).

Adicionalmente, se ha demostrado que los compuestos de azufre mencionados anteriormente tienen beneficios como pesticidas eficaces para controlar diversas plagas que dañan los cultivos, incluidos insectos y hongos, debido a las especies reactivas de azufre (RSS), sus propiedades antifúngicas, antimicrobianas, insecticidas y nematocidas. Las propiedades antimicrobianas se derivan de las RSS del ajo y que pueden utilizarse como alternativas naturales a los pesticidas sintéticos en la agricultura (Anwar *et al.*, 2017; Plata *et al.*, 2017). La actividad insecticida se deriva del aceite esencial de ajo, por la composición de sulfuro, disulfuro y tetrasulfuro de dialilo. Este aceite tiene actividad insecticida contra el escarabajo gusano de la harina, *Tenebrio molitor*.

El mecanismo de acción es producido por el olor de los compuestos volátiles, que es repulsivo para los insectos, y los productos de degradación de monosulfuros, disulfuros y trisulfuros de los tiosulfatos que son tóxicos para las plagas (Plata *et al.*, 2017). Existen varios métodos de extracción de compuestos sulfurados del ajo, incluyendo el disulfuro y el tetrasulfuro de dialilo. Aunque el extracto etanólico es uno de los más comunes, se utilizan otros métodos como la extracción con agua, hexano, y técnicas más avanzadas como la extracción asistida por ultrasonido y la extracción Soxhlet.

Sin embargo, el método de extracción etanólico es preferido por su capacidad para disolver compuestos organosulfurados de forma eficiente, económica, menor tiempo y obtención de mayor rendimiento en las concentraciones. El etanol, siendo un solvente polar, ayuda a evitar la oxidación de los compuestos durante el proceso de extracción, lo que resulta en un mayor rendimiento, un espectro más amplio y estabilidad de los metabolitos en comparación a los métodos mencionados (Adirano *et al.*, 2018).

El uso del extracto etanólico de ajo en producciones agroecológicas se justifica por el contenido de compuestos organosulfurados que tienen propiedades antimicrobianas, antifúngicas y anti-parasitarias; efectivos contra diversas plagas y enfermedades de las plantas, lo que permite su uso como un biopesticida natural, siendo benéfico tanto agronómica como ambiental.

Este tipo de extracto es relevante en sistemas agroecológicos donde se busca reducir la dependencia de pesticidas sintéticos que pueden tener efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana. Adicionalmente, promueve prácticas sostenibles, minimiza la contaminación del suelo y del agua, se reduce la acumulación de residuos químicos en los cultivos y mejora la calidad de los productos agrícolas (Juárez *et al.*, 2019; Suárez *et al.*, 2014).

Asimismo, la actividad antifúngica de los extractos y aceites de ajo tienen efecto contra varios hongos que dañan los cultivos; la actividad antifúngica *in vitro* de la alicina fue reportada para combatir *B. cinerea* y el oomycete *Phytophthora infestans* (Teixeira *et al.*, 2023). Mientras que la actividad antiviral se ha registrado en los extractos con eficacia contra el virus del fruto rugoso marrón del tomate (ToBRFV) en el ajo italiano “Vessalico” (Iobbi *et al.*, 2023; Miękus

et al., 2020; Sánchez *et al.*, 2022). Estos compuestos pueden utilizarse como alternativas naturales o verdes a los pesticidas sintéticos en la agricultura, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Anwar *et al.*, 2017). Sin embargo, la eficacia de los pesticidas a base de ajo en comparación con los pesticidas sintéticos puede variar según la aplicación específica y la plaga objetivo.

En términos de actividad insecticida, las propiedades sulfúricas son efectivas contra ácaros, coleópteros, dípteros, lepidópteros y hemípteros. Adicionalmente, la propiedad antimicrobiana sobresale por el mecanismo de la antibiosis, en el cual las bacterias colonizan las raíces, producen y suministran moléculas de antibióticos alrededor de las mismas dañando a los patógenos cerca de ellas. Este mecanismo es una forma de control biológico, por la producción de antibióticos de bajo peso molecular por antagonismo puede inhibir el crecimiento de las poblaciones de patógenos que compiten por espacio y nutrientes a la planta; así como, contribuir a la salud general del sistema radicular. Sin embargo, la eficacia varía por la adición de adyuvantes a las preparaciones (Dougoud *et al.*, 2019). Diversos estudios mostraron su uso como agente de biocontrol, como *Bacillus subtilis* que redujo la incidencia de la pudrición del tomate ocasionada por *Fusarium* (Reygaert, 2018; Chen *et al.*, 2023).

Objetivo

Definir el potencial biotecnológico del extracto etanólico de *Allium sativum* para su uso antifitopatogénico sobre *Fusarium* spp.

5.2. Metodología

5.2.1. Preparación de extracto etanólico

Previo al desarrollo de la obtención del extracto etanólico, se realizó un proceso de desinfección superficial de la materia vegetal para la eliminación de contaminantes biológicos, en la balanza digital se pesaron 500 g de ajo blanco, retirando previamente la cáscara. La materia vegetal se colocó en un contenedor y se le vertió 2.5 L de una solución de limpieza (NaClO 1 % V/V), sometiéndolos después a un proceso ultrasónico por 15 minutos, finalmente se filtró la solución de limpieza y la materia vegetal se lavó con agua destilada (Chaveste, 2006).

La preparación del extracto etanólico de *A. sativum* consistió en triturar 500 g de materia vegetal en un procesador de alimentos, posteriormente se comenzó el proceso de maceración que utilizó como solvente de extracción 4 L de una mezcla de Etanol 96°: H₂O (80:20), almacenándolo en un recipiente ámbar con cierre hermético durante un lapso de 5 días. Terminado

el proceso de maceración se realizó la filtración del bagazo con tamiz malla $\frac{1}{4}$ con diámetro de 200 mm. A continuación, el solvente de extracción recuperado de la filtración se sometió a un proceso de destilación a presión reducida con un equipo BÜCHI Rotavapor R-100 para la obtención del extracto vegetal, bajo las siguientes condiciones de operación: temperatura del baño calefactor 55°C, temperatura de condensación 4°C, presión inicial y final de 450 mBar y 70 mBar respectivamente, hasta la recuperación del 85 % V/V de solvente de extracción, el extracto etanólico de *A. sativum* se almacena en un contenedor ámbar a 4°C hasta su análisis químico (Adirano *et al.*, 2018).

5.2.2. Análisis cualitativo del extracto etanólico por GC MSD

Se realizó una solución al 5 % V/V de extracto etanólico de *A. sativum* en acetona, filtrándose una alícuota de la solución anterior con acrodiscos Nylon 0.45 μm , incorporándolos finalmente en un vial para su análisis, inyectándose al sistema GC MSD. La separación cromatográfica para la identificación de los compuestos sulfurados en el extracto etanólico de *A. sativum*, se llevó a cabo en un equipo Agilent Technologies GC 7890C acoplado a un 5977 MSD y un auto muestreador G4513A. Los datos se procesaron usando MassHunter Workstation B.04.07 Data Acquisition. La columna capilar utilizada para la separación e identificación fue HP-5MS (5 % fenilmetilpolisiloxano, 30 m x 250 μm , con espesor de película 0.25 μm , Agilent Technologies).

La temperatura del inyector y de la interfaz fue de 250°C y 300 °C respectivamente. Las temperaturas del horno fueron programadas de 45-165°C con rate de 4°C/min y Hold time de 10 min, finalmente de 165-280°C con rate de 15°C/min y Hold time de 15 min, se inyectó 1 μL de muestra disuelta en acetona con modo Split (20:1), el caudal de trabajo fue de 1 mL/min con helio como gas portador. Las condiciones del MSD fueron de 70eV como voltaje de ionización; un scan rate de 1.562 scan/seg; el rango de masas 40-500 y la temperatura del cuadrupolo y source fue de 150 y 230°C respectivamente; tipo de adquisición de datos Scan (Bañuelos *et al.*, 2018).

5.2.3. Cuantificación de disulfuro de dialilo por HPLC PDA presente en el extracto etanólico

Preparación de soluciones estándar y curva de calibración

Con el estándar primario de Diallyl disulfide ≥ 98 % (HPLC) se elaboró una solución madre con concentración de 500 $\mu\text{L/L}$, a partir de esta solución, se realizaron diluciones con concentraciones de 100 a 400 $\mu\text{L/L}$ con intervalos de concentración de 100 $\mu\text{L/L}$, utilizando una solución 50:50 H_2O : MeOH como disolvente, inyectándose al sistema por triplicado (Díaz y Jiménez, 2008).

Preparación de la muestra de extracto etanólico

Se preparó una solución con concentración de 10 % V/V de Extracto etanólico de *A. sativum* en 50:50 H_2O : MeOH , se filtró con acrodiscos de Nailon 0.45 μm , colocándolo finalmente en un vial de cromatografía, inyectándose al sistema por triplicado (Díaz y Jiménez, 2008).

Instrumentos y condiciones cromatográficas

El análisis se realizó por Cromatografía Líquida de Alta Eficacia, para esto se utilizó el equipo HPLC Waters Alliance Separations module e2695 acoplado a un 2998 PDA Detector. Los datos se procesaron usando el software Empower 3, la columna utilizada fue XSelect HSS C18 5 μm 4.6X150 mm Column PN:186004773, las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: El caudal empleado fue de 1 mL/min y se inyectó un volumen de 10 μL por muestra, la fase móvil fue un solvente de sistema binario que consistió en: H_2O (A) y Metanol (B) con elución isocrática 50:50; la temperatura de columna fue de 35°C y la longitud de onda utilizada fue de 2998 Ch1 300 nm@4.8nm. Los tiempos de retención y los cromatogramas fueron comparados con los de un estándar de alta pureza; mientras que la identificación del compuesto sulfurado *disulfuro de dialilo* se realizó con la comparación de tiempos de retención (RT) que para este caso fue de 1.907 min (Díaz y Jiménez, 2008).

5.2.4. Efecto antimicrobiano del extracto etanólico con *Fusarium spp.*

Preparación de soluciones de extracto etanólico de A. Sativum

Una vez obtenido el extracto etanólico de *A. sativum* bajo un método de maceración en un solvente de extracción de $\text{EtOH } 96^\circ$: H_2O y destilación a presión reducida, se realizaron soluciones porcentuales en agua purificada estéril al 1 %, 2 % y 3 % V/V (Suárez *et al.*, 2014).

Microorganismo utilizado y medio de cultivo empleado

Se utilizó una cepa de un microorganismo fitopatógeno *Fusarium spp*, perteneciente al banco de microorganismos de Tecnologías AgriBest S.A. de C.V., aislado en placas de agar nutritivo. Se emplearon 3 placas de agar nutritivo por concentración de extracto etanólico de *A. sativum* a someter a prueba (Suárez *et al.*, 2014).

Método de pozos en agar

Se tomó como referencia la metodología cualitativa propuesta por Rojas et al. (2005) realizando el frotis del microorganismo fitopatógeno sobre la superficie completa de los agares. Se modificó la cantidad de pozos, cuatro en total que se hicieron sobre la misma superficie del agar empleando un sacabocados previamente esterilizado y se añadieron a tres de ellos 50 µL de cada una de las soluciones (1 % V/V, 2 % V/V y 3 % V/V) del extracto etanólico de *A. sativum*, el restante funcionó como blanco absoluto. Se apartaron en reposo durante 30 min para que el extracto pudiera ser absorbido en el agar sin inconvenientes y se llevaron a incubación a 27°C por un lapso de 5 días, midiendo el halo de inhibición sobre el microorganismo fitopatógeno (Suárez *et al.*, 2014).

5.3. Resultados

5.3.1. Rendimiento del extracto etanólico de *A. sativum*

El rendimiento del proceso unitario del extracto etanólico de *A. sativum* se calculó, dando como resultado un rendimiento global de 10.2 %, en la Tabla 1 se observa el volumen inicial del macerado y el volumen final del extracto.

Tabla 1. Rendimiento de extracto etanólico de *A. sativum* por rotoevaporación.

Volumen de macerado (mL)	Volumen de extracto (mL)	Rendimiento (%)
485	52	10.72
492	49	9.96
478	48	10.04

Fuente: elaboración propia 2024

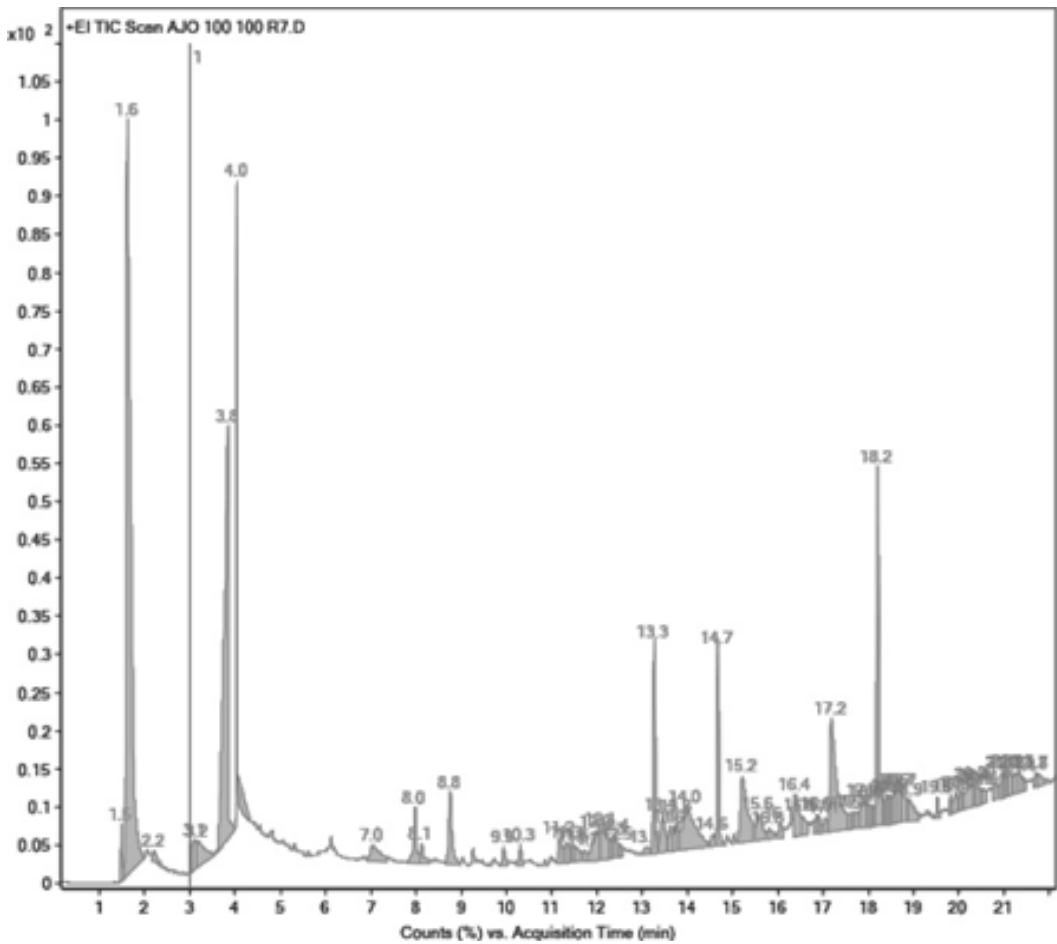
El extracto de *A. sativum* es uno de los productos medicinales y aromáticos usados en las industrias farmacéuticas, alimentaria, cosmética y agronómica, debido a esto las técnicas de extracción buscan incrementar el rendimiento de su extracción. Oke et al. (2023) obtuvieron

un rendimiento similar con la técnica de extracción asistida por microondas de *A. sativum* con un rendimiento de 10.8 % a los 6 min, 520 W. Por lo que el rendimiento global de extracción es acorde a lo reportado en la literatura.

5.3.2. Compuestos sulfurados en el extracto etanólico de *A. sativum*

Los compuestos sulfurados identificados de la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas por impacto electrónico positivo de iones totales, con tipo de adquisición de datos Scan (EI + TIC Scan), como se observa en el cromatograma de la Figura 1.

Figura 1. Cromatograma +EI TIC Scan Extracto etanólico de *A. sativum*



Fuente: elaboración propia 2024

El extracto analizado se obtuvo mediante maceración simple en etanol seguido por rotoevaporación. Este procedimiento de extracción permitió extraer los compuestos que contienen azufre. En la Tabla 2, se enumeran un total de 12 compuestos sulfurados identificados mediante el método de deconvolución e identificación de iones moleculares resultante de la pérdida de un electrón, fragmentándose, asistido por la biblioteca NIST 14. Así mismo en la Figura 2, se encuentran los compuestos sulfurados con mayor abundancia en términos de área bajo la curva dada por el método de integración, asistido del software MassHunter. Los compuestos organosulfurados formados a partir de alicina incluyen sulfuro de dialilo, disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo (Deka *et al.*, 2022). La identificación de los compuestos de azufre más comunes se logró utilizando el compuesto de referencia disulfuro de dialilo; así como, con los datos de la literatura.

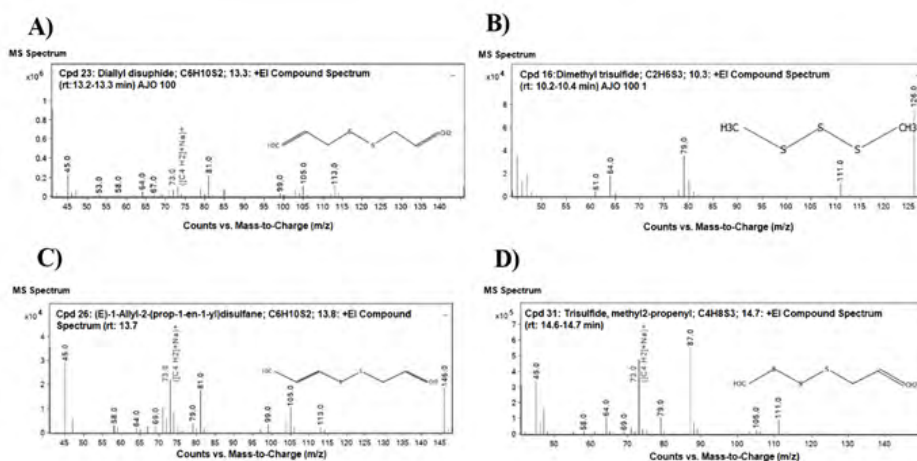
Tabla 2. Compuestos sulfurados encontrados en el extracto etanólico de *A. sativum* por GCMS

No.	Compuesto	Tiempo de retención (RT)	Fórmula molecular	Probabilidad (%)
1	Ácido acético	3.8	C ₂ H ₄ O ₂	96.84
2	Ácido propanoico	4.8	C ₃ H ₆ O ₂	89.4
3	Metanosulfonato de etilo	5.9	C ₃ H ₈ O ₂ S	85.77
4	3H-1,2-ditioi	9.9	C ₃ H ₄ S ₂	90.05
5	Trisulfuro de dimetilo	10.3	C ₂ H ₆ S ₃	96.09
6	Disulfuro de dialilo	13.3	C ₆ H ₁₀ S ₂	82.98
7	(E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) disulfano	13.8	C ₆ H ₁₀ S ₂	80.04
8	Trisulfuro de metilo 2-propenilo	14.7	C ₄ H ₈ S ₃	89.37
9	4-Metil-1,2,3-tritiolano	15	C ₃ H ₆ S ₃	79.49
10	3-vinil-1,2-ditiaciclohex-5-eno	16.4	C ₆ H ₈ S ₂	73.01
11	Trisulfuro de di-2-propenilo	18.2	C ₆ H ₁₀ S ₃	90.01
12	5-Metil-1,2,3,4-tetratiano	19.5	C ₃ H ₆ S ₄	84.94

Fuente: elaboración propia 2024

Deka et al. (2022) encontraron el disulfuro de dialilo en el tiempo de retención 16.62 min en el análisis GC-MS del aceite esencial de *A. hookeri* utilizando cromatografía de gases de Agilent Technologies equipada con una columna capilar HP-5 MS (30 mm, 0,25 mm, 0,25 µm de espesor de película) y la MS se tomó a 70 eV con m/z 45-500. Estos valores coinciden con los encontrados en esta investigación.

Figura 2. MS Spectrum: A) +EI Compound Spectrum disulfuro de dialilo. B) +EI Compound Spectrum Trisulfuro de dimetilo. C) +EI Compound Spectrum (E)-1-Alil-2-(prop-1-en-1-il) disulfano, D) +EI Compound Spectrum Trisulfuro de metilo 2-propenilo.



Fuente: elaboración propia 2024

5.3.3. Cuantificación de disulfuro de dialilo por HPLC PDA, presente en el extracto etanólico de *A. sativum*

La Tabla 3 muestra los resultados de la curva de calibración: área bajo la curva promedio de las inyecciones del estándar de alta pureza, desviación estándar y coeficiente variación, el cual indica la reproducibilidad del sistema cromatográfico y deberá ser $\% CV \leq 2 \%$.

Tabla 3. Curva de calibración disulfuro de dialilo

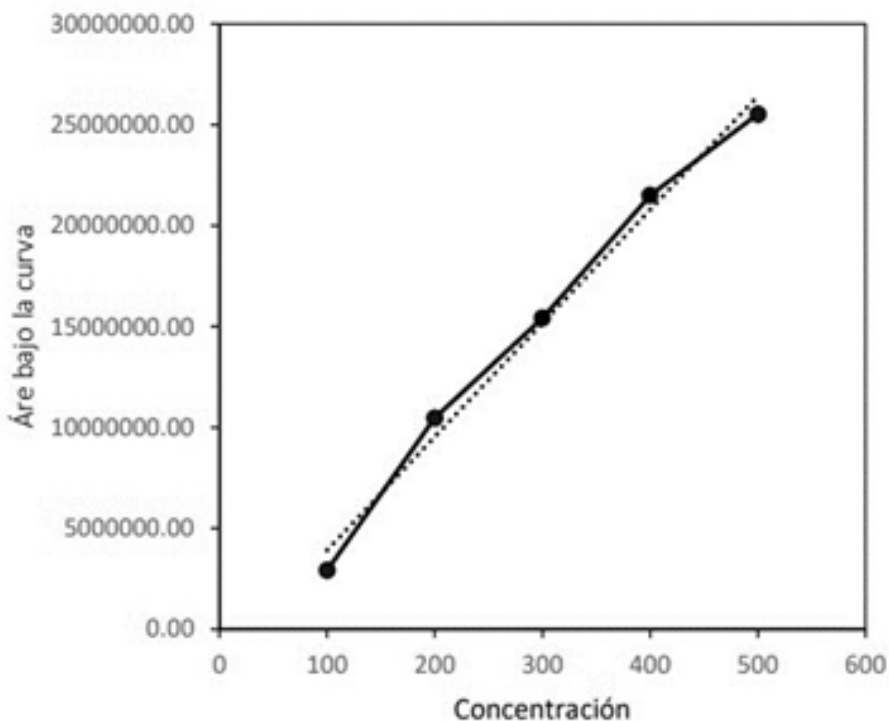
Concentración (mg/L)	Área promedio (u^2)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
100	2918063.33	10849.61	0.37
200	10465724.30	63406.48	0.61
300	17412661.70	41538.65	0.24
400	21500317.30	17404.47	0.08
500	25526233.00	31495.17	0.12

Fuente: elaboración propia 2024

Tomando los resultados de la curva de calibración como antecedente se implementó un análisis de regresión lineal de los mínimos cuadrados, con el fin de estimar los coeficientes de la ecuación lineal, resultando en la ecuación $y = 56251x - 2x + 06$, con el coeficiente

de determinación de $R^2=0.999$. En la Figura 3 se ejemplifica de manera gráfica la curva de calibración de disulfuro de dialilo.

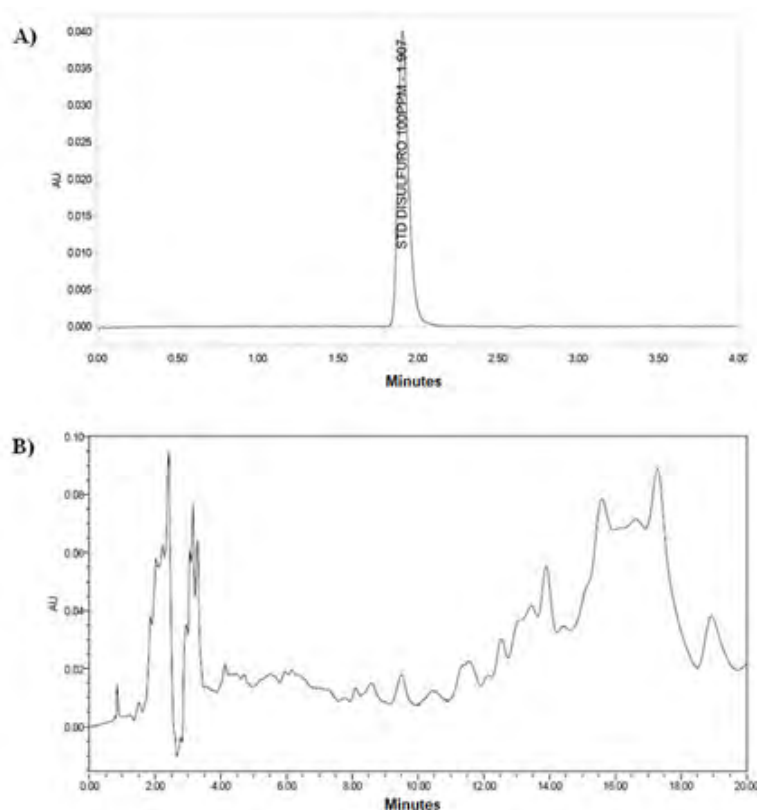
Figura 3. Curva de calibración de disulfuro de dialilo por HPLC PDA



Fuente: elaboración propia 2024

En la Figura 4, se contemplan los cromatogramas del estándar primario y la muestra del extracto etanólico de *A. sativum*, en la longitud de onda y resolución de 300 nm @ 4.8 nm, la concentración del compuesto químico disulfuro de dialilo en el extracto etanólico de *A. sativum* fue de 251 ppm.

Figura 4. A) Cromatograma del estándar primario y B) cromatograma de la muestra del extracto etanólico de *A. sativum*



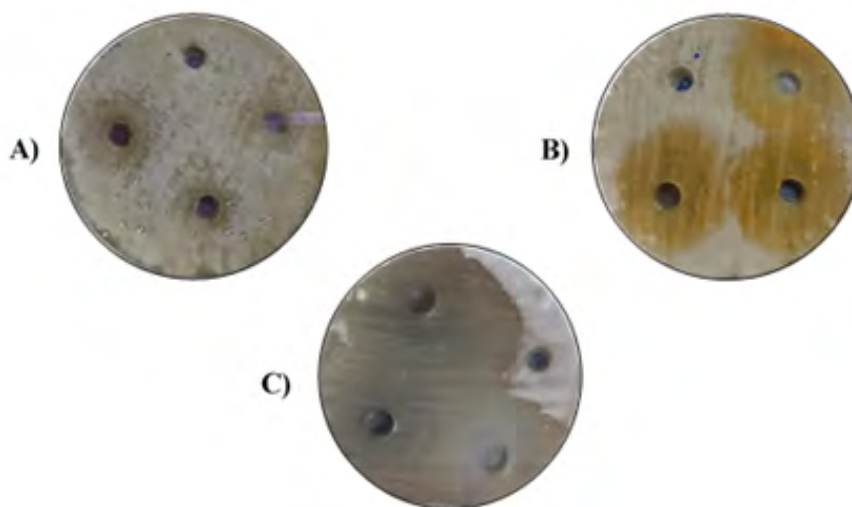
Fuente: elaboración propia 2024

5.3.4. Efecto antimicrobiano del extracto etanólico de *A. sativum* con *Fusarium spp.*

En la Figura 5, se ejemplifica el halo de inhibición efectuado por la aplicación de las tres soluciones de extracto etanólico de *A. sativum* sobre *Fusarium spp.*, en donde se midió el halo de inhibición promedio 6.3 mm, 18.2 mm y 29.4 mm de la solución al 1 % V/V, 2 % V/V y 3 % V/V de extracto etanólico en agua purificada estéril respectivamente, la solución al 3 % V/V demuestra el mayor efecto antimicrobiano en condiciones controladas de laboratorio. La efectividad del poder fungicida del ajo ha sido probado en diferentes especies, de Marcano et al. (2005), lo probó contra *Sclerotium rolfs*, junto con extractos de otras plantas con efectos similares y productos comerciales, pero el ajo fue el único tratamiento en inhibir el 100 % de la infestación en la primera semana del experimento reduciendo dicho efecto con el tiempo. Ellos se lo atribuyen a la baja concentración del extracto (5 g/L), llegando a la conclusión de que se requiere una mayor concentración o aplicaciones para lograr un mejor efecto.

Respecto a otro hongo probado en el mismo experimento, *Thielaviopsis basicola*, el extracto de ajo se comportó de manera muy similar al fungicida comercial Benomil, tanto en la inhibición del crecimiento del micelio, como la germinación de los conidios del hongo, en los 21 días del experimento.

Figura 5. A) Efecto antimicrobiano de la solución al 1 % V/V extracto etanólico de *A. sativum* sobre *Fusarium spp.*, B) Efecto antimicrobiano de la solución al 2 % V/V extracto etanólico de *A. sativum* sobre *Fusarium spp.*, C) Efecto antimicrobiano de la solución al 3 % V/V extracto etanólico de *A. sativum* sobre *Fusarium spp.*



Fuente: elaboración propia 2024

Más recientemente, Juárez et al. (2019), hizo pruebas in vitro para observar la eficiencia del extracto de ajo para el desarrollo de *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus niger* en diferentes concentraciones, siendo la concentración al 100 % la que tuvo mayor éxito contra ambos hongos. Aún las concentraciones inferiores tuvieron un efecto inhibitorio, comparado con el control, la mayor diferencia significativa fue la concentración más saturada, logrando un halo de inhibición de 22.4 mm para *Aspergillus parasiticus* y uno de 31.9 mm para *A. niger*, en las primeras 24 horas del experimento. Para las 72 horas de medición, los halos disminuyeron casi a la mitad, 12 y 15.5 mm respectivamente. En los estudios microscópicos de este trabajo, con el fin de entender la acción de los extractos del ajo con las hifas de los hongos, se observó que la cantidad de esporas germinadas era significativamente menor por la presencia de *A. sativum*, lo que indica la inhibición en la germinación de las esporas, no solo la alteración de las estructuras celulares que pueden modificar el comportamiento de las hifas.

Respecto a la efectividad sobre el método de extracción de los compuestos del ajo, Kutawa et al. (2018) probaron los métodos de extracción metanólico y acuoso, y su capacidad inhibitoria en *Fusarium spp.* y *Rhizopus spp.* a diferentes concentraciones de cada extracto. Las concentraciones más bajas, 1.5 y 2.5 mg/ml de ambos extractos tuvieron una efectividad

apenas detectable respecto al control, pero las concentraciones más altas 20 mg/ml tuvieron un mejor desempeño en el halo de inhibición, 14.3 mm para *Fusarium spp.* y 12.2 mm para *Rhizopus spp.*, en el extracto etanólico, mientras que los halos de inhibición de los extractos acuosos fueron de 9.5 y 10.4 mm, respecto a cada hongo.

En el intento por hallar una concentración mínima inhibidora de los extractos de ajo, no fue concluyente sobre si hay una concentración determinante, pero el extracto acuoso probó mejor desempeño que el etanólico. El rendimiento del extracto está fuertemente asociado al tipo de extracción que se utilice, Aguirre *et al.*, (2012) abordó este problema probando la eficiencia de la extracción acuosa, alcohólica y la hidrodestilada in vivo, con un mejor rendimiento con la extracción acuosa, esto se debe a la reacción de la pared celular con el tipo de solvente, lo que marca la difusión del solvente en el interior de la célula, siendo el agua el medio más adecuado para mantener la turgencia celular, y por tanto la manera más eficiente de transportar los compuestos azufrados del ajo en la planta que está siendo atacada por hongos.

En la comparación fungicida de eucalipto, ajo y crisantemo, Aguirre *et al.* (2012) asocia a los compuestos azufrados del ajo a la degradación de la pared celular de muchos hongos. Los compuestos azufrados intervienen la actividad de diversas enzimas como la fosfatasa alcalina, la invertasa o la ureasa, también dichos compuestos son afines a los grupos tiol de las proteínas presentes en la pared celular. Todo esto desestabiliza los canales de la membrana celular, disgrega los ribosomas y finalmente, interviene en la síntesis de los ADN mitocondriales y celulares.

5.4. Conclusiones

El extracto etanólico de *A. sativum* inhibe el crecimiento de *Fusarium spp* a partir de la concentración porcentual de 2 % V/V, puesto que dentro de su composición química contiene compuestos sulfurados, por la combinación de estructuras con átomos de azufre (S) y diferentes elementos químicos, dando como resultado la concentración de 251 ppm. Por lo tanto, el extracto etanólico de *A. sativum* ostenta un potencial biotecnológico para la fabricación de insecticidas biológicos, que no representen un riesgo para el ser humano ni al medio ambiente.

El valor académico del estudio del dialilo de sulfuro sobre las hifas de los hongos, consiste en la acción de las propiedades del ajo combaten y disminuyen las poblaciones de algunos hongos patógenos como lo es *Fusarium spp.* y que el extracto etanólico del ajo tiene potencial con aplicación en diversos sectores. Desde su uso en la industria hasta la exploración de las

propiedades asépticas del dialilo de sulfuro, este estudio aporta conocimientos que pueden ser útiles para el desarrollo de prácticas más sostenibles en la gestión de productos agrícolas.

Por su parte la participación en prácticas escolares, el trabajo sugiere el dialilo de sulfuro puede ser estudiado y usado para el combate de otros microorganismos patógenos como bacterias y levaduras, y que puede tener aplicaciones beneficiosas en diferentes sectores, y empoderando la parte ambiental. Estas aplicaciones pueden generar la promoción de prácticas sostenibles, la gestión adecuada de productos químicos orgánicos agrícolas y la utilización del uso de recursos orgánicos. Haciendo hincapie, en que el estudio destaca la importancia de explorar y aprovechar el potencial de los compuestos beneficiosos presentes en el extracto etanólico del ajo para mantener los cultivos de importancia económica, fortalecer la soberanía alimentaria y contribuir al cuidado del medio ambiente.

Referencias

- Abe, K., Hori, Y., y Myoda, T. (2019). Volatile compounds of fresh and processed garlic (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine*, 1585–1593. <https://doi.org/10.3892/etm.2019.8394>.
- Adirano, M. L., et al. (2018). Efecto de extractos alcohólicos de ajo (*Allium sativum*) y clavo (*Syzygium aromaticum*) en el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(3), 379-393. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1805-2>.
- Aguirre, V., Delgado, V., Anrango, M., y Díaz, N. (2012). Obtención y evaluación in vitro de la eficiencia de extractos con principios activos de eucalipto (*eucalyptus globulus*), ajo (*Allium sativum*) y crisantemo (*chrysanthemum cinerariaefolium*) como fungicidas naturales para el control de botrytis cinerea, phra. *Centro de Investigaciones Científicas (ESPE)*, 1(3), 1–17. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6840>.
- Ammarellou, A., et al. (2022). Biochemical and Botanical Aspects of *Allium sativum* L. Sowing. *BioTech*, 11(2), 1–9. <https://doi.org/10.3390/biotech11020016>.
- Anwar, A., et al. (2017). Think yellow and keep green—role of sulfanes from garlic in agriculture. *Antioxidants*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/antiox6010003>.
- Atif, M. J., et al. (2020). Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. *Plants*, 9(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/plants9020155>.
- Bañuelos, R., et al. (2018). Composición química y FTIR de extractos etanólicos de *Larrea tridentata*, *Origanum vulgare*, *Artemisa ludoviciana* y *Ruta graveolens*. *Agrociencia*, 52(3), 309-321.

- Bhatwalkar, S. B., et al. (2021). Antibacterial Properties of Organosulfur Compounds of Garlic (*Allium sativum*). *Frontiers in Microbiology*, 12(July), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.613077>.
- Chaveste, S. (2006). *Uso de Ultrasonido como Técnica Alternativa en la Desinfección de Vegetales*-Edición Única [Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo Sostenible, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey]. Repositorio institucional del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. <http://hdl.handle.net/11285/567515>.
- Chen, P., Yu, K., y He, Y. (2023). The dynamics and transmission of antibiotic resistance associated with plant microbiomes. *Environment International*, 176(May), 107986. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107986>.
- de Marcano, A., Vargas, N, y Pire, A. (2005). Efecto de extractos vegetales y fungicidas sintéticos sobre el crecimiento micelial *in vitro* de *Sclerotium rolfsii* y *Thielaviopsis basicola*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(4), 315–324.
- Deka, B., Manna, P., Borah, J. C., y Talukdar, N. C. (2022). A review on phytochemical, pharmacological attributes and therapeutic uses of *Allium hookeri*. *Phytomedicine Plus*, 2(2), 100262. <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2022.100262>.
- Díaz, L., y Jiménez, K. (2008). Validación de un método de extracción de alicina en ajo y su cuantificación por HPLC. In *Simposio de Metrólogia*, 1066(1), pp. 1–6.
- Dougoud, J., Toepfer, S., Bateman, M., y Jenner, W. H. (2019). Efficacy of homemade botanical insecticides based on traditional knowledge. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0583-1>.
- Iobbi, V., et al. (2023). Characterization of sulfur compounds and antiviral activity against Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) of Italian “Vessalico” garlic compared to other cultivars and landrace. *Lwt*, 174(July 2022), 114411. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114411>.
- Juárez, K., et al. (2019). Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium sativum*) sobre el desarrollo *in vitro* de *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus niger*. *Polibotánica*, 0(46), 99–111. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.47.8>.
- Kutawa, A. B., Danladi, M. D., y Haruna, A. (2018). Antifungal Activity of Garlic (*Allium sativum*) Extract on Some Selected Fungi. *Journal of Medicinal Herbs and Ethnomedicine*, 12–14. <https://doi.org/10.25081/jmhe.2018.v4.3383>.
- Lee, D. Y., et al. (2012). Anti-inflammatory activity of sulfur-containing compounds from garlic. *Journal of Medicinal Food*, 15(11), 992–999. <https://doi.org/10.1089/jmf.2012.2275>.
- Martín, R. A., Serrano, M. F. O., y Lopez, M. D. R. (1995). Determination of organic sulphur compounds in garlic extracts by gas chromatography and mass spectrometry. *Food Chemistry*, 53(1), 91–93. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)95792-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)95792-5).

- Miękus, N., et al. (2020). Health benefits of plant-derived sulfur compounds, glucosinolates, and organosulfur compounds. *Molecules*, 25(17), 3804. <https://doi.org/10.3390/molecules25173804>.
- Oke, E. O., et al. (2023). Microwave-assisted extraction proof-of-concept for phenolic phytochemical recovery from *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae): Optimal process condition evaluation, scale-up computer-aided simulation and profitability risk analysis. *Cleaner Engineering and Technology*, 13, 100624. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100624>.
- Omar, S. H., y Al, N. A. (2010). Organosulfur compounds and possible mechanism of garlic in cancer. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 18(1), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2009.12.007>.
- Plata, A., et al. (2017). Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports*, 7(September 2016), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep46406>.
- Reygaert, W. C. (2018). An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. *AIMS Microbiology*, 4(3), 482–501. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.3.482>.
- Rojas, J. J., García, A. M., y López, A. J. (2005). Evaluación de dos metodologías para determinar la actividad antimicrobiana de plantas medicinales. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 4(2), 28–32.
- Rouf, R., et al. (2020). Antiviral potential of garlic (*Allium sativum*) and its organosulfur compounds: A systematic update of pre-clinical and clinical data. *Trends in Food Science and Technology*, 104(April), 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.006>.
- Ruiz, L., y Lázaro, A. (2021). Physicochemical and textural properties of a Spanish traditional garlic (*Allium sativum* L.) variety: characterizing distinctive properties of “Fino de Chinchón” garlic. *European Food Research and Technology*, 247(10), 2399–2408. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03801-2>.
- Sánchez, J. L., et al. (2022). Role of Sulfur Compounds in Garlic as Potential Therapeutic Option for Inflammation and Oxidative Stress in Asthma. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24). <https://doi.org/10.3390/ijms232415599>.
- Sánchez, B., Cuevas, V., Rojas, O. P., y Bravo, M. B. (2021). Modeling the adoption of a garlic (*Allium sativum* L.) variety in Mexico through survival analysis. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 53(2), 178–192. <https://doi.org/10.48162/rev.39.051>.
- SIAP (2022). *Avance Agrícola*. Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.
- Suárez, S., Castro, A., y Ale, N. (2014). Actividad antioxidante in vitro de un extracto acuoso de *Allium Sativum* variedad Huaralino. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 308–316.

- Tasci, B., y Koca, I. (2016). Use of *Allium scorodoprasum* L. subsp. rotundum as food. *Acta Horticulturae*, 1143, 153–158. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1143.22>.
- Teixeira, A., et al. (2023). Antifungal Activity of Plant Waste Extracts against Phytopathogenic Fungi: *Allium sativum* Peels Extract as a Promising Product Targeting the Fungal Plasma Membrane and Cell Wall. *Horticulturae*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020136>.

Capítulo 6.

Potencial del chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.) en la alimentación, medicina y agricultura sostenible.

Agustin Lugo Radillo ¹
Emmanuel Garcia Ramirez ²
Cintia Itzayana Muñoz Santiago ²

6.1. Introducción

Hyptis suaveolens (L.) Poit. es una planta herbácea perteneciente a la familia Lamiaceae, conocida comúnmente como chan, bushmint, pignut, sangura o wilaiti tulsi, entre otros nombres.

¹ CONAHCyT — Facultad de Medicina y Cirugía, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Ex Hacienda de Aguilera S/N, Carr. a San Felipe del Agua, 68020, Oaxaca, Oaxaca, Mexico. alugora@conahcyt.mx

² Facultad de Medicina y Cirugía, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Ex Hacienda de Aguilera S/N, Carr. a San Felipe del Agua, 68020, Oaxaca, Oaxaca, Mexico.

Sus semillas poseen propiedades nutricionales y medicinales. A pesar de su presencia en diversas culturas y su uso histórico, la planta ha sido subutilizada en la investigación moderna, especialmente en campos como la nutrición, la medicina y la agricultura sostenible.

En la composición nutricional de las semillas de *H. suaveolens*, destaca su contenido de minerales esenciales, ácidos grasos y proteínas; perfilándose como una potencial fuente de nutrientes destacable en dietas contemporáneas. Las diferentes partes de la planta tienen diversas aplicaciones medicinales dadas por sus compuestos bioactivos; sus beneficios terapéuticos potenciales conocidos se basan en evidencias de uso tradicional y en estudios científicos recientes.

Se han reportado algunos casos y estudios que muestran el potencial del chan. Por ejemplo, investigaciones han mostrado que las semillas de chan pueden ser una fuente rica de ácidos grasos esenciales, lo que sugiere un uso prometedor en dietas saludables (Aguirre *et al.*, 2012). Además, estudios previos han mostrado que los extractos de *H. suaveolens* tienen propiedades antioxidantes (Ghaffari *et al.*, 2014) y antiinflamatorias (Mohanta *et al.*, 2023; Grassi *et al.*, 2006; Machado *et al.*, 2021) significativas. Estos hallazgos subrayan la necesidad de más investigación para validar y expandir estos beneficios potenciales.

H. suaveolens tiene el potencial de desempeñar un papel importante en la agricultura sostenible, considerando su adaptabilidad y beneficios, y su cultivo podría contribuir a la diversificación de cultivos y a la resiliencia frente al cambio climático, en el contexto de la soberanía alimentaria y la sostenibilidad ambiental; además de su potencial valorización en sistemas alimentarios y médicos modernos.

Existen pocos estudios previos sobre su uso nutricional, y aunque algunos han documentado sus beneficios potenciales, la evidencia aún es limitada y fragmentada; lo cual ocasiona, en parte, su infrautilización. Esta revisión del estado del arte del chan busca llenar estos vacíos de conocimiento proporcionando datos sólidos sobre la composición nutricional y las propiedades medicinales del chan y proporcionar una base sólida para futuras aplicaciones y desarrollos; Aún así, existe escasez de información accesible para agricultores y consumidores. Por lo tanto, es crucial investigar más a fondo las propiedades del chan y cómo podrían integrarse efectivamente en sistemas alimentarios, médicos y agrícolas modernos sostenibles.

6.2. Materiales y métodos

Para llevar a cabo la revisión exhaustiva del estado del arte sobre *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., se realizaron búsquedas sistemáticas en dos de las principales bases de datos de literatura

científica: PubMed y Google Scholar. La estrategia de búsqueda se diseñó para identificar estudios relevantes sobre la composición nutricional, propiedades medicinales, aplicaciones en la agricultura sostenible y uso histórico de *H. suaveolens*. Las palabras clave utilizadas incluyeron, más no se limitaron a, *Hyptis suaveolens* OR chan AND (nutritional composition OR medicinal properties OR sustainable agriculture OR traditional uses OR medical use OR insecticide OR pesticide OR antibiotic OR bactericide OR antiseptic OR antifungal OR bioactive compounds); en inglés y en español.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

1. Tipo de Documento: Solo se consideraron artículos científicos publicados en revistas revisadas por pares. Se excluyeron resúmenes de conferencias, tesis, reportes de proyectos y otros tipos de publicaciones no revisadas por pares.
2. Idioma: Se incluyeron artículos escritos en inglés y español.
3. Relevancia Temática: Los artículos debían abordar directamente aspectos relacionados con la nutrición, propiedades medicinales, aplicaciones agrícolas o el uso histórico de *H. suaveolens*.
4. Fecha de Publicación: No se impuso una restricción temporal específica, permitiendo así la inclusión de estudios desde los primeros registros hasta la literatura más reciente.

La selección inicial de artículos se basó en los títulos y resúmenes obtenidos de las búsquedas. Posteriormente, se realizó una revisión completa de los textos completos de los artículos seleccionados para verificar su relevancia y la calidad de la metodología empleada en cada estudio. Aquellos estudios que no cumplían con los criterios de calidad metodológica o que presentaban conflictos de interés significativos fueron descartados.

Además, se realizaron consultas bibliográficas adicionales en bases de datos especializadas, como Scopus y Web of Science, para asegurar que se cubriera la mayor cantidad de literatura posible sobre *H. suaveolens*. Los datos obtenidos se organizaron y sintetizaron para proporcionar una visión integral y detallada de los conocimientos actuales sobre esta planta.

La información recopilada se estructuró en secciones específicas dentro del capítulo del libro, incluyendo la introducción, características morfológicas y generales, composición nutricional, características fitoquímicas, uso en la medicina tradicional, propiedades farmacológicas y el potencial en la seguridad alimentaria y en la agricultura sostenible. Se realizaron análisis comparativos y se destacaron los vacíos de conocimiento identificados en la literatura existente, subrayando la necesidad de futuras investigaciones. Este enfoque metodológico aseguró una revisión exhaustiva y rigurosa de la literatura científica disponible, proporcionando una base sólida y confiable para el presente capítulo.

6.3. Resultados

Uso histórico del chan en México

Transicionando al contexto histórico, en las culturas precolombinas de Mesoamérica se usaban las semillas del chan como alimento. Como evidencia se han encontrado semillas de chan en el Templo Mayor de Tenochtitlán (Montúfar, 2007). En México, el código Mendoza señala que las semillas de chan eran muy apreciadas por las culturas prehispánicas por sus propiedades nutricionales y medicinales, y por su resistencia al ataque de hongos e insectos (Aguirre *et al.*, 2004).

Las semillas del chan se utilizan en la preparación de dos alimentos típicos de origen precolombino: el bate y el pinole (Lira *et al.*, 2016). El bate es una bebida típica de los estados de Colima, Jalisco y Nayarit; es espesa y fría, similar a un atole, que se prepara mezclando el polvo de las semillas tostadas con agua y se endulza con piloncillo (Vázquez *et al.*, 2010); en tanto que el pinole o pinol es una mezcla hecha con chan, maíz, cacao y azúcar (Coronado *et al.*, 2009); además, las semillas molidas de chan también se mezclan con harina de trigo para hacer productos horneados como galletas y pasteles (Vázquez *et al.*, 2010).

Nomenclatura científica del chan

El nombre científicamente reconocido para esta especie es *Hyptis suaveolens* (L.) Poit., según la más reciente actualización de la World Flora Online (WFO, 2024). *H. suaveolens* es comúnmente objeto de confusión nomenclatural en diversas publicaciones científicas, donde se le identifica erróneamente como *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze. Al respecto, *M. suaveolens* no figura entre sus 3 sinónimos aceptados (*Hyptis ebracteata* R.Br., *Gnoteris cordata* Raf. y *Schaueria suaveolens* (L.) Hassk.); por lo tanto, es crucial cesar el uso de *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze y los sinónimos de este último, al referirse a *H. suaveolens*, para evitar equívocos, considerando que *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze corresponde en realidad a una especie vegetal distinta (WFO, 2024).

Esta aclaración proviene de una meticulosa investigación bibliográfica realizada por los autores del presente capítulo y del análisis detallado de especímenes almacenados en herbarios de instituciones científicas internacionales reconocidas, enfatizando la importancia de adherirse a la nomenclatura botánica correcta para asegurar la precisión y coherencia en la comunicación científica.

Características morfológicas y generales de H. suaveolens

En cuanto a sus características morfológicas, *H. suaveolens* es una planta herbácea anual con una altura de 0.5-2 metros, erguida y con ramificaciones ascendentes, las cuales presentan una textura viscosa y un aroma intenso. Posee tallos cuadrados y vellosos, particularmente en la parte superior, junto con tricomas más largos y gruesos de hasta 2 mm. Las hojas a lo largo del tallo son pegajosas, con un pecíolo de 1.5 a 5.1 cm, cubierto de vello; la lámina, que mide entre 4 y 8.5 cm de largo por 2 a 5.3 cm de ancho, tiene forma de óvalo ancho a estrecho, reduciéndose en tamaño y anchura hacia el extremo superior, de textura membranosa y color verde.

Las inflorescencias, que pueden superar los 40 cm de longitud y tener un ancho de 2.5 a 4 cm en su etapa fructífera, se ubican en la parte terminal y son robustas, ramificadas, con brazos largos y erguidos. Las brácteas son pequeñas, típicamente foliosas, acompañadas de una cima axilar y a menudo una rama floral adicional. Cada cima sostiene de 3 a 6 flores con pequeñas brácteas lineales. Los pedúnculos miden entre 6 y 10 mm. Las flores son prácticamente sésiles, con un cáliz en su fase de floración de 5 a 7 mm, y en la de fructificación aumenta a 8.5-9 mm, mostrando una forma tubular-campanulada. La corola, de un tono lila-azulado, mide entre 7 y 7.7 mm, con el tubo marcado por manchas oscuras en la base del labio inferior. El gineceo carece de estilopodio. Las semillas, aproximadamente de 3.5 x 2.5 mm, son de forma redondeada, de color marrón oscuro, ligeramente rugosas y sin pelos, con una cicatriz de abscisión claramente mucilaginoso al humedecerse, típicamente desarrollándose solo dos por flor (WFO, 2024).

La germinación es viable durante todo el año, en un rango térmico de 10 a 40 °C, siendo 25 a 30 °C la temperatura ideal para su crecimiento. La propagación poblacional se intensifica tras las lluvias, a través de una reproducción tanto alógama como autógama y brotes intensos y una vigorosa proliferación desde su raíz perenne. *H. suaveolens* prospera notoriamente en campos de cultivo y baldíos, beneficiándose de su buena proliferación desde el rizoma perenne, de las características de sus semillas y de que posee aleloquímicos y aceites esenciales que le otorgan resistencia ante diversos patógenos (Raizada, 2006).

Características nutricionales

En cuanto a minerales, la semilla de chan posee fósforo (2,8 mg/g), magnesio (2,5 mg/g), calcio (2,0 mg/g) y potasio (1,8 mg/g); al respecto, sus semillas son una buena fuente de magnesio, ya que proporcionan más del 80 % de la dosis diaria recomendada para bebés y niños de 1 a 3 años, mientras que al menos el 60 % está cubierto para todas las demás edades. El contenido de fósforo se encuentra en el rango promedio en comparación con cebada, avena, arroz y trigo (Aguirre *et al.*, 2012; Gebhardt & Thomas 2002). Adicionalmente, la semilla de chan tiene un contenido de aceite del 15,82-16,11 %, cuyo principal componente es el ácido linoleico (76,1 %), un ácido graso esencial poliinsaturado (Aguirre *et al.*, 2012).

En cuanto a proteínas, estas también influyen en la calidad funcional y las propiedades de uso final del grano en el procesamiento de alimentos. La semilla de *H. suaveolens* contiene un 13.9 % de proteína; de las cuales 39 % son globulinas, 36 % son glutelinas, 24 % son albúminas, y un 1 % son prolaminas. Las globulinas de almacenamiento son la principal fracción proteica de varias semillas y constituyen alrededor del 50-90 % del contenido proteico total en las legumbres, del 70-80 % en algunos cereales como la avena y el arroz y del 40-90 % en semillas oleaginosas como el girasol (Bojórquez *et al.*, 2016). El análisis de las semillas de chan demuestra que podrían ser una fuente atractiva de proteínas, ya que proporcionan una buena cantidad de aminoácidos esenciales necesarios para los diferentes grupos de edad y contienen una gran cantidad de aminoácidos aromáticos y ramificados (Aguirre *et al.*, 2012).

En lo que respecta a las estructuras proteicas, la fracción Globulina 11S de las proteínas de estas semillas contiene secuencias peptídicas similares a dos secuencias de globulina 11S de *Sesamum indicum* (ajonjolí), a dos secuencias de proteína similar a la legumina de *Perilla frutescens* (perilla, shiso) y a una secuencia de proteína precursora de legumina de *Quercus robur* (roble); además, la legumina de *H. suaveolens* presentó similitud estructural a la globulina 11S del grano de lupino.

La purificación de globulina 11S de semillas de chan y su caracterización bioquímica sugiere que estas proteínas podrían emplearse en la industria para el desarrollo de alimentos convencionales o novedosos basados en proteínas; además, a partir de las similitudes estructurales encontradas entre las proteínas de *H. suaveolens* y otras proteínas de otras especies vegetales, nuevas moléculas podrían ser generadas para el tratamiento de algunas enfermedades; al respecto, la globulina 11S del grano de lupino está relacionada con la regulación del colesterol y la función cardiovascular; las similitudes con la legumina de *H. suaveolens* podrían tener aplicaciones en el tratamiento de diversas enfermedades cardiovasculares; además, las proteínas similares a la legumina podrían modular la respuesta inmunológica y ser útiles en enfermedades autoinmunes, como la artritis reumatoide o el lupus; adicionalmente, algunas proteínas similares a la legumina están involucradas en la regulación del crecimiento celular y la apoptosis, lo que sugiere la necesidad de investigar si este sería el caso para la proteína similar a la legumina de *H. suaveolens* (Bojórquez *et al.*, 2016).

Características fitoquímicas

H. suaveolens se caracteriza por su riqueza en alcaloides como su principal grupo de metabolitos secundarios. También contiene una variedad de compuestos bioactivos como flavonoides, fenoles, saponinas, terpenos, esteroides y taninos. Entre sus componentes específicos se incluyen diterpenos como el ácido suaveólico, suaveolol, suaveolato de metilo, y esteroides como el β -sitosterol y el ácido ursólico. También se ha destacado la presencia de compuestos fenólicos como ácido rosamarínico y rosmarinato (Oscar *et al.*, 2020).

Uso en la medicina tradicional

Desde una perspectiva etnobotánica, esta planta es usada en la medicina tradicional de diversas partes del mundo como analgésico, antibiótico, antidiabético, antidiarreico, antiespasmódico, antifúngico, antihiperuricémico, antiinflamatorio, antiparasitario, antipirético, antirreumático, antiséptico, carminativo, y para el tratamiento de amenorrea, dismenorrea, enfermedades gastrointestinales y respiratorias e influenza; además de ser usado como repelente de insectos (de Albuquerque *et al.*, 2017; Mishra *et al.*, 2011; Pålsson *et al.*, 1999 a; Rodrigues *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2007; UNAM, 2009).

Propiedades farmacológicas de las semillas de *H. suaveolens* y sus derivados

Con respecto a las propiedades farmacológicas de las semillas de *H. suaveolens*, un extracto etanólico mostró, *in vitro*, un potencial efecto hipouricémico; sin embargo, las fracciones responsables de este efecto reportadas en dicho estudio (ácidos cafeoilquínicos) poseen baja biodisponibilidad en mamíferos, por lo que se requiere determinar el efecto *in vivo* en uricemia para establecer si dichos compuestos crudos tienen un verdadero potencial uso clínico (Hsu *et al.*, 2019).

Además, los oligosacáridos y polisacáridos neutros presentes en el mucílago de la semilla de *H. suaveolens* mostraron actividad prebiótica, *in vitro*, lo cual fue debido a los residuos de galactosa disponibles externamente en las cadenas laterales de dichos sacáridos; dicha actividad prebiótica sería comparable a la generada por fructooligosacáridos (FOS), inulina, galactooligosacáridos (GOS) y glucooligosacáridos, los cuales producen cambios específicos en la composición y/o actividad de la microbiota gastrointestinal, beneficiando el bienestar y la salud del huésped (Mueller *et al.*, 2017; Praznik *et al.*, 2016). A pesar de lo anterior, los efectos biológicos de sus semillas han sido muy poco estudiados, desafortunadamente, en comparación con otras partes de la planta, las cuales han mostrado efectos biológicos diversos *in vitro* e *in vivo*.

Propiedades farmacológicas de las flores, hojas, tallos y raíces de *H. suaveolens* y sus derivados

Efectos hipoglucemiante, hipolipídico e hipocolesterolémico

Con respecto a los efectos biológicos que han sido encontrados en las flores, hojas, tallos y raíces de *H. suaveolens* y sus derivados, un extracto hidroetanólico de hojas de *H. suaveolens* produjo una reducción significativa en glucemia, colesterol total, lipoproteína de baja

densidad y lipoproteína de muy baja densidad, y un aumento significativo en lipoproteína de alta densidad, en ratas con diabetes inducida con estreptozotocina (Mishra *et al.*, 2011).

Efecto antiinflamatorio y antinociceptivo

En un contexto similar, un extracto acuoso de hojas de *H. suaveolens* mostró *in vitro* un efecto antiinflamatorio significativo en macrófagos inducidos con LPS, lo cual se concluyó posterior a producirse, la inhibición en la activación de NF- κ B, con la consiguiente disminución significativa en las citoquinas proinflamatorias IL-6, IL-1 β , y TNF- α ; y un decremento significativo en los niveles de expresión de mRNA iNOS y COX-2; además de generar un aumento significativo en los niveles intracelulares de catalasa, superóxido dismutasa, GPx y GSH, una disminución significativa en los niveles de especies reactivas de oxígeno y una disminución significativa de apoptosis (Mohanta *et al.*, 2023).

El efecto antiinflamatorio de *H. suaveolens* también se observó *in vivo*, interpretado mediante la reducción significativa del edema de oreja en ratones con aplicación tópica y local de un agente proinflamatorio, y a los que se les administraron los diterpenos suaveolol and metil suaveolato, extraídos de las hojas (Grassi *et al.*, 2006). Además de lo anterior, un extracto hexano de las partes aéreas de *H. suaveolens* mostró un efecto antiinflamatorio y gastroprotector *in vivo* en ratas, al disminuir significativamente las citoquinas proinflamatorias IL-1- β y TNF- α , incrementar significativamente los niveles de CAT, SOD, GSH e IL-10 y disminuir la infiltración de neutrófilos en la pared del colon (Machado *et al.*, 2021). De igual manera, un extracto acuoso de hojas, administrado oralmente por única vez, disminuyó significativamente la nocicepción en ratones expuestos a nocicepción química y térmica (Santos *et al.*, 2007).

Efecto gastroprotector

Adicionalmente, extractos con solventes orgánicos de las hojas, tallos y flores de *H. suaveolens* generaron una disminución significativa del área de úlceras gástricas agudas en ratas y ratones producidas por etanol, HCl/etanol, AINEs y estrés por hipotermia y sujeción (Jesus *et al.*, 2013; Vera-Arzave *et al.*, 2012). Su efecto regenerador parece no limitarse a tracto gastrointestinal, ya que un extracto etanólico de hojas, administrado oralmente por única vez, también incrementó significativamente la cicatrización de heridas en piel de ratas Wistar (Shirwaikar *et al.*, 2003).

Efecto vasorelajante

Ampliando los hallazgos farmacológicos reportados, el ácido rosmarínico contenido en *H. suaveolens*, y su derivado, el etil rosmarinato, generaron un efecto vasorelajante; en el caso del segundo, dicho efecto fue significativo en aorta torácica de rata *in vitro* (Whicha *et al.*,

2015); ello sugiere que algunas moléculas derivadas de compuestos de *H. suaveolens* podrían también tener un potencial uso en el tratamiento de hipertensión arterial.

Efecto genoprotector y citotóxico

De manera complementaria, un extracto de hojas y flores de *H. suaveolens* mostró en cultivos de *E. coli* un efecto antígenotóxico ante la exposición a luz UVA y UVB (Fuentes *et al.*, 2017). En este sentido, un aceite esencial de hojas de *H. suaveolens* mostró, *in vitro*, un efecto antiproliferativo de células humanas inmortalizadas de carcinoma de próstata (LNCaP) y de carcinoma de cérvix (HeLa) (Bayala *et al.*, 2020); de manera similar, varios compuestos derivados del extracto metanólico de sus flores mostraron una inhibición de la vía de señalización hedgehog (Arai *et al.*, 2015); lo anterior sugiere también que algunos de sus compuestos podrían tener potencial para la prevención de enfermedades crónico-degenerativas, para la prevención y tratamiento del cáncer y para el tratamiento de la obesidad (El Khatib *et al.*, 2013; Hanna *et al.*, 2019; Heller *et al.*, 2012; Suh *et al.*, 2006; Tang *et al.*, 2015).

Efecto neuroterapéutico

En el ámbito neuroterapéutico, un extracto metanólico de las hojas de *H. suaveolens* mostró potencial en modelos transgénicos en *C. elegans* de las enfermedades humanas Enfermedad Machado-Joseph y demencia frontotemporal con parkinsonismo ligada al cromosoma 17, al mejorar significativamente la motilidad e incrementar significativamente la sobrevivencia ante un incremento de estrés oxidativo (Vilasboas *et al.*, 2020). Dicha actividad antioxidante fue también observada *in vitro*, en un estudio en el que un extracto metanólico de las partes aéreas de *H. suaveolens*, significativamente disminuyó la generación de especies reactivas de oxígeno e incrementó la sobrevivencia de células de ratón (N2A) expuestas a un insulto oxidativo (Ghaffari *et al.*, 2014).

Efecto hepatoprotector y oxitócico

Adicionalmente, extractos con solventes orgánicos de las partes aéreas de *H. suaveolens* mostraron un efecto significativo hepatoprotector *in vivo* en ratas y un efecto significativo citoprotector contra H_2O_2 en cultivos de células humanas (Ghaffari *et al.*, 2012); paradójicamente, un extracto acuoso de hojas de *H. suaveolens* también mostró actividad inhibitoria de las enzimas CYP2B6 (Ekow *et al.*, 2018; Thomford *et al.*, 2016), CYP3A4 y CYP1A2 (Ekow *et al.*, 2018), lo cual necesita tomarse en cuenta al consumir esta planta de manera concomitante con medicamentos metabolizados por dichas enzimas, ya que sus concentraciones en sangre podrían variar y afectar su efecto terapéutico y/o potenciar sus efectos secundarios (Ekow *et al.*, 2018; Thomford *et al.*, 2016). Por otra parte, un extracto de hojas de *H. suaveolens* indujo significativamente *in vitro* incrementos sostenidos en la contracción de células de músculo liso miométrial (Attah *et al.*, 2007).

Efecto antimicrobiano

Con respecto al potencial antimicrobiano de *H. suaveolens*, los aceites esenciales de las partes aéreas mostraron *in vitro* actividad antibacteriana y antifúngica [contra *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* (da Silva *et al.*, 2017; Xu *et al.*, 2013), contra *Pseudomonas aeruginosa*, *Fusarium graminearum*, *Botrytis cinerea*, *Exerohilum turcicum*, *Lecanosticta acicola* (Xu *et al.*, 2013) y contra *Aspergillus* (Pessoa Moreira *et al.*, 2013)]; de manera similar, algunos aceites esenciales de *H. suaveolens* mostraron actividad significativa como inhibidor de *quorum sensing* en *E. coli* (Cervantes *et al.*, 2015). Igualmente, un extracto de hojas de *H. suaveolens* mostró actividad antimicrobiana contra las bacterias Gram-positivas *S. aureus* y *B. subtilis* (Rojas *et al.*, 1992) y los extractos acuosos de hojas, tallo y flores de *H. suaveolens* mostraron un efecto antifúngico *in vitro* significativo (contra *Candida albicans*); con respecto a este último, ello también sugiere que los tallos y flores contienen una mayor concentración de moléculas antifúngicas que las hojas (Rodrigues *et al.*, 2020).

Similarmente, algunos diterpenos tipo abietano de *H. suaveolens* mostraron un efecto inhibitorio contra micobacterias; sin embargo, dicho efecto fue débil y los autores de dicho estudio no indican si el efecto fue o no estadísticamente significativo (Prawatsri *et al.*, 2013); en este sentido, un diterpeno tipo abietano de sus hojas, mostró un efecto significativo antiplasmódico (por lo menos contra *Plasmodium falciparum*) *in vitro* (Chukwujekwu *et al.*, 2005).

Efecto insecticida, larvicida, inhibidor de aflatoxinas y fitotóxico de *H. suaveolens* y sus derivados

Por otro lado, explorando las propiedades insecticidas de *H. suaveolens*, algunos de sus aceites esenciales han mostrado actividad significativa como repelente de insectos (contra *Ulomoides dermestoides*) (Cervantes *et al.*, 2015), y como insecticida y reductor de oviposición del insecto *Callosobruchus maculatus* (Kéïta *et al.*, 2000); con respecto a estos dos últimos efectos, Obembe y Kayode (2013) mostraron que también el extracto crudo acuoso de las hojas los produce, además de que también mantiene su efectividad por al menos 90 días post-aplicación; de igual manera, el extracto acuoso de hojas mostró un efecto insecticida contra larvas de *Helicoverpa armigera* (Bini *et al.*, 2023). En un contexto similar, Jaya (2014) observó un efecto insecticida del 100 % contra *Tribolium castaneum* usando el aceite esencial de *H. suaveolens*. Finalmente, Ashitani *et al.* (2015) reportaron la actividad de estos aceites esenciales como repelentes efectivos contra las ninfas de la garrapata *Ixodes ricinus*, ampliando aún más el espectro de aplicaciones biológicas de *H. suaveolens*.

Adicionalmente, centrando la atención en el control de mosquitos, *H. suaveolens* ha mostrado su potencial como agente larvicida y adulticida en el control de diversas especies de mosquitos. Peniche *et al.* (2022) mostraron un efecto larvicida significativo del aceite esencial de esta

planta contra *Culex quinquefasciatus*, mientras que el aceite esencial de sus hojas mostró actividad significativa larvicida (Adelaja *et al.*, 2023) y adulticida contra el mosquito *Anopheles gambiae* (Wangrawa *et al.*, 2018; Adelaja *et al.*, 2023).

Además, Hari y Mathew (2018), Aremu *et al.* (2022) y Kovendan *et al.* (2012), identificaron efectos larvicidas significativos de los extractos crudos de *H. suaveolens* contra *Ae. aegypti* y *Cx. quinquefasciatus*; dichos resultados sugieren que el mecanismo de este efecto larvicida podría estar dado por una reducción significativa en la actividad enzimática de glutatión, glutatión-S-transferasa y superóxido dismutasa y por un incremento significativo en la actividad enzimática de catalasa y fosfatasa alcalina y/o por genotoxicidad de los extractos (Aremu *et al.*, 2022); al respecto, Elumalai *et al.* (2017) también observaron un efecto anti-larvario significativo del extracto acuoso de hojas contra *A. stephensi*, *A. aegypti* y *C. quinquefasciatus*. Por último, Pålsson y Jaenson (1999a, 1999b) reportaron actividad repelente significativa de esta planta, tanto en su forma quemada como en su forma fresca, contra mosquitos de los géneros *Anopheles*, *Mansonia* y *Culex*; hasta el momento se desconoce su efectividad contra otros géneros de mosquitos.

Abordando la conservación de alimentos, el polvo de las hojas de *H. suaveolens* inhibió significativamente la producción de aflatoxina B1 por *Aspergillus flavus* en granos de soya (Krishnamurthy *et al.*, 2006), lo cual sugiere que *H. suaveolens* y sus compuestos podrían también ser utilizados para la conservación de granos y alimentos.

Con respecto a otros usos como control biológico, los extractos de hojas, tallos y raíz de *H. suaveolens* mostraron *in vivo* una fitotoxicidad mediada por genotoxicidad y citotoxicidad significativas (Mominul *et al.*, 2014; Sharma *et al.*, 2019; Sumitha *et al.*, 2016), lo cual muestra el potencial herbicida de sus compuestos.

Ampliando la perspectiva, un extracto de *Aspergillus terreus*—F7, hongo endofítico de *H. suaveolens*, mostró también actividad antitumoral *in vitro* (al menos contra las líneas celulares de cáncer de mama MDA-MB-231 y MCF-7) y actividad leishmanicida y esquistosomicida *in vitro* (por lo menos contra *Leishmania amazonensis* y *Schistosoma mansoni*) (da Silva *et al.*, 2017).

Los hallazgos arriba descritos revelan el potencial nutricional, farmacológico y terapéutico de *H. suaveolens*; sin embargo, la investigación actual es insuficiente ya que a pesar de las numerosas investigaciones *in vitro* e *in vivo* que muestran sus propiedades, la transición de estos hallazgos a su aplicación a corto plazo es limitada; en relación a ello, estudios clínicos son necesarios para validar la eficacia y seguridad de los extractos y compuestos de esta planta en humanos, lo que requiere inversiones significativas.

Otro desafío es la variabilidad genética de la planta, que puede influir en la composición de sus metabolitos secundarios y, por lo tanto, en sus propiedades farmacológicas; de igual manera, la estandarización de los extractos es fundamental para garantizar la consistencia en la calidad y la actividad terapéutica de los productos derivados de *H. suaveolens*; sin embargo, esta estandarización se ve dificultada por la variabilidad genética y las influencias ambientales en la composición química de la planta; además, la dificultad en estandarizar sus extractos para aplicaciones médicas representa un obstáculo adicional.

Adicionalmente, la complejidad de los perfiles químicos de los extractos vegetales y la interacción entre sus diversos componentes pueden afectar su actividad farmacológica y su reproducibilidad; por lo tanto, el desarrollo de métodos de extracción y análisis estandarizados es crucial para avanzar en la investigación y aplicación de *H. suaveolens* en las diversas posibles áreas de uso. Estos desafíos subrayan la importancia de una investigación multidisciplinaria y colaborativa que incluya agrónomos, nutriólogos, fitoquímicos, farmacólogos, médicos y otros profesionales de la salud, para avanzar en el conocimiento científico de *H. suaveolens* y maximizar sus potenciales usos nutricionales, farmacológicos y terapéuticos.

Potencial de *H. suaveolens* en seguridad alimentaria y en agricultura sostenible

Abordando la seguridad alimentaria, esta se consigue cuando la población dispone de alimento en cantidad suficiente, con fácil acceso y de manera estable para satisfacer sus necesidades básicas, con el objetivo de llevar una vida activa y con buena salud. Con la reciente pandemia de COVID-19, los conflictos sociales y la crisis climática actual han provocado un aumento en el número de personas que padecen hambre.

Según la edición de 2023 del informe “State of Food Security and Nutrition in the World”, entre 690 y 783 millones de personas padecían hambre en 2022, lo que representa un aumento de 122 millones de personas en comparación con el año 2019 (FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2023). Estos factores, combinados con las crecientes desigualdades, siguen desafiando la capacidad de los sistemas agroalimentarios para ofrecer dietas nutritivas, seguras y asequibles para todos. Ante los desafíos globales, las dietas en todo el mundo se basan en dos docenas de cultivos con una proporción dominante de tres cereales: trigo (*Triticum aestivum*), maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oryza sativa*) (Hermann, 2009); sin embargo, estos cultivos pueden no ser esencialmente las especies más adecuadas para hacer frente a al cambio climático; al respecto, se espera que la producción mundial de cereales per cápita disminuya al menos un 14 % entre 2008 y 2030 (Funk & Brown, 2009).

En este sentido, enfrentar la demanda creciente, el rápido crecimiento poblacional y de consumo de alimentos per cápita global ejerce una gran presión sobre la industria alimentaria

para incrementar la producción (Henry *et al.*, 2016). En relación a ello, el suministro de alimentos debería duplicarse para el año 2050 para contrarrestar los efectos del cambio climático y el crecimiento continuo de la población sobre los sistemas alimentarios globales; por lo tanto, deben encontrarse nuevas y más sostenibles fuentes de alimentos (Massawe *et al.*, 2016).

Con respecto a esta sostenibilidad, una medida fundamental para garantizar la disponibilidad futura de alimentos es el proporcionar fuentes diversas de alimentos y desarrollar sistemas agrícolas resistentes al cambio climático; además, un desafío añadido de la industria alimentaria y de la ciencia es la obtención de alimentos con mayor valor nutricional y con propiedades funcionales, más allá de los requisitos tradicionales para la alimentación (FAO, 2024).

En respuesta a esta situación, una de las principales estrategias es explotar el potencial de especies vegetales nativas subutilizadas, ya que se ha demostrado que algunas de ellas poseen un alto valor nutricional, medicinal y rasgos de resiliencia superiores a los cultivos vegetales actualmente predominantes (Mayes *et al.*, 2012); al respecto, especies vegetales subutilizadas como el chan, lograrían de manera sostenible la seguridad alimentaria y nutricional para la creciente población mundial en escenarios probables de cambio climático que es uno de los mayores desafíos de la humanidad (Pixley *et al.*, 2023). *H. suaveolens* es una especie vegetal que se encuentra en diversas regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo, incluyendo América, África, Asia y Australia.

Su adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y su uso en variadas culturas la convierten en un recurso valioso para la soberanía alimentaria y la sostenibilidad; esta planta es rica en nutrientes y fitoquímicos, y su contenido de proteínas y minerales en sus semillas enfatizan su importancia en la nutrición y sus posibles aplicaciones, lo que podría contribuir también a la soberanía alimentaria y a la sostenibilidad ambiental (Ngozi *et al.*, 2014; Aguirre *et al.*, 2012); además, *H. suaveolens* forma parte de la medicina tradicional de varios países, lo que subraya su adaptabilidad e importancia en diversas regiones (Akharaiyi *et al.*, 2023); al respecto, varias investigaciones han documentado la distribución y adaptabilidad de *Hyptis suaveolens*, particularmente en Nigeria, destacando su potencial impacto en los sistemas alimentarios (David *et al.*, 2020).

Por otro lado, en el eje rural-urbano, la mayoría de los alimentos consumidos se compran en los mercados, lo que genera que el tipo de dieta que consumen los hogares está determinado por el costo y la asequibilidad, la cual a su vez depende de la estructura de los sistemas agroalimentarios, incluido el suministro de alimentos y las cadenas de valor agregado (UN DESA, 2022); en este sentido, *H. suaveolens* también podría proporcionar a las comunidades rurales una fuente adicional de nutrientes y compuestos fitoquímicos beneficiosos.

Adicionalmente, en términos de sostenibilidad ambiental, el cultivo de *H. suaveolens*, en áreas donde la planta es endémica, su cultivo y utilización sostenible tienen el potencial de ayudar a preservar el conocimiento tradicional, de contribuir a la bio- y agrobiodiversidad, de mejorar la fertilidad del suelo a través de la incorporación de biomasa y fitoquímicos que pueden beneficiar la microflora del suelo, y de fomentar prácticas agrícolas sostenibles que respeten el medio ambiente local.

De igual manera, su uso en sistemas de cultivo mixto podría proporcionar protección y soporte a otros cultivos, mejorando la eficiencia del uso de la tierra y la productividad general; además, el uso de sus extractos y compuestos en áreas endémicas y no endémicas, podría reducir la necesidad de insumos químicos. (Afreen *et al.*, 2018; Altieri, 2004; Jesus *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2009; Sharma *et al.*, 2020). Más aún, la diversificación con *H. suaveolens* podría ofrecer a los agricultores una fuente adicional de ingresos, a través de la venta directa de la planta o de sus derivados, como medicinas tradicionales, suplementos nutricionales y preparaciones para control biológico.

6.4. Conclusiones

H. suaveolens (L.) Poit. destaca por su importancia multifacética, incluyendo aspectos nutricionales, medicinales y su potencial en la sostenibilidad ambiental y en la agricultura sostenible. A pesar de su amplio espectro de usos y beneficios, *H. suaveolens* sigue siendo infrautilizada, lo que señala una oportunidad significativa para su integración en sistemas alimentarios, farmacéuticos e industriales.

Nutricionalmente, las semillas de *H. suaveolens* son una fuente rica en minerales esenciales y ácidos grasos, con un perfil de aminoácidos que puede apoyar diversas necesidades dietéticas; su composición nutricional subraya el valor de sus semillas como un complemento potencial en dietas destinadas a mejorar la salud.

Medicinalmente, la planta muestra una diversidad de compuestos bioactivos; al respecto, existen estudios farmacológicos que sugieren un amplio potencial para el desarrollo de nuevos tratamientos basados en sus extractos y compuestos. En términos de agricultura sostenible, *H. suaveolens* ofrece atributos que pueden contribuir a sistemas agrícolas más resilientes y biodiversos. Su capacidad para adaptarse a diferentes entornos y su papel en la conservación de suelos y control biológico son aspectos clave que podrían aprovecharse más en la agricultura.

Finalmente, esta planta representa una oportunidad para fortalecer la soberanía alimentaria y abordar desafíos globales como la seguridad alimentaria y el cambio climático. Debido a sus

propiedades y a su subutilización, se podría sugerir su incorporación a prácticas agroalimentarias o sistemas productivos, así como en usos medicinales. Sin embargo, aún no se valida la eficacia y seguridad de los extractos de *H. suaveolens* para el consumo humano a largo plazo; Por lo tanto, es fundamental considerar la necesidad de realizar estudios clínicos, así como evaluar casos que permitan determinar que el cultivo de *H. suaveolens* es una opción viable para contribuir a la seguridad y soberanía alimentaria.

La promoción de especies subutilizadas como *H. suaveolens* podría ser una estrategia crucial para diversificar los cultivos, mejorar la nutrición y fortalecer la sostenibilidad ambiental. *H. suaveolens* encarna un recurso valioso que, si se aprovecha adecuadamente, podría contribuir significativamente a la salud humana, a la sostenibilidad y a la resiliencia ecológica.

Referencias

- Adelaja, O. J., et al. (2023). Toxicity of insecticidal plant oils on the larval and adult stages of a major malaria vector (*Anopheles gambiae* Giles 1920). *Parasitology Research*, 122(5), 1071-1078. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07806-6>.
- Afreen, T., Srivastava, P., Singh, H., y Singh, J. (2018). Effect of invasion by *Hyptis suaveolens* on plant diversity and selected soil properties of a constructed tropical grassland. *Journal of Plant Ecology*, 11, 751-760. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtx045>.
- Aguirre, C., et al. (2012). Analysis of protein fractions and some minerals present in chan (*Hyptis suaveolens* L.) seeds. *Journal of Food Science*, 77(1), C15-C19. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02480.x>.
- Aguirre, C., et al. (2004). A novel 8.7 kDa protease inhibitor from chan seeds (*Hyptis suaveolens* L.) inhibits proteases from the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *Comparative Biochemistry and Physiology. Part B, Biochemistry & Molecular Biology*, 138(1), 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.02.011>.
- Akharaiyi, F., Ehis, C., Olagbemide, P., y Igbudu, F. (2023). *Hyptis suaveolens* L. leaf extracts in traditional health care systems. *Foods and Raw Materials*. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-577>.
- Altieri, M. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 35-42. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0035:LEATFI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2).
- Arai, M. A., et al. (2015). Hedgehog inhibitors from *Artocarpus communis* and *Hyptis suaveolens*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 23(15), 4150-4154. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2015.06.058>.
- Aremu, H. K., et al. (2022). Assessment of larvicidal and genotoxic potentials of extracts of *Hyptis suaveolens* against *Culex quinquefasciatus* based on enzyme profile and RAPD-PCR assay. *Acta Tropica*, 229, 106384. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106384>.
- Ashitani, T., et al. (2015). Activity studies of sesquiterpene oxides and sulfides from the plant *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae) and its repellency on *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology*, 67(4), 595-606. <https://doi.org/10.1007/s10493-015-9965-5>.
- Attah, A. F., et al. (2012). Uterine contractility of plants used to facilitate childbirth in Nigerian ethnomedicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 143(1), 377-382. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.06.042>.

- Bayala, B., et al. (2020). Chemical Composition, Antioxidant and Cytotoxic Activities of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. Essential Oil on Prostate and Cervical Cancers Cells. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(9), 1184-1192. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.1184.1192>.
- Bini, K. K. N., et al. (2023). Phytochemical profiling, antioxidant activities, enzymatic activities and insecticidal potential of aqueous extracts of four plants on the larvae of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae), the main pest of cotton plant in Ivory Coast. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 113(3), e22017. <https://doi.org/10.1002/arch.22017>
- Bojórquez, E., et al. (2016). Purification and biochemical characterization of 11S globulin from chan (*Hyptis suaveolens* L. Poit) seeds. *Food Chemistry*, 192, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.099>.
- Cattaneo, A., et al. (2022). Economic and social development along the urban–rural continuum: New opportunities to inform policy. *World Development*, 157, 105941. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.105941>.
- Cervantes, L., Caballero, K., y Olivero, J. (2015). Repellent and anti-quorum sensing activity of six aromatic plants occurring in Colombia. *Natural Product Communications*, 10(10), 1753-1757.
- Chukwujekwu, J. C., et al. (2005). Antiplasmodial diterpenoid from the leaves of *Hyptis suaveolens*. *Journal of Ethnopharmacology*, 102(2), 295-297. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.08.018>.
- da Silva, I. P., et al. (2017). Bioactive compounds of *Aspergillus terreus*-F7, an endophytic fungus from *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(3), 62. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2228-3>.
- de Albuquerque, U. P., et al. (2007). Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 114(3), 325–354. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.08.017>.
- David, O., Afe, G., Onwusiri, K., y Olude, G. (2020). Predicting the distribution of the invasive species *Hyptis suaveolens* in Nigeria. <https://doi.org/10.14712/23361964.2020.11>.
- Ekow, N., et al. (2018). Bush mint (*Hyptis suaveolens*) and spreading hogweed (*Boerhavia diffusa*) medicinal plant extracts differentially affect activities of CYP1A2, CYP2D6, and CYP3A4 enzymes. *Journal of Ethnopharmacology*, 211, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.09.023>.
- El Khatib, M., et al. (2013). Inhibition of hedgehog signaling attenuates carcinogenesis in vitro and increases necrosis of cholangiocellular carcinoma. *Hepatology*, 57(3), 1035–1045. <https://doi.org/10.1002/hep.26147>.

- Elumalai, D., Hemavathi, M., Deepaa, C. V., y Kaleena, P. K. (2017). Evaluation of phytosynthesised silver nanoparticles from leaf extracts of *Leucas aspera* and *Hyptis suaveolens* and their larvicidal activity against malaria, dengue, and filariasis vectors. *Parasite Epidemiology and Control*, 2(4), 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2017.09.001>.
- FAO. (2023). The state of food security and nutrition in the world 2023: Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc3017en>
- Fuentes, J. L., et al. (2017). The SOS chromotest applied for screening plant antigenotoxic agents against ultraviolet radiation. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 16(9), 1424-1434. <https://doi.org/10.1039/c7pp00024c>.
- Funk, C. C., y Brown, M. E. (2009). Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*, 1(3), 271-289. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0026-y>
- Gebhardt, S. E., y Thomas, R. G. (2002). Nutritive value of foods. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, *Home and Garden Bulletin* 72. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80400525/Data/hg72/hg72_2002.pdf.
- Ghaffari, H., et al. (2014). Antioxidant and neuroprotective activities of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. against oxidative stress-induced neurotoxicity. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 34(3), 323-331. <https://doi.org/10.1007/s10571-013-0016-7>.
- Ghaffari, H., Ghassam, B. J., y Prakash, H. S. (2012). Hepatoprotective and cytoprotective properties of *Hyptis suaveolens* against oxidative stress-induced damage by CCl₄ and H₂O₂. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5(11), 868-874. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(12\)60162-X](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(12)60162-X).
- Grassi, P., et al. (2006). Anti-inflammatory activity of two diterpenes of *Hyptis suaveolens* from El Salvador. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 61(3-4), 165-170. <https://doi.org/10.1515/znc-2006-3-402>.
- Hanna, A., et al. (2019). Inhibition of Hedgehog signaling reprograms the dysfunctional immune microenvironment in breast cancer. *Oncoimmunology*, 8(3), 1548241. <https://doi.org/10.1080/2162402X.2018.1548241>.
- Hari, I., y Mathew, N. (2018). Larvicidal activity of selected plant extracts and their combination against the mosquito vectors *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 9176-9185. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1515-3>
- Heller, E., et al. (2012). Hedgehog signaling inhibition blocks growth of resistant tumors through effects on tumor microenvironment. *Cancer Research*, 72(4), 897-907. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-11-2681>.

- Henry, R. J., Rangan, P., y Furtado, A. (2016). Functional cereals for production in new and variable climates. *Current Opinion in Plant Biology*, 30, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2015.12.008>.
- Hermann, M. (2009). The impact of the European Novel Food Regulation on trade and food innovation based on traditional plant foods from developing countries. *Food Policy*, 34(6), 499-507. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.08.005>.
- Hsu, F. C., Tsai, S. F., y Lee, S. S. (2019). Chemical investigation of *Hyptis suaveolens* seed, a potential antihyperuricemic nutraceutical, with assistance of HPLC-SPE-NMR. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(4), 897-905. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2019.05.006>.
- Islam, A. K., Ohno, O., Suenaga, K., y Kato, H. (2014). Suaveolic acid: a potent phytotoxic substance of *Hyptis suaveolens*. *The Scientific World Journal*, 2014, 425942. <https://doi.org/10.1155/2014/425942>.
- Jaya, Singh, P., Prakash, B., y Dubey, N. K. (2014). Insecticidal activity of *Ageratum conyzoides* L., *Coleus aromaticus* Benth., and *Hyptis suaveolens* (L.) Poit essential oils as fumigant against storage grain insect *Tribolium castaneum* Herbst. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2210-2215. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0698-8>.
- Jesus, N. Z. T., et al. (2013). *Hyptis suaveolens* (L.) Poit (Lamiaceae), a medicinal plant protects the stomach against several gastric ulcer models. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(3), 982-988. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.10.010>.
- Kéïta, S. M., et al. (2000). Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 36(4), 355-364. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(99\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(99)00055-7).
- Kovendan, K., et al. (2012). Laboratory and field evaluation of medicinal plant extracts against filarial vector, *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 110(6), 2105-2115. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2736-2>.
- Krishnamurthy, Y. L., y Shashikala, J. (2006). Inhibition of aflatoxin B1 production of *Aspergillus flavus*, isolated from soybean seeds by certain natural plant products. *Letters in Applied Microbiology*, 43(5), 469-474. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.02011.x>.
- Lira, R., Casas, A., & Blancas, J. (Eds.). (2016). Ethnobotany of Mexico: Interactions of people and plants in Mesoamerica. Springer.
- Machado, F. D. F., et al. (2021). *Hyptis suaveolens* (L.) Poit protects colon from TNBS-induced inflammation via immunomodulatory, antioxidant, and anti-proliferative mechanisms. *Journal of Ethnopharmacology*, 265, 113153. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113153>.
- Massawe, F., Mayes, S., y Cheng, A. (2016). Crop diversity: An unexploited treasure trove for food security. *Trends in Plant Science*, 21(5), 365-368. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.02.006>.

- Mayes, S., et al. (2012). The potential for underutilized crops to improve security of food production. *Journal of Experimental Botany*, 63(3), 1075-1079. <https://doi.org/10.1093/jxb/err396>.
- Mishra, P., Sohrab, S., & Mishra, S. K. (2021). A review on the phytochemical and pharmacological properties of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s43094-021-00219-1>.
- Mishra, S. B., Verma, A., Mukerjee, A., y Vijayakumar, M. (2011). Anti-hyperglycemic activity of leaves extract of *Hyptis suaveolens* L. Poit in streptozotocin-induced diabetic rats. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(9), 689-693. [https://doi.org/10.1016/S1995-7645\(11\)60175-2](https://doi.org/10.1016/S1995-7645(11)60175-2).
- Mohanta, O., et al. (2023). *Mesosphaerum suaveolens* essential oil attenuates inflammatory response and oxidative stress in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages by regulating NF- κ B signaling pathway. *Molecules*, 28(15), 5817. <https://doi.org/10.3390/molecules28155817>.
- Montúfar, A. (2007). Las chías sagradas del Templo Mayor de Tenochtitlán. *Arqueología Mexicana*, 14(84), 82-85.
- Moreira, A. C., et al. (2010). Chemical composition and antifungal activity of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit leaves essential oil against *Aspergillus* species. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(1), 28-33. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100006>.
- Mueller, M., et al. (2017). Prebiotic potential of neutral oligo- and polysaccharides from seed mucilage of *Hyptis suaveolens*. *Food Chemistry*, 221, 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.075>
- Ngozi, L., et al. (2014). The efficacy of *Hyptis suaveolens*: A review of its nutritional and medicinal applications. *European Journal of Medicinal Plants*, 4, 661-674. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2014/6959>
- Obembe, O. M., y Kayode, J. (2013). Insecticidal activity of the aqueous extracts of four under-utilized tropical plants as protectant of cowpea seeds from *Callosobruchus maculatus* infestation. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 16(4), 175-179. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2013.175.179>
- Oscar, S.A., et al. (2020). Phytochemical screening, antioxidant activity, and in vitro biological evaluation of leave extracts of *Hyptis suaveolens* (L.) from south of Mexico. *South African Journal of Botany*, 128, 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.016>.
- Oyebode, O., Kandala, N. B., Chilton, P. J., y Lilford, R. J. (2016). Use of traditional medicine in middle-income countries: a WHO-SAGE study. *Health Policy and Planning*, 31(8), 984-991. <https://doi.org/10.1093/heapol/czw022>.

- Pålsson, K., y Jaenson, T. G. (1999). Comparison of plant products and pyrethroid-treated bed nets for protection against mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Guinea Bissau, West Africa. *Journal of Medical Entomology*, 36(2), 144-148. <https://doi.org/10.1093/jmedent/36.2.144>.
- Pålsson, K., y Jaenson, T. G. (1999). Plant products used as mosquito repellents in Guinea Bissau, West Africa. *Acta Tropica*, 72(1), 39-52. [https://doi.org/10.1016/S0001-706X\(98\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0001-706X(98)00083-7).
- Peniche, T., et al. (2022). Larvicidal effect of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. essential oil nanoemulsion on *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Molecules*, 27(23), 8433. <https://doi.org/10.3390/molecules27238433>.
- Pixley, K. V., et al. (2023). Redesigning crop varieties to win the race between climate change and food security. *Molecular Plant*, 16(10), 1590–1611. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.09.003>.
- Prawatsri, S., Suksamrarn, A., Chindaduang, A., y Rukachaisirikul, T. (2013). Abietane diterpenes from *Hyptis suaveolens*. *Chemistry & Biodiversity*, 10(8), 1494-1500. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200213>.
- Praznik, W., et al. (2017). Molecular dimensions and structural features of neutral polysaccharides from the seed mucilage of *Hyptis suaveolens* L. *Food Chemistry*, 221, 1997-2004. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.087>.
- Raizada, P. (2006). Ecological and vegetative characteristics of a potent invader, *Hyptis suaveolens* Poit. from India. *Lyonia*, 11, 115–120.
- Rodrigues, A., et al. (2020). *In vitro* antibiotic and modulatory activity of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze against *Candida* strains. *Antibiotics*, 9(2), 46. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020046>.
- Rojas, A., Hernandez, L., Pereda, R., y Mata, R. (1992). Screening for antimicrobial activity of crude drug extracts and pure natural products from Mexican medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 35(3), 275-283. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(92\)90025-m](https://doi.org/10.1016/0378-8741(92)90025-m).
- Rollán, G. C., Gerez, C. L., y LeBlanc, J. G. (2019). Lactic fermentation as a strategy to improve the nutritional and functional values of pseudocereals. *Frontiers in Nutrition*, 6, 98. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00098>.
- Santos, T. C., et al. (2007). Antinociceptive effect and acute toxicity of the *Hyptis suaveolens* leaves aqueous extract on mice. *Fitoterapia*, 78(5), 333-336. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2007.01.006>.
- Sharma, A., Singh, H. P., Batish, D. R., y Kohli, R. K. (2019). Chemical profiling, cytotoxicity, and phytotoxicity of foliar volatiles of *Hyptis suaveolens*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 863-870. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.091>.

- Sharma, G., Raizada, P., y Raghubanshi, A. (2009). *Hyptis suaveolens*: An emerging invader of Vindhyan plateau, India. *Weed Biology and Management*, 9, 185-191. <https://doi.org/10.1111/J.1445-6664.2009.00338.X>.
- Sharma, I. P., Kanta, C., Dwivedi, T., y Rani, R. (2020). Indigenous agricultural practices: A supreme key to maintaining biodiversity. In R. Goel, R. Soni, & D. Suyl (Eds.), *Microbiological Advancements for Higher Altitude Agro-Ecosystems & Sustainability (Rhizosphere Biology)*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1902-4_6
- Shirwaikar, A., et al. (2003). Wound healing property of ethanolic extract of leaves of *Hyptis suaveolens* with supportive role of antioxidant enzymes. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41(3), 238-241.
- Suh, J. M., et al. (2006). Hedgehog signaling plays a conserved role in inhibiting fat formation. *Cell Metabolism*, 3(1), 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2005.11.012>.
- Sumitha, K. V., y Thoppil, J. E. (2016). Genotoxicity assessment of two common curing weeds: *Hyptis suaveolens* (L.) Poir. and *Leucas indica* (L.) R. Br. *Cytotechnology*, 68(4), 1513-1527. <https://doi.org/10.1007/s10616-015-9911-8>
- Tang, X., et al. (2015). Inhibition of Hedgehog signaling pathway impedes cancer cell proliferation by promotion of autophagy. *European Journal of Cell Biology*, 94(5), 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.ejcb.2015.03.003>.
- Thomford, N. E., et al. (2016). Inhibition of CYP2B6 by medicinal plant extracts: Implication for use of Efavirenz and Nevirapine-Based Highly Active Anti-Retroviral Therapy (HAART) in resource-limited settings. *Molecules*, 21(2), 211. <https://doi.org/10.3390/molecules21020211>.
- UNAM (2009) Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. Recuperado el 19 de marzo de 2024, de <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=hyptis-suaveolens>.
- UN DESA. (2022). World Population Prospects 2022. United Nations. Retrieved from <https://population.un.org/wpp>.
- Vázquez, J., Madrigal, L., Rodríguez, M., y Gaitan, M. (2010). Extracción y caracterización físico-química del mucílago de dos variedades de chan (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit). XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1-10.
- Vera, C., et al. (2012). Gastroprotection of suaveolol, isolated from *Hyptis suaveolens*, against ethanol-induced gastric lesions in Wistar rats: role of prostaglandins, nitric oxide, and sulfhydryls. *Molecules*, 17(8), 8917-8927. <https://doi.org/10.3390/molecules17088917>.
- Vilasboas, D., et al. (2021). Neurotherapeutic effect of *Hyptis* spp. leaf extracts in *Caenorhabditis elegans* models of tauopathy and polyglutamine disease: Role of the glutathione redox cycle. *Free Radical Biology and Medicine*, 162, 202-215. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.10.018>.

- Wangrawa, D. W., et al. (2018). Insecticidal activity of local plants essential oils against laboratory and field strains of *Anopheles gambiae* s. l. (Diptera: Culicidae) from Burkina Faso. *Journal of Economic Entomology*, 111(6), 2844-2853. <https://doi.org/10.1093/jee/toy276>
- Wicha, P., et al. (2015). Ethyl rosmarinate relaxes rat aorta by an endothelium-independent pathway. *European Journal of Pharmacology*, 766, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.09.003>
- World Flora Online, <http://www.worldfloraonline.org/>, accesado 20 marzo 2024. id: wfo-0000217093.
- Xu, D. H., Huang, Y. S., Jiang, D. Q., y Yuan, K. (2013). The essential oils chemical compositions and antimicrobial, antioxidant activities and toxicity of three Hyptis species. *Pharmaceutical Biology*, 51(9), 1125-1130. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.781195>

Mercadotecnia y Territorialidad aplicadas a los Sistemas Agroalimentarios Mexicanos

México es un territorio que alberga diversas representaciones, estructuras y manifestaciones a lo largo y ancho de su geografía. La pertinencia de difundir investigaciones enfocadas en la innovación agroalimentaria recae en la generación de alternativas posibles y plausibles en su adaptación a diversos contextos del sector primario mexicano. La compilación de estudios se realizó a través del III Congreso Nacional y I Internacional Miradas Críticas y Construcciones Alternativas para los Espacios Rurales el cual tuvo como objetivo compartir constructos epistemológicos pertinentes para la incidencia en las realidades rurales mediante el intercambio de experiencias, debates y propuestas multidisciplinarios, transversales y colectivos. Se presentan 6 investigaciones que dan respuesta a problemáticas socioambientales del centro, así como de la zona Bajío del país.

