SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS

Sandra Isabel Ramírez González
Orlando López Báez
COORDINADORES

Dr. Oswaldo Chacón Rojas
RECTOR

Mtra. María del Carmen Vázquez Velasco
SECRETARIA GENERAL

Mtra. Mónica Guillén Sánchez
SECRETARIA DE IDENTIDAD Y RESPONSABILIDAD
SOCIAL UNIVERSITARIA

Mtro. Gabriel Velázquez Toledo
DIRECTOR EDITORIAL



SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS





Sandra Isabel Ramírez González
Orlando López Báez
COORDINADORES







SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS

Sandra Isabel Ramírez González
Orlando López Báez
COODINADORES

Septiembre, 2025



Este libro fue publicado con el apoyo financiero de Heifer International, en colaboración con la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas y producto de las acciones de la Escuela de Sistemas Alimentarios (SIAL) bajo la dirección del Mtro. Pedro René Bodegas Valera.

SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS

1ª Edición 2025

Edición:
Dirección Editorial - Gabriel Velázquez Toledo
Diseño editorial, de forros y composición:
Bernardo O. R. De León
Correción de estilo:
Gabriel Velázquez Toledo y Yolanda Palacios Gama

ISBN:

D.R. © 2025 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas
Boulevard Belisario Domínguez km 1081, sin número, Terán, C. P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana con número de registro de afiliación: 3932.
Miembro de la Red Nacional de Editoriales Universitarias y Académicas de México, Altexto.
Miembro de la EULAC, Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y El Caribe.

D.R. © 2025 Sandra Isabel Ramírez González
Orlando López Báez

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación o de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas; la información y análisis contenidos en esta publicación son responsabilidad de los autores. Las imágenes de portada, la composición de interiores y el diseño de cubierta son propiedad de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas.

Editado en México
Edited in Mexico

COMITÉ CIENTÍFICO Y DICTAMINADORES

COMITÉ CIENTÍFICO

Sandra Isabel Ramírez González
Orlando López Báez
Víctor Jesús Albores Flores
Julieta Grajales Conesa
José Alfonso López García
Emilio Hernández Ortiz
Pedro Julio García Chacón
Juana Lorena Boix Morán
Irene Franco Arenales
Norma Gil de Castillo
Karla Evelyn Paz Cordón

DICTAMINADORES

Adriana Mazariegos Sánchez
Alexis Alejandro Salazar Navarro
Beatriz Adriana Rodríguez Romero
Betsabé Rodríguez Pérez
Carolina Velázquez Pérez
Daniel González Mendoza
Emilio Hernández Ortiz
Henry López López
Hermilo Lucio Castillos

COMITÉ CIENTÍFICO Y DICTAMINADORES

Humberto Ruiz Mejía
Israel Steinau Dueñas
Ivonne Álvarez Gutiérrez
Jorge Alberto González Escobar
José Alfonso López García
José Gregorio Joya Dávila
José Luis Cabellos Quiroz
Josefina Martínez Chávez
Julieta Grajales Conesa
Lislie Solís Montero
María Eunice Enríquez Cotton
María Guadalupe De Gyves Córdova
Marisol Aceituno Medina
Marycarmen Utrilla Vázquez
Orlando López Báez
Oscar Arce Cervantes
Reyna Ivonne Torres Acosta
Rodolfo Torres de los Santos
Rodrigo Romero Tirado
Rubén Hernán Leal López
Sandra Isabel Ramírez González
Sara Anabel Mejía Arteaga
Silvia Armenta Jaime
Víctor Hugo Cely
Víctor Jesús Albores Flores



CONTENIDO

15 **PRESENTACIÓN**

17 **PRÓLOGO**

21 **Introducción a los sistemas alimentarios sostenibles, referentes y retos.**
Sandra Isabel Ramírez González, Orlando López Báez, Pedro Rene Bodegas Valera y Saul Espinosa Zaragoza

45 **CAPÍTULO I. Sistemas alimentarios, género y teoría de cambio: una perspectiva desde Heifer México.**
María Isabel Ruiz Muñoz y Ali Madai Becerril Carmona

63 **CAPÍTULO II. Soberanía alimentaria en el sureste de México.**
Gloria Xitlalic Silva Constantino y Alejandro Macías Macías

91 **CAPÍTULO III. Recursos fitogenéticos: base para la sostenibilidad de los sistemas alimentarios de Mesoamérica.**
Orlando López Báez, Sandra Isabel Ramírez González, Pedro Rene Bodegas Valera y Saul Espinosa Zaragoza

CONTENIDO

115 **CAPÍTULO IV. Aspectos agronómicos y uso potencial de especies del género *Rubus*, caso Colombia.**
Brigitte Liliana Moreno Medina y Yuli Alexandra Deaquiz Oyola

133 **CAPÍTULO V. Carbono azul en sedimentos de ecosistemas productivos de manglar en Guatemala.**
Pedro Julio García Chacón, Irene Franco Arenales, Jorge Antonio Morales y Daniel Paiz González

153 **CAPÍTULO VI. Los polinizadores sociales (Apidae: Apini; Meliponini) y la seguridad alimentaria.**
Macario Melitón Fierro Martínez, Alberto Barrios Escobar, Claudia Ordóñez Zarate y Rafael Pimentel Segura

169 **CAPÍTULO VII. Apicultura sostenible en comunidades del área natural Protegida El Triunfo, Chiapas, México.**
Claudia Hernández Escobar y Antonio Mariano Borja Texocotitla

185 **CAPÍTULO VIII. Normas de inocuidad alimentaria: desafíos para la calidad, la competitividad y salud pública.**
Fabio Leonardo Mesa Engativá y Laura Patricia Mesa Engativá

209 **CAPÍTULO IX. Relación de hábitos alimenticios y rendimiento académico en estudiantes del campus IV de la UNACH.**
Margarita Concepción Valencia Ruiz

237 **CAPÍTULO X. Mieles maduras de abejas nativas del Soconusco, Chiapas; caracterización y valorización.**
Julieta Grajales Conesa, Kevin de Jesús Matul Ramos, María Guadalupe de Gyves Córdova, Víctor Jesús Albores Flores y José Alfonso López García

253 **CAPÍTULO XI. Evaluación organoléptica del vino y vinagre de mango (*Mangífera índica* L.).**
José Donaldo Ixlaj Cadona

265 **CAPÍTULO XII. Tejedoras de vida: procesos de empoderamiento de mujeres rurales en Heifer México.**
Marcos Rubén López Miguel, José Roberto Grajales Mendoza y Velia Sánchez Vásquez

281 **CAPÍTULO XIII. Construyendo una red de innovación territorial para la ganadería sostenible en la Sierra Madre de Chiapas. Una experiencia del tercer sector.**
Gregorio Wenceslao Apan Salcedo, Carla Aguilar De la Fuente, Pedro Daniel Cameras Velasco y José Fernando Rodríguez García

303 **CAPÍTULO XIV. Milpa y autosuficiencia. Gestión comunitaria, tecnologías apropiadas y transición agroecológica en Kinil, Yucatán, México.**
José Roberto Grajales Mendoza

323 **CAPÍTULO XV. La importancia de la formación de clústeres industriales y del desarrollo de recursos humanos: la experiencia de El Salvador.**
Sadao Takahashi

337 **CAPÍTULO XVI. Los agronegocios, base socioeconómica en la región del Soconusco, Chiapas–México.**
Roberto Alfredo Rosales Rodríguez

353 **CAPÍTULO XVII. El rol de la insecticultura en la economía circular de los sistemas alimentarios.**
Emilio Hernández Ortiz, Marysol Aceituno Medina, Landy Fabiola Barrientos Soto, Carlos Gumaro García Castillo y Juan Díaz Velázquez

CONTENIDO

369 **CAPÍTULO XVIII. Síntesis, caracterización y aplicaciones de nanopartículas en la agricultura: una revisión técnica e introductoria.**
Alexis Alejandro Salazar Navarro, José Gregorio Joya Dávila, Leslie Alondra Serrano Gómez, Carlos Moreno Cruz y Daniel González Mendoza

393 **CAPÍTULO XIX. Valorización de residuos agroindustriales en el Soconusco, Chiapas: aprovechamiento de la cáscara de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) para la síntesis de nanopartículas de plata.**
Khirbet López Velázquez, Minerva Villanueva Rodríguez, Analila Luna Valenzuela y José Luis Cabellos Quiroz

409 **CAPÍTULO XX. Evaluación de la resistencia mecánica de platos biodegradales elaborados con hojas de plátano (*musa paradisiaca*) y almidón de papa.**
Daniel Rolando Ramírez Portocarrero y Ronald Humberto Trabanino Gómez

423 **CAPÍTULO XXI. Análisis sensorial y bromatológico del fruto del carambolo con chile habanero como alternativa de transformación agroindustrial.**
Mario Alonso Fuentes Pérez, Silvia Vidal Castro, Reynaldo Gonzalez Flores y José Arturo Oleta Barrios



PRESENTACIÓN

América Latina es una región de enorme riqueza y potencial. Sus recursos naturales, su diversidad cultural y gastronómica, sus condiciones climáticas únicas, así como sus capacidades en materia de energía renovable y producción de alimentos, la colocan en una posición estratégica para impulsar el desarrollo sostenible y la innovación.

Nuestra región alberga una vasta variedad de ecosistemas y especies que constituyen una oportunidad invaluable para la investigación científica, el desarrollo de nuevas industrias y la consolidación de sectores emergentes como el turismo, la producción alimentaria sostenible y la transición hacia modelos agrícolas, agroindustriales, de economía circular y de economía azul. Se trata de un desafío impostergable frente al cambio climático, el crecimiento poblacional y la degradación de los recursos naturales, que exige respuestas colectivas y creativas.

La Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, como máxima casa de estudios de nuestro estado, asume con responsabilidad la misión de contribuir, de manera dinámica y comprometida, a enfrentar estos y otros desafíos globales. Lo hace a través de la formación integral de sus estudiantes, el impacto social de las investigaciones de su comunidad académica y el fortalecimiento de políticas de colaboración internacional, que permiten sumar esfuerzos, potenciar el talento humano y aprovechar de manera conjunta recursos e infraestructura en beneficio de la sociedad.

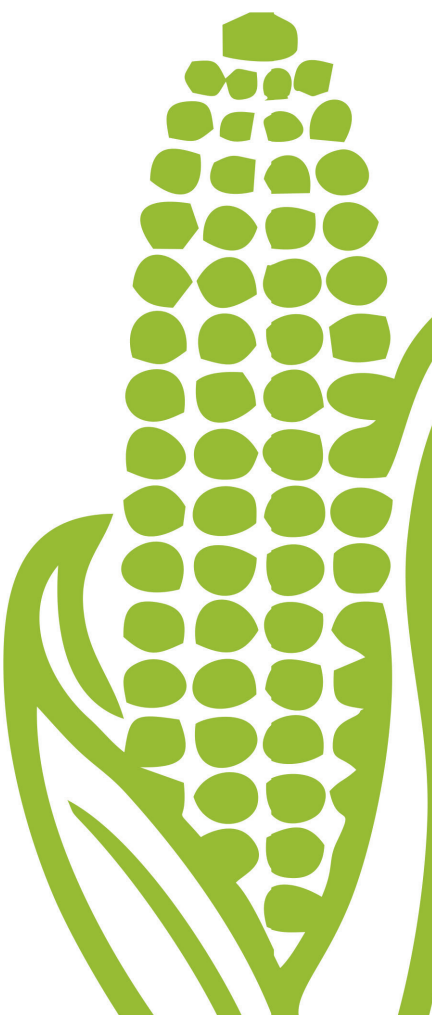
Ejemplo de ello es este libro, titulado “Sistemas alimentarios en regiones tropicales latinoamericanas”, resultado de un esfuerzo interdisciplinario, interinstitucional e internacional. En él, investigadores, profesionales y estudiantes de distintos países de América Latina abordan, desde perspectivas novedosas y complementarias, un tema tan crucial para la región y el mundo como lo son los sistemas alimentarios.

La UNACH, en su proyección hacia el futuro, estrecha vínculos con los países hermanos de la región, conscientes de que compartimos un pasado de grandeza, un presente de retos y,

sobre todo, un porvenir que será más fructífero en la medida en que lo construyamos de manera conjunta.

Esta obra, fruto de la coedición con la Universidad de San Carlos de Guatemala, constituye un testimonio del poder del trabajo colaborativo entre instituciones y naciones. Es también una expresión del compromiso compartido de fortalecer nuestro quehacer universitario, enaltecer nuestra misión y reafirmar que la mayor riqueza de América Latina es, sin duda, el potencial humano que nos une y nos impulsa hacia adelante.

Oswaldo Chacón Rojas
Rector de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas





17

PRÓLOGO

Uno de los desafíos a los que se enfrenta la población mundial es la producción de alimentos sanos y nutritivos para satisfacer las necesidades que año tras año aumentan, especialmente en países en desarrollo.

A este desafío se suma una creciente preocupación por los impactos generados por la agricultura, la ganadería y la pesca, relacionadas con la producción de alimentos, así como por los procesos de transformación, el transporte y las formas de consumo, lo que ha llevado a un mayor interés en desarrollar sistemas alimentarios sostenibles y resilientes.

El concepto de "sistemas alimentarios" se ha convertido en los últimos años en la base de discusión y entendimiento para la definición de políticas y programas entre diversos sectores de la sociedad y los gobiernos. Aunque no existe una única definición, este término se refiere al conjunto complejo de procesos involucrados en la producción, transformación, distribución y consumo de alimentos, incluyendo sus impactos sociales, económicos y ambientales.

Impulsado por la Cumbre de Sistemas Alimentarios de la Organización de las Naciones Unidas, el término refleja una creciente conciencia sobre la necesidad de transformar nuestros sistemas alimentarios, abordando problemas como el cambio climático, la inseguridad alimentaria, la desigualdad social, la degradación de los recursos naturales, la eficiencia energética, la generación de residuos y los hábitos de consumo.

En este contexto, el libro *Sistemas alimentarios en regiones tropicales latinoamericanas* reúne ideas, experiencias y conocimientos relacionados con los sistemas alimentarios locales. En él confluyen las contribuciones de 59 autores, académicos e investigadores de ocho instituciones educativas de México, Guatemala, El Salvador y Colombia, complementadas con las experiencias de siete organizaciones no gubernamentales y asociaciones civiles.

Si bien en cada país los sistemas presentan particularidades, como se percibe en el contenido del libro, la integración y participación en programas de cooperación interinstitucional

permitirá desarrollar conjuntamente sistemas alimentarios sostenibles, fortalecidos con mayores beneficios para los productores, los comercializadores, los transformadores y los consumidores de alimentos.

Los aportes en conceptos, reflexiones y resultados de trabajos de investigación e intervención en los sistemas alimentarios en diferentes contextos de los países latinoamericanos que compartimos clima, biodiversidad natural y cultural, constituyen un material valioso y pionero en este tema. El libro ofrece una aproximación integral para su comprensión, así como una visión de los avances en su estudio y aplicación en nuestra región.

Es de resaltar la creatividad, innovación y propuestas de intervención que se presentan en sus capítulos: desde los referentes y retos generales de los sistemas alimentarios, la soberanía alimentaria y los recursos genéticos como base para su sostenibilidad, hasta temas de género, inocuidad, consumo, servicios ecosistémicos, innovación y tecnología alimentaria, economía circular y experiencias de intervención concretas. Todo ello hace de esta obra una fuente de información valiosa y un referente de consulta para quienes trabajan o desean conocer más sobre este campo fundamental.

La edición conjunta entre la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas y la Universidad de San Carlos de Guatemala destaca el valor de la colaboración internacional, con la perspectiva de contribuir al fortalecimiento tecnológico, social, económico y ambiental de los sistemas alimentarios como base de la seguridad alimentaria.

En nombre de la Universidad de San Carlos de Guatemala, agradezco a los autores y autoras, a las instituciones de educación superior participantes, a las organizaciones de la sociedad civil y a quienes han hecho posible esta obra. Su compromiso y visión son prueba de que el conocimiento compartido puede convertirse en una herramienta poderosa para transformar nuestras realidades.

Invito a la comunidad académica, a los responsables de formular políticas, a los productores y a la sociedad en general, a acercarse a este libro con apertura y espíritu crítico. Aquí encontrarán no solo resultados de investigación, sino también propuestas y caminos posibles para avanzar hacia sistemas alimentarios más justos, sostenibles y resilientes.

La Universidad de San Carlos de Guatemala se honra en ser parte de este esfuerzo regional y en contribuir, desde su misión y su vocación histórica, a la construcción de un futuro donde la alimentación sea sinónimo de equidad, bienestar y dignidad para todos los pueblos latinoamericanos.

Walter Mazariegos Biolis
Rector de la Universidad de San Carlos de Guatemala

SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS









21

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES, REFERENTES Y RETOS

SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES, REFERENTES Y RETOS[1]

En la actualidad, el mundo enfrenta grandes retos entre los que se destacan la reducción de la pobreza, la disminución de los efectos del cambio climático, la alimentación de una población en constante crecimiento y la satisfacción de la demanda energética. En todos estos retos, la producción agroalimentaria es fundamental para enfrentarlos y las explotaciones familiares son parte de la solución para lograr la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura(FAO, 2014; FAO, 2023). En estas condiciones, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del medio ambiente a nivel mundial, según datos de la FAO (2018), dependen de más de 500 millones de explotaciones familiares que forman la columna vertebral de la agricultura en la mayoría de los países, sin embargo, tanto la alimentación como la agricultura están en la actualidad en una disyuntiva ya que, si se ve hacia el pasado, se aprecia que la producción agrícola en las últimas décadas ha mejorado y cubierto las necesidades alimentarias de una población mundial que también viene en crecimiento, pero a la par este mejoramiento se han evidenciado consecuencias sociales y medioambientales, entre las que destacan la escasez y contaminación del agua, la pérdida y degradación del suelo, así como la afectación y pérdida de los ecosistemas y la biodiversidad, reducción en las poblaciones de peces y bosques y aumento en los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ha conllevado a daños en los recursos naturales que son la base del potencial productivo en muchos lugares del mundo y un peligro en la fertilidad del planeta (FAO, 2018; FAO, 2023).

---

1 Sandra Isabel Ramírez González, Orlando López Báez, Pedro René Bodegas Valera y Saul Espinosa Zaragoza. Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

Según datos de la FAO (2018), 815 millones de personas padecen hambre y una de cada tres, malnutrición, evidenciando el desequilibrio del sistema alimentario. Otro aspecto que se suma es el de las migraciones, las cuales vienen en aumento durante los últimos 70 años, debido a que la cohesión social y las tradiciones culturales de las poblaciones rurales se ven amenazadas por una combinación de factores, como son tener un acceso limitado a la tierra y a los recursos y el creciente número de crisis, conflictos y desastres naturales, muchos de ellos consecuencia del cambio climático (FAO, 2018; FAO, 2023).

En esta disyuntiva, al ver al futuro el camino hacia una prosperidad inclusiva está dirigida por la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Por lo que remontar los desafíos a los que se enfrenta el planeta requiere de acciones transformadoras, así como adopción de los principios de la sostenibilidad y el abordaje de raíz de las causas de la pobreza y el hambre para lograr una sociedad más justa y equitativa. La alimentación y la agricultura tienen una conexión entre las personas y el planeta, por lo que pueden contribuir en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Una buena alimentación, permite que los niños puedan estudiar y aprender, así como las personas llevar una vida sana y productiva, y que la sociedad pueda evolucionar, desarrollarse y prosperar. El mantener y mejorar nuestros recursos naturales. El cuidado y mejoramiento de nuestros recursos naturales y de la tierra es posible si apostamos por una agricultura sostenible, para que, tanto las generaciones presentes como las futuras, sean capaces de alimentar a una población en constante aumento. Para la FAO (2018), "la agricultura, incluyendo los cultivos, la ganadería, la acuicultura, la pesca y los bosques, es el sector que más personas emplea en el mundo, el mayor sector económico en muchos países y, además, es la fuente principal de alimentos y de ingresos de aquellos que viven en pobreza extrema. La alimentación y la agricultura sostenibles tienen un gran potencial para revitalizar los paisajes rurales, para generar crecimiento inclusivo en los países y para lograr un cambio positivo en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible".

Es urgente trabajar para que en un futuro los alimentos sean nutritivos y accesibles para todos; donde los recursos naturales se gestionen con una visión para preservar las funciones de los ecosistemas y que puedan responder tanto en el presente como en el futuro a las diversas necesidades humanas en las que tanto agricultores, ganaderos, silvicultores, así como pescadores y habitantes de áreas rurales, participen y obtengan beneficios del desarrollo económico, con condiciones laborales decentes, recibiendo precios justos por su trabajo. En esta visión, tanto mujeres como hombres y comunidades viven en condiciones de seguridad alimentaria y tienen control de sus medios de subsistencia con acceso equitativo y eficiente de los recursos. Para la FAO (2018, 2023) la esencia de su trabajo en el fomento de la sostenibilidad en los sistemas de producción tiene una visión común que "se ha traducido en un enfoque que apoya y acelera la transición hacia unos sistemas de alimentación y agricultura más sostenibles. El enfoque se basa en cinco principios que equilibran las dimensiones sociales, económicas y medio ambientales de la sostenibilidad y conforma la

base para elaborar políticas, estrategias, regulaciones e incentivos que se adapten a las necesidades, la FAO propone cinco principios claves: a) Aumentar la productividad, el empleo y el valor añadido en los sistemas de alimentación, Proteger e impulsar los recursos naturales, Mejorar los medios de subsistencia y fomentar el crecimiento económico sostenible, Potenciar la resiliencia de las personas, de las comunidades y de los ecosistemas y adaptar la gobernanza a los nuevos retos".

Se calcula que, en 2050, la población del planeta será de 10000 millones de personas. Para alimentarlos a todos habrá que ir más allá de producir más con menos. La calidad y la diversidad serán la piedra angular que permitirá vincular la productividad y la sostenibilidad, y atajar las necesidades de la población" (FAO, 2018).

A nivel de Latinoamérica, más del 80% de las explotaciones agropecuarias corresponden a la denominada agricultura familiar, donde se estima que entre el 27 y el 67% de la producción de alimentos proviene de ésta. Además, genera empleo agrícola que se calcula entre el 57 y el 77%. Para América Latina y el Caribe, la Agricultura Familiar es la principal fuente de la alimentación, constituyéndose como una alternativa cercana, saludable y sustentable para la producción de alimentos; sin embargo, es necesario no solo ver a la producción de alimentos, sino también la trasformación, la distribución y su consumo y los diversos entornos y elementos con los que se interrelacionan, incluida su relación con el ambiente, la calidad de los alimentos y los residuos y desperdicios que se generan en todo el sistema alimentario, es por ello que se abordan en este capítulo la evolución del pensamiento hasta llegar a los sistemas alimentarios, los conceptos, las teorías en las que se sustentan, así como los avances más recientes en el estudio de los sistemas alimentarios sostenibles, los profesionales y organizaciones destacadas, las principales publicaciones, así como los desafíos y problemas no resueltos en los sistemas alimentarios sostenibles.

SISTEMAS ALIMENTARIOS Y SOSTENIBILIDAD

Existen varios conceptos que definen a los sistemas alimentarios, de acuerdo con Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial de la FAO (HLPE, 2017) el sistema alimentario engloba todos los elementos (medio ambiente, personas, insumos, procesos, infraestructuras, instituciones, etc.) y actividades relacionados con la producción, la elaboración, la distribución, la preparación y el consumo de alimentos, así como los productos de estas actividades, incluidos los resultados socioeconómicos y ambientales. Para la FAO (2019) "el sistema alimentario está integrado por tres elementos que actúan como puntos de entrada y salida de la nutrición: las cadenas de suministro de alimentos, los entornos alimentarios y el comportamiento de los consumidores". Parsons, Hawkes y Wells, definen el sistema alimentario como el:

> conjunto formado por: a) la cadena de actividades que va desde la provisión de inputs al productor hasta el consumidor, o cadena agroalimentaria; b) los factores que influyen en la cadena de actividades y que son influenciados por ella; c)

las entidades, instituciones y personas directa e indirectamente relacionadas; y d) las conexiones entre todos estos elementos (2019).

Para Piñeiro y colaboradores (2021), "el sistema alimentario es el agregado de todas las actividades relativas a la alimentación y el entorno en el cual se realizan: político, socioeconómico y natural-territorial. El sistema alimentario tiene numerosos ciclos o enlaces de retroalimentación o feedback loops. En general, se inicia con una combinación de recursos productivos, como tierra (suelo), agua, capital y trabajo a las que se agregan las actividades de transformación, almacenaje y distribución para constituir la oferta. El sistema se completa con las actividades o acciones de consumo y nutrición, lo que constituye la demanda". Davis y colaboradores (2023), consideran que:

> los sistemas agroalimentarios abarcan la producción agrícola primaria de alimentos y productos no alimentarios, la producción de alimentos de origen no agrícola, la cadena de suministro de alimentos del productor al consumidor y el consumidor final de alimentos. En todo el mundo, estos sistemas producen unos 11,000 millones de toneladas de alimentos cada año y constituyen la columna vertebral de muchas economías.

Por su parte, el programa mundial de alimentos señala que:

> un sistema alimentario abarca todo el proceso desde la producción de alimentos, pasando por su transformación y distribución, hasta el consumo final. Involucra también a agricultores y granjeros, transportistas, mercados y consumidores, y está directamente vinculado a la salud, la economía y el medio ambiente (wfp.org, 2024).

El HLPE (2017), define cada uno de los elementos a continuación:

> 1. La cadena de suministro de alimentos abarca todas las etapas que recorren los alimentos desde su producción hasta su consumo. En concreto, producción, almacenamiento, distribución, elaboración, envasado, venta al por menor y comercialización. Las decisiones adoptadas por los múltiples agentes que participan en cualquier etapa de esta cadena tienen implicaciones para las demás etapas, ya que influyen en los tipos de alimentos disponibles y accesibles y en la forma en que se producen y consumen.
>
> 2. El entorno alimentario hace referencia al contexto físico, económico, político y sociocultural que enmarca la interacción de los consumidores con el sistema alimentario con miras a la adquisición, la preparación y el consumo de alimentos. El entorno alimentario consta de: "puntos de entrada de los alimentos", esto es, los espacios físicos en los que se obtienen los alimentos; el entorno edificado que permite que los consumidores accedan a estos espacios; los determinantes personales de las elecciones alimentarias (como los ingresos, la educación, los valores o las aptitudes); y las normas políticas, sociales y culturales en las que se apoyan estas interacciones. Los elementos centrales del

entorno alimentario que influyen en las elecciones alimentarias, la aceptabilidad de los alimentos y las dietas son: el acceso físico y económico a los alimentos (proximidad y asequibilidad); la promoción y publicidad de los alimentos y la información sobre estos y la calidad e inocuidad de los alimentos.

3. El comportamiento de los consumidores refleja las elecciones de los consumidores, tanto en el hogar como a título particular, sobre los alimentos que se adquieren, almacenan, preparan y consumen y sobre la distribución de los alimentos en la familia (por ejemplo, el reparto por sexo y la alimentación de los niños). En el comportamiento de los consumidores influyen las preferencias personales determinadas por el sabor, la comodidad, la cultura y otros factores. Sin embargo, dicho comportamiento también depende del entorno alimentario existente. Los cambios colectivos en el comportamiento de los consumidores pueden abrir vías para establecer sistemas alimentarios más sostenibles que mejoren la seguridad alimentaria y la nutrición y la salud.

La sostenibilidad de un sistema alimentario se da cuando se asegura el acceso a alimentos nutritivos para todos, se protegen los recursos naturales, se respeta la biodiversidad y se combate el cambio climático (wfp.org, 2024). Sin embargo, existen factores, que ponen en riesgo la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios:

1. Los efectos del cambio climático: amenaza con reducir la producción agrícola mundial, y las personas de bajos recursos en zonas tropicales serán las más afectadas, el cambio climático afecta directamente a la agricultura, representa un gran desafío, ya que se requiere producir más alimentos con menos recursos disponibles

2. El crecimiento poblacional: El año 2024 dio inicio con una población estimada en cerca de 8 mil millones de personas; si bien el crecimiento de la población ya no es de forma exponencial como ocurrió en el pasado, se estima que en 2050 la población mundial alcance los 9,700 millones y un máximo de casi 11 mil millones alrededor del año 2100.

3. Los modos de producción y consumo.

4. Producir alimentos tomando en cuenta que la superficie de tierras cultivables disminuye, una buena parte de estas presentan estados de degradación.

5. Recursos naturales como las tierras disponibles para la producción agroalimentaria se encuentran en buena parte desgastadas debido a décadas de prácticas agrícolas insostenibles y hay que considerar, además, una población de productores envejecida que supone un reto adicional para los sistemas agroalimentarios.

Las diversas regiones de América Latina también serán escenario de diversos cambios como resultado del contexto descrito; la variabilidad climática podría conducir al desplazamiento de comunidades enteras, el número de víctimas de fenómenos climáticos repentinos o muy rápidos, como sequías o subidas del nivel del mar, aumentarían y el campo mexicano, en medio de presiones demográficas, se vería particularmente afectado (CIMMYT, 2021). De acuerdo con la FAO:

> el número de personas que padecen hambre en el mundo aumentó hasta alcanzar los 828 millones de personas en 2021, lo que supone un aumento de unos 46 millones desde 2020 y de 150 millones desde el brote de la pandemia de la enfermedad por coronavirus (COVID-19), según un informe de las Naciones Unidas en el que se aportan nuevas pruebas que muestran que el mundo se está alejando de su objetivo de acabar con el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición en todas sus formas de aquí a 2030 (2022).

Davis et al., (2023), señalan que para que los sistemas agroalimentarios sean sostenibles es necesario tener en cuenta la nutrición, la salud y el cambio climático; además, las agendas de políticas y prácticas a nivel nacional y mundial deben abordar los desafíos a los que se enfrentan los sistemas agroalimentarios de forma integrada y, para estar a la altura, los datos deben ir más allá de enfoques basados en la compartimentación (como datos sobre el empleo agrícola) e incluir todo el proceso, desde la producción de alimentos, pasando por su procesamiento y transporte, hasta el consumidor.

Según el informe de la ONU (2023) 43,2 millones de personas sufren hambre en América Latina y el Caribe y la región registra niveles de sobrepeso y obesidad mayores a la estimación mundial.

Rossana Polastri, Directora Regional del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola de las Naciones Unidas (FIDA) para América Latina y el Caribe" (FAO, 2023) aseguró que "En 2022, la inseguridad alimentaria moderada o grave en las zonas rurales fue 8,3 puntos porcentuales mayor que en las áreas urbanas. Una vez más, son las poblaciones rurales quienes se están quedando atrás, y por eso debemos priorizarlas en los programas y políticas públicas".

América Latina y el Caribe, se enfrenta varios retos para la producción de alimentos entre los que se destacan: la crisis climática, como el fenómeno de "El Niño", la inseguridad, la lenta recuperación de la pandemia y sobreendeudamiento, incremento en el precio de los alimentos, los combustibles y los fertilizantes debido al efecto de la guerra de Ucrania, con severas consecuencias para diversos países y sus pobladores vulnerables que no satisfacen sus necesidades básicas por alimentos, nutrición y otras actividades esenciales, por lo que el fenómeno migratorio es notorio en diversas partes del planeta donde millones de personas migran como mecanismo de supervivencia. De acuerdo con el informe elaborado por FAO-FIDA-OPS-PMA y UNICEF (2023) dado el contexto actual de inseguridad alimentaria y nutricional, es urgente

> la transformación de los sistemas agroalimentarios en coordinación con el fortalecimiento de los sistemas de salud y de protección social, con acciones integrales y enfoques sistémicos y multisectoriales. También se considera crucial priorizar el desarrollo de cadenas de valor sostenibles que promuevan la nutrición, dinamicen los mercados y el comercio agroalimentario, regulen la promoción y publicidad de los alimentos, y fomenten el desarrollo de entornos alimentarios saludables (FAO, FIDA, OPS, PMA y UNICEF, 2023).

TEORÍAS EN LAS QUE SE SUSTENTA

Los sistemas alimentarios sostenibles se fundamentan en una combinación de teorías interdisciplinarias y modelos que abordan la sostenibilidad desde una perspectiva tecnológica, social, ambiental y económica. A continuación, se describen las teorías y modelos fundamentales basados en diversos autores (Altieri, 1995; Ericksen, 2008; Patel, 2009; Rockström, 2009; Ingram, 2011; Alkon y Agyeman, 2011; Gliessman 2014; FAO, 2014; HLPE, 2017; Willett, 2019):

1. Teoría de los Sistemas alimentarios: Considera el sistema alimentario como un conjunto complejo e interconectado de actores, procesos y relaciones (producción, distribución, consumo, desechos, etc.). Ayuda a entender cómo los cambios en una parte del sistema afectan al conjunto y permite diseñar intervenciones sistémicas.

2. Sostenibilidad, Triple hélice: económico, ambiental y social. Modelo de los tres pilares de la sostenibilidad. Los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), en especial el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsable).

3. Agroecología: Ciencia y práctica que aplica principios ecológicos al diseño y gestión de agroecosistemas sostenibles con sus elementos clave: diversificación, reciclaje de nutrientes, sinergias, resiliencia y enfoque local que también se concibe como un movimiento social y cultural.

4. Economía Ecológica. Fundamentada en la crítica al modelo económico tradicional que considera al medio ambiente como un recurso infinito con la propuesta de valorar los servicios ecosistémicos, límites biofísicos del planeta y la equidad intergeneracional. Con un modelo de Economía circular.

5. Análisis del Ciclo de Vida: Se evalúa el impacto ambiental de un producto o proceso a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la producción hasta la disposición final, no como desecho o basura sino como residuo después de haber sido sometido a el reuso, reciclaje, remanufactura con aplicación en la comparación de prácticas agrícolas, empaques sostenibles, cadenas de suministro.

6. Modelos de Transición Socio-Técnica: Teoría del Cambio de Régimen con los niveles: Nichos (innovaciones), régimen (prácticas dominantes) y paisaje (factores externos). Para lograr analizar a las innovaciones agroecológicas o tecnológicas que puede escalar y transformar el sistema alimentario.

7. Soberanía Alimentaria: en el marco político y ético; derecho de los pueblos a definir sus propias políticas alimentarias con actores clave como lo son campesinos y movimientos sociales por el derecho a la alimentación. Esto se contrapone con el Modelo agroindustrial globalizado, el modelo de consumo con estándares de calidad que contribuyen al desperdicio y comercialización de los productos que pueden mitigar el hambre y cumplir con los objetivos de la ONU.

8. Enfoques territoriales y de sistemas alimentarios urbanos: Teorías relacionadas: Planeación urbana sustentable, metabolismo urbano, justicia alimentaria para diseñar políticas locales para acceso equitativo a alimentos, reducción del desperdicio, agricultura urbana sustentable.

9. Modelos cuantitativos y de simulación con herramientas como: Modelos computacionales, GIS (Sistemas de Información Geográfica), sistemas de apoyo a la decisión (DSS)

para predecir impactos de políticas alimentarias, efectos del cambio climático sobre la producción agrícola, pecuaria, acuicultura, su comercialización y tendencias de consumo.

10. Enfoques de Gobernanza y Políticas Públicas con Teorías clave como Gobernanza multinivel, participación ciudadana, enfoques colaborativos para el desarrollo de políticas alimentarias sostenibles, marcos regulatorios y alianzas público-privadas.

La evolución de las teorías y modelos sobre sistemas alimentarios sostenibles refleja una creciente conciencia de los impactos ambientales, sociales y económicos de la producción y consumo de alimentos. A lo largo del tiempo, estas teorías han pasado de enfoques puramente productivistas hacia enfoques más integrales y multidimensionales.

Resumen cronológico de su evolución:

Enfoque Productivista (hasta mediados del siglo XX): cuyo objetivo principal fue aumentar la producción de alimentos para alimentar a una población en crecimiento, donde el modelo dominante fue la denominada Revolución Verde (décadas de 1940-1970), con uso intensivo de agroquímicos, semillas mejoradas y mecanización, sin embargo, tuvo escaza consideración de los impactos ambientales o justicia social, siendo un enfoque centrado más en el rendimiento productivo.

Enfoque Agroecológico y Ambiental (1970s-1990s): Fue una respuesta a las consecuencias negativas del modelo intensivo de la revolución verde donde predominó la degradación ambiental (erosión del suelo, contaminación, pérdida de biodiversidad), de recursos genéticos y biocultural. Se promovió la Agroecología bajo sus diferentes corrientes, pero siempre basado en una agricultura en principios ecológicos y sociales. Se manifestaron movimientos como la Soberanía alimentaria (propuesta por La Vía Campesina) bajo el derecho de los pueblos a decidir sobre su sistema alimentario, e introdujo cambios en los sistemas de producción con principios de sustentabilidad, conservación de recursos y diversidad cultural.

Enfoque de Sostenibilidad Integral (2000s-2010s): Se integran conceptos de tres dimensiones: Ambiental, social y económica, con modelos integrales basados en las Cadenas de valor sostenibles, donde se consideran desde el productor hasta el consumidor, considerando prácticas responsables. Además, se incorporan conceptos como el de Economía circular que busca minimizar residuos y reutilizar recursos, así como los conceptos de indicadores, tales como la huella hídrica, de carbono y el análisis de ciclo de vida (ACV).

Sistemas Alimentarios como Sistemas Complejos (2010s-presente): en el que se integra una visión sistémica con reconocimiento de interconexiones entre agricultura, salud pública, clima, comercio, género, etc. Dentro de los Modelos actuales se presenta el Food Systems Approach (enfoque de sistemas alimentarios), adoptado por la FAO y otras instituciones. Así como de Dietas sostenibles, que se refiere a la relación entre salud humana y sostenibilidad ambiental (ej. EAT-Lancet). Además

del rescate de los saberes tradiciones y el uso etnogastronómico y el trabajo de los sistemas alimentarios y su resiliencia y adaptación a los cambios climáticos, la incorporación de conceptos como el de Justicia Alimentaria, inclusión y Agricultura regenerativa. Se presentan nuevas alternativas con el uso de las tecnologías emergentes como la agricultura de precisión, alimentos biofuncionales, alimentos personalizados y de la inteligencia artificial.

La evolución ha sido desde un enfoque lineal y centrado en la productividad hacia una visión holística, participativa y centrada en la sostenibilidad y equidad. Hoy se reconoce que un sistema alimentario sostenible no solo debe producir alimentos suficientes, sino hacerlo de forma que proteja el medio ambiente, sea justo socialmente y resiliente ante cambios futuros.

LOS AVANCES MÁS RECIENTES EN EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

Los avances en el estudio de los sistemas alimentarios sostenibles consideran la creación de nuevos modelos, así como de herramientas que permitan evaluar y mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro, el estudio e implementación de la denominada agricultura y ganadería regenerativa, así como la promoción y uso de tecnologías como la inteligencia artificial que permitan optimizar el uso de recursos. Otro aspecto que se incentiva es la producción local, la reducción del desperdicio de alimentos y la promoción de dietas saludables y sostenibles o la incorporación de estrategias como la economía circular dentro de los sistemas alimentarios en cada una de sus etapas. Los principales avances en el estudio de los sistemas alimentarios sostenibles se presentan en forma más detallada a continuación.

Modelos y herramientas de evaluación

Se están creando modelos y herramientas más sofisticados para evaluar la eficiencia y sostenibilidad de las cadenas de suministro de alimentos, permitiendo identificar puntos críticos y oportunidades de mejora.

Agricultura y ganadería regenerativa

La investigación y promoción de prácticas agrícolas y de ganadería regenerativas, como la rotación de cultivos, la agricultura de conservación y promoción de sistemas agroforestales biodiversos, sistemas silvopastoriles, bienestar animal, entre otras están ganando terreno, con el objetivo de mejorar la producción de alimentos más saludables, regenerando o manteniendo la calidad del suelo y el agua, mejorar la resiliencia de los sistemas productivos ante los efectos de cambio climático y promover la biodiversidad.

Inteligencia artificial y análisis de datos

La utilización de esta nueva herramienta como lo es la inteligencia artificial, así como estrategias para realizar el análisis de datos para optimizar el uso de recursos

tanto en procesos de producción, transformación, distribución que permitan a los diversos actores de los sistemas alimentarios tomar decisiones más informadas, optimizar recursos, reducir el impacto ambiental y maximizar ganancias.

Producción local y cadenas cortas

Consiste en el fomento de la producción local, el establecimiento de cadenas cortas de suministro que permiten mejorar el acceso a los alimentos, así como reducir efectos ambientales como huella de carbono debido a la reducción del transporte y la promoción del consumo de productos autóctonos de valor nutricional que a la vez permite conservar el germoplasma local.

Reducción del desperdicio de alimentos

El estudio en todas las etapas de los sistemas alimentarios sobre los desperdicios de los alimentos permite generar estrategias para reducirlos en todas las etapas desde la producción hasta el consumo, generando además campañas de concientización dentro de la población de consumidores, haciéndolos más consientes y participes de esta estrategia.

Promoción de dietas saludables y sostenibles

Existe una tendencia mundial de la promoción del consumo de alimentos saludables y producidos en sistemas sostenibles, haciendo que los consumidores estén más informados de la dieta que consumen y de su origen, promoviendo así los productos vegetales, los alimentos de temporada y locales, que contribuye a mejorar la salud humana y a reducir el impacto ambiental de la producción.

Transparencia

El documentar y poner a disposición de los consumidores la información sobre los procesos de los alimentos desde el origen del proceso de producción, el etiquetado y otros aspectos de información como beneficios a ecosistemas, a productores, reducción de huellas de carbono, etc., que permita documentar y transparentar la sostenibilidad de los productos alimenticios, está ganando importancia, lo que permite a los consumidores tomar decisiones más informadas.

PRINCIPALES DESAFÍOS Y PROBLEMAS NO RESUELTOS EN LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

Entre los principales desafíos que enfrentan los Sistemas Alimentarios Sostenibles están: la inseguridad alimentaria, el cambio climático, reducción del desperdicio de alimentos, la pérdida de biodiversidad y de recursos como suelo y agua, además de la desigualdad en el acceso a alimentos saludables y la reducción del impacto de los procesos involucrados en los sistemas alimentarios sobre las huellas de carbono y el uso eficiente de la energía en los procesos. A continuación, se desarrollan los principales desafíos de los sistemas alimentarios sostenibles:

Inseguridad alimentaria

Aun con el avance de las tecnologías y nuevos sistemas de producción la FAO (2022), muestra que millones de personas aún sufren hambre y desnutrición.

Cambio climático

Según datos de la FAO (2025), las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los sectores agrícola y forestal representan actualmente más del 30% de las emisiones anuales; la deforestación y degradación de los bosques el 17,4%, la agricultura el 13,5%. La tierra utilizada para la producción ganadera, incluidos los pastos y las praderas destinadas a la producción de forraje, representa aproximadamente el 70% del total de tierra agrícola en el mundo. El cambio climático está teniendo un impacto sobre los océanos, mares, lagos y ríos y sobre los animales y plantas que viven o son cultivados en ellos. El cambio climático afectará aproximadamente a los 200 millones de familias en todo el mundo cuyos medios de vida dependen de la pesca y la acuicultura. Ciertos recursos pesqueros se harán menos abundantes mientras especies importantes se desplazarán a otras zonas menos accesibles para los pescadores. Por lo que la producción de alimentos, principalmente la ganadería, es responsable de una gran parte de las emisiones de carbono y el cambio climático amenaza la producción y la seguridad alimentaria.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2025) ha actualizado su innovadora aplicación geoespacial ABC-Map con un nuevo indicador que muestra que varios cultivos importantes, incluidos el trigo, el café, los frijoles, la mandioca y el plátano, podrían perder la mitad de sus tierras mejores u óptimamente adecuadas para el año 2100.

Desperdicio de alimentos

FAO estima que en América Latina se pierden un 11,6% de los alimentos. En tanto, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2025), en su informe anual del 2024, calcula en un 19 % el desperdicio de alimentos que se produce a nivel global en el ámbito del comercio minorista, los servicios de comidas o los hogares. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), PNUMA y la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile (ODEPA), indican la necesidad crítica de mayor financiación que impulse los esfuerzos para reducir a la mitad las pérdidas y desperdicios de alimentos *per cápita*. Una gran cantidad de alimentos se pierden o se desperdician en la cadena de suministro, lo que reduce la eficiencia de los sistemas alimentarios y contribuye al desperdicio de recursos.

Pérdida de biodiversidad, del suelo y el agua

Según datos de la World Wildlife Fund (WWF), (2024) la manera en que producimos, consumimos y desperdiciamos los alimentos a nivel mundial provoca el 80% de la pérdida de biodiversidad y casi un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero; el impacto del sistema alimentario supone un elevado consumo de agua y suelo.

Donde el 40% de la tierra se utiliza para cultivar, así como el 70% del agua, sin embargo, se está lejos de acabar con el hambre o con la falta de acceso a una alimentación sana, además indican que países como México, a pesar de tener tierras suficientes para producir alimentos, el agua en algunos años será un factor limitante.

Ante los posibles efectos del cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la agricultura intensiva y la sobreexplotación de los recursos naturales puede afectar la capacidad de los sistemas alimentarios para resistir sus impactos y otras perturbaciones.

Desigualdad en el acceso a alimentos

Las personas con menos recursos suelen tener menos acceso a alimentos nutritivos y saludables, lo que puede contribuir a la inseguridad alimentaria y la desnutrición. En nuestro país millones de personas se encuentran desesperadas por comida. De acuerdo con el informe sobre el Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo (FAO, 2023), alrededor de 35 millones de mexicanos padecían inseguridad alimentaria de moderada a grave hasta el 2022. Esta cifra ha experimentado un alarmante aumento de más del 13% en los últimos seis años (desde 2016), reflejando una crisis que se agrava con el paso del tiempo y la falta de políticas eficaces para combatirla. También se estableció que, con una población con hambre, se tiene un alto porcentaje de alimentos que se desperdicia, lo que revela la falta de una infraestructura adecuada para gestionar el almacenamiento y distribución de los alimentos.

El mismo documento muestra que el 27.2% de la población mexicana tenía una alimentación deficiente, lo que significa que más de una cuarta parte de los mexicanos no cuenta con acceso a una dieta nutritiva y suficiente. Entre los grupos más afectados se encuentran rostros conocidos; comunidades marginadas como los migrantes, personas con discapacidades y otras minorías, quienes no solo enfrentan la falta de alimentos, sino también la discriminación y barreras sistémicas que limitan su acceso a empleos, servicios de salud y educación (FAO, 2023).

Emisiones de carbono

El sector alimentario es responsable de una gran parte de las emisiones de carbono, lo que contribuye al cambio climático. Los sistemas alimentarios son responsables de aproximadamente un tercio de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). La producción, transporte, almacenamiento y procesamiento de alimentos contribuyen a estas emisiones. El metano, especialmente de la cría de ganado y el cultivo de arroz, representa un porcentaje significativo (alrededor del 35 %) de estas emisiones (Tubiello, et al., 2021).

Es una realidad que el consumo de energía en los sistemas alimentarios es cada vez mayor. Lo cual está relacionado con las tendencias en los sectores minorista y principalmente las relacionadas con el envasado, transporte y elaboración, en los cuales las emisiones van aumentando, principalmente en algunos países en desarrollo. Otro aspecto en aumento, y que representa el 5 % de las emisiones mundiales

de los sistemas alimentarios, son las actividades relacionadas con la refrigeración de los alimentos. Finalmente, se calcula que el envasado contribuye en un 5,4 % de las emisiones mundiales de los sistemas alimentarios (Tubiello, et al., 2021).

Contaminación

El uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos en la agricultura puede contaminar el suelo, el agua y los alimentos, lo que pone en riesgo la salud humana y el medio ambiente. Aunque el estudio y las consecuencias del uso de pesticidas y fertilizantes ha sido documentando por diversos investigadores e instituciones en diversas partes del mundo, aun no se tiene del todo alternativas masificables y con efectos en la rentabilidad y productividad (Organización Mundial de la Salud- OMS, 2022).

IMPACTO TECNOLÓGICO Y SOCIAL

El uso de la tecnología está ofreciendo a los sistemas alimentarios sostenibles herramientas que le permiten mejorar la eficiencia en la producción, transformación, distribución y consumo de alimentos, reduciendo el impacto ambiental a lo largo de las diversas actividades relacionadas con este sistema y mejorar la trazabilidad y la implementación de nuevas innovaciones, reduciendo el desperdicio de alimentos y brindando alternativas a zonas rurales, tanto para sus procesos productivos como para el mercadeo y su seguridad alimentaria. Los efectos positivos de la tecnología en los sistemas alimentarios sostenibles son diversos, a continuación, se presentan los principales:

Mejora de la productividad y eficiencia

En la actividad primaria, el uso de drones, sensores, sistema de información climatológica, sistemas de riego inteligentes, la robotización de procesos, entre otros, permite optimizar el uso de insumos para la producción y una reducción en el impacto en los recursos naturales, lo que permite el aumento de la productividad y reducir los desperdicios.

En el procesamiento o transformación, la automatización, la robotización de procesos, así como materias primas circulares y el uso de tecnologías emergentes, se sitúan en un lugar importante para disminuir los costos operativos, así como para aumentar la productividad y optimizar procesos de logística y de gestión de recursos, aspectos que promueven una reducción significativa de emisiones, así como del consumo energético, del agua y de la generación de residuos y de mermas.

Sin duda, el uso cada vez mayor de la inteligencia artificial, la digitalización y de las tecnologías exponenciales permiten mejorar la eficiencia energética en los sistemas alimentarios, por lo que con el potencial de la IA es posible maximizar el rendimiento de los recursos, automatizar procesos, mejorar la toma de decisiones estratégicas y de reducir errores.

Las iniciativas como la de IoT, en la distribución de agua, implican el uso de sensores y dispositivos conectados para monitorear, gestionar y optimizar la distribución del agua desde la fuente hasta el usuario final. Estas iniciativas ayudan

a detectar fugas, optimizar el uso del agua, mejorar la eficiencia de los sistemas de bombeo y garantizar la calidad del agua potable.

La automatización en la industria alimentaria permite que la robótica y la tecnología se utilice para la manipulación de materiales alimentarios durante todo el proceso de envasado y embalaje, haciéndolo más eficiente y seguro (Tirado y Mecola, 2024).

Reducción del desperdicio

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), aproximadamente un tercio de los alimentos producidos en el mundo para consumo humano se pierde o desperdicia. Esto supone que alrededor de 1.300 millones de toneladas de alimentos terminan en la basura cada año. Por lo que se ha generado a partir de los principios de economía circular el denominado *upcycling alimentario*, también denominado supra-reciclaje, consistente en fabricar nuevos productos alimenticios partiendo de los subproductos generados en los procesos de fabricación, o sea transformar subproductos, sobras o ingredientes no convencionales de los alimentos en nuevos productos o comidas de mayor valor. Y a través de la innovación y la creatividad, se pueden desarrollar productos alimenticios completamente nuevos utilizando ingredientes que de otro modo se habrían desechado, como la creación de alimentos fermentados, deshidratados o transformados de otras maneras para prolongar su vida útil y mejorar su valor nutricional o gastronómico. (Carrillo, 2024; Aschemann-Witzel, et al., 2023). La tecnología de almacenamiento y transporte, como la conservación refrigerada y los envases inteligentes, ayudan a prolongar la vida útil de los alimentos y reducir el desperdicio en la cadena de suministro.

Mayor trazabilidad y seguridad

El uso de la tecnología digital, como es el caso del blockchain, es una herramienta tecnológica que permite rastrear el origen y la trayectoria de los alimentos, asegurando la calidad, seguridad y transparencia para el consumidor (Singh y Sharma, 2023).

Aumento de la accesibilidad a la alimentación

La tecnología digital permite a especialistas como al público en general a tener mayor acceso a información sobre nutrición, recetas y productos saludables, oferta de establecimientos o tiendas virtuales lo que ayuda a mejorar los hábitos alimenticios y la salud pública (Singler et al., 2024).

Desarrollo de nuevos alimentos y procesos

La biotecnología y la nanotecnología ofrecen nuevas oportunidades para desarrollar alternativas de control de plagas y enfermedades, biofertilizantes que permitan ser más eficientes y rentables en la producción de alimentos, así mismo que sean más nutritivos, seguros y sostenibles, Además de general tecnologías como biopelículas y recubrimientos que alarguen la vida y calidad de los alimentos cosechados y de los procesados, así como para la creación de empaques y embalajes (Huaman-Moran, et al., 2024).

Optimización de la logística y la distribución

El uso de sistemas de gestión de transporte, aplicaciones móviles y análisis de datos permite optimizar la logística y la distribución de alimentos, reduciendo costos y desperdicios (Cosme, et al. 2025).

Monitoreo y gestión de riesgos

La tecnología permite monitorear los cultivos y los alimentos en busca de plagas, enfermedades y contaminantes, lo que ayuda a prevenir brotes y asegurar la calidad de los productos. Así como monitorear procesos en los sistemas alimentarios a lo largo de la cadena de valor que permita detectar y análisis peligros y puntos críticos de control que perita asegurar la calidad de los alimentos (Zamora, et al., 2018; Pulido-Rojano, et al. 2020).

Inclusión social y empoderamiento de pequeños productores y a los consumidores

La tecnología digital da a los pequeños agricultores acceso a herramientas, información y conocimientos que les permite mejorar y hacer más eficiente los procesos de producción, postcosecha y trasformación, logrando alcanzar mayores rentabilidades, así como acceder a nuevos mercados o lograr vender a mejores precios. Así mismo, los consumidores mediante diversos sistemas de información pueden tener acceso a mayor información sobre los productos que consumen, así como los lugares o proveedores (Salgado, et al., 2024).

Uso de energías renovables

El avance en el conocimiento de las energías renovables y su acceso cada vez más popular, permite de empresas desde las productoras, transformadoras y de centro de comercialización de productos alimenticios, usen estas nuevas tecnologías e inviertan en infraestructura que les permita hacer un uso más racional de la energía y reducir los costos, lo que mejora la eficiencia energética, disminuye la huella de carbono y contribuye a la seguridad alimentaria, haciendo a los sistemas alimentarios más independientes y resistentes a los cambios climáticos. Por otra parte, su implementación en comunidades rurales, tiene un amplio impacto ya que permiten mejorar la productividad agrícola, impulsar los medios de vida y mejorar la salud pública (Ferreira-da Silva, et al. 2022).

INTERDISCIPLINARIEDAD

La interdisciplinariedad es importante en el estudio de los Sistemas Alimentarios sostenibles, que permita comprender y abordar la complejidad de las diversas interacciones entre la producción, distribución y consumo de alimentos con la seguridad alimentaria y el medio ambiente. Esto implica integración de conocimientos de diversas disciplinas, desde la agricultura, la biología, química, física, ecología, medicina veterinaria, zootecnia, acuacultura, biotecnología, sistemas de información, la nutrición, hasta la economía, la sociología y la política, entre

otras, para lograr soluciones sostenibles que consideren las dimensiones ambientales, sociales y económicas y que permitan enfrentar los retos que se presentan en la actualidad, garantizando los recursos para las futuras generaciones.

El trabajo interdisciplinario es importante ya que permite tener una aproximación holística que permita comprender los sistemas alimentarios como entidades complejas y en interrelación, considerando factores como la producción, el procesamiento, la distribución, el consumo y la gestión de residuos, ya que de esta forma facilitará la identificación y resolución de problemas complejos que afectan la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, como el cambio climático, la inseguridad alimentaria y la contaminación, permitiendo así promover la innovación en la agricultura, la tecnología alimentaria y la gestión de los recursos, y la adaptación a las condiciones locales y a los cambios ambientales, en donde involucra a diferentes actores de la sociedad, incluyendo productores, consumidores, investigadores, y las autoridades para impulsar la transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles e inclusivos y justos (Parajuá, y Tello, 2023; Latorre y Velazquez 2023; Rodriguez-Peñaguirre, et al., 2022).

El trabajo interdisciplinario es esencial para construir sistemas alimentarios sostenibles con integración de conocimientos de diferentes áreas, junto con la participación de la sociedad y la innovación que garanticen la seguridad alimentaria y la nutrición de las personas, preservando los recursos naturales para las futuras generaciones.

> Considerando que los sistemas alimentarios actuales se caracterizan por ser altamente insostenibles. A nivel global, son responsables de la superación de al menos cinco de los límites planetarios de la crisis ecológica en curso biodiversidad, agua dulce, disrupción de los ciclos biogeoquímicos del fósforo y del nitrógeno, y emisiones de gases de efecto invernadero y, concretamente, más de un tercio de las emisiones de GHGs totales son consecuencia de su funcionamiento actual, siendo por tanto importantes impulsores del cambio climático. Al mismo tiempo, la producción de alimentos es una de las actividades que está en mayor riesgo por los impactos de las variaciones en el clima (Parajuá y Tello, 2023).

En este contexto, diversos sectores ven como inminente la necesidad de transformar los sistemas alimentarios actuales para que sean más sostenibles y también más justos. Las acciones emprendidas por instituciones como el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (CFS) de Naciones Unidas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o la Comisión Europea para promover la agroecología (Caron et al, 2018; European Commission, n.d.; High Level Panel of Experts [HLPE], 2019) son claros ejemplos de ello. Por lo que la manera en cómo tales transformaciones se deben llevar a cabo requiere de una mira global pero también local y de trabajo interdisciplinario, dado el gran número de actores que participan en estos sistemas (Parajuá y Tello, 2023).

La articulación entre disciplinas conlleva cambiar los currículos centrados en un área del conocimiento a otros que permitan el acceso de diversos profesionales

para la innovación desde un enfoque *bottom-up*. Es necesario incluir asignaturas para entender la sostenibilidad desde tres ejes Producción-transformación, Recursos Naturales y Socioeconómico, que permita comprender desde una mirada holística las etapas de los sistemas alimentarios como son la producción, transformación, transporte y comercialización de los alimentos, y sus impactos en el equilibrio de los ecosistemas, la sociedad, los saberes locales y la seguridad alimentaria pero también las alternativas tecnológicas, organizativas, normativas y trabajo que puedan tener un impacto positivo en la solución de los diversos problemas de los sistemas alimentarios desde una mirada de lo local a lo global.

Desde la producción hasta el consumo de los alimentos está implicado todo un proceso que incluye inocuidad, trazabilidad, uso de energías, generación de desperdicios, deterioro de los recursos naturales, por lo que este proceso enfrenta diversos desafíos y necesidades, y en el que la población está inmersa ya que de ello depende básicamente su seguridad nutricional.

Sin embargo, en este proceso de los sistemas alimentarios y visto desde las perspectivas integrales e interdisciplinares, se encuentra la revaloración de las pérdidas y desperdicios de alimentos, generados en la cadena productiva y los desafíos abordados de la economía circular. La transformación y obtención de productos capaces de reingresar a la cadena de producción de alimentos y de solventar la mejora sostenible son un plus que revaloriza a los procesos generados en la cadena de transformación de los productos alimenticios. Actualmente, se espera un mayor auge en el desarrollo de tecnologías verdes y sustentables, después de conocer los procesos existentes en el flujo de material biológico para mantener, transformar y dar seguridad alimentaria. A pesar de que se ha demostrado que se logra reducir la pérdida de recursos, mediante la transformación de la materia en productos nuevos, alternativos o mejoras a los ya existentes sin afectaciones fuertes y con ello poder alcanzar de forma sustancial una producción circular siendo una necesidad prioritaria.

FUTURAS DIRECCIONES Y OPORTUNIDADES

Diversas instituciones e investigadores a nivel mundial apuntan que el futuro para tener sistemas alimentarios sostenibles es necesario promover al estudio e implementación de procesos con una mirada holística, interdisciplinaria e intersectorial, con enfoque sistémico y de cadenas productivas, cadenas cortas y el trabajo desde lo local a lo global, participativas e inclusivas, con un papel preponderante del uso de la tecnología.

En la producción es necesario estudiar e implementar los principios que establece la agroecología, promover la diversificación y en todo el sistema alimentario la creación de sinergias, la eficiencia, el reciclaje, la aplicación de conceptos de la economía circular y el uso de tecnologías que apoyen y desarrollen procesos, así como mayor educación a los consumidores, como actores claves dentro del sistema alimentario.

Por lo que se debe promover la innovación participativa para responder a desafíos locales, la reducción del uso de insumos, la preservación de la biodiversidad y aumentar la eficiencia energética, reducir los desechos y aumentar la eficiencia en los

procesos. Las oportunidades incluyen la creciente demanda de productos sostenibles, avances tecnológicos y el reconocimiento de la importancia de la biodiversidad y el manejo de los recursos agua y suelo.

ENFOQUES CLAVE PARA EL FUTURO

La producción sostenible de alimentos

Una de las claves es la de promover la *agroecología*, y la *agricultura urbana* para reducir el impacto ambiental y aumentar la seguridad alimentaria local; así mismo promover la *pesca sostenible*, implementando prácticas que permitan la pesca responsable y evitar la sobreexplotación de recursos marinos y también la *Ganadería Sostenible o regenerativa*, fomentando prácticas ganaderas que minimicen el impacto ambiental, como el uso de pastos naturales y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como la *creación de sinergias* entre diferentes componentes del sistema alimentario, como la agricultura y la ganadería o la agricultura y la silvicultura, puede mejorar la eficiencia y la sostenibilidad.

Desarrollar e implementar la producción Agroecológica

Bajo los principios de la agroecología, promover la diversificación y la creación de sinergias entre diferentes cultivos y la adopción de prácticas que promuevan la salud del suelo, se busca la eficiencia en la producción de alimentos, optimizando el uso de recursos naturales y minimizando el impacto ambiental, promoviendo el uso de métodos naturales para controlar plagas y enfermedades como la rotación de cultivos, el uso de plantas repelentes y la promoción de la biodiversidad y búsqueda de la creación de sistemas alimentarios locales y resilientes que puedan resistir las adversidades climáticas y económicas, dándole gran importancia a la vida rural y promoviendo la creación de empleo y el desarrollo económico en áreas rurales, a través de la diversificación de las actividades agrícolas y la promoción de la agricultura familiar (Altieri, 2002; Altieri y Nicholls, 2013; Nicholls, Henao, y Altieri, 2017; Altieri y Nicholls, 2020).

Uno de los factores clave para lograr la sostenibilidad de los sistemas alimentarios es mejorar la eficiencia en el uso de los recursos como el agua, el suelo, energía e insumos aspecto fundamental para reducir el impacto ambiental de la producción, trasformación, transporte y consumo de alimentos.

Implementación de principios de la economía circular en los sistemas alimentarios

Esta busca transformar la forma en que producimos, distribuimos y consumimos alimentos, minimizando el desperdicio y maximizando la eficiencia de los recursos, se basa en el principio de cerrar el ciclo de vida de los productos, evitando que los residuos se conviertan en desechos y buscando reutilizar o reciclar los materiales y recursos lo más posible. Dentro de las principales estrategias esta reducir el desperdicio de alimentos en todos los eslabones; así como reutilizar y reciclar residuos orgánicos, pasando por diseñar sistemas de embalaje sostenibles, el fomento de la producción de

alimentos locales y de temporada, utilizar cadenas cortas de suministro, es decir, reducir la necesidad de transporte a larga distancia, disminuyendo la huella de carbono de la cadena alimentaria y promover el consumo responsable.

Innovación participativa

Es como uno de los pilares de la sostenibilidad, logrando la participación de los agricultores, los consumidores y otros actores en la creación de soluciones para los problemas de los sistemas alimentarios, es esencial para el éxito de las iniciativas de sostenibilidad.

La colaboración entre los diferentes actores de los sistemas alimentarios

Los agricultores, los consumidores, las empresas y el gobierno son esenciales para el éxito de las iniciativas de sostenibilidad.

La creación y uso de la tecnología

En todas las etapas de los sistemas alimentarios permite obtener una mayor eficiencia en los procesos y en la generación y uso energético, reduciendo los efectos de gases o productos contaminantes al ambiente; así como para la creación de nuevos productos, el transporte, comercialización y consumo de los alimentos, acercando también los avances tecnológicos a los productores y creando consumidores más informados y conscientes de su alimentación. La creciente demanda de productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente está impulsando la transición hacia sistemas alimentarios más sostenibles.

Las políticas y regulaciones que promueven la sostenibilidad en los sistemas alimentarios

Aplicando normas y estándares como en la agricultura orgánica, la inocuidad alimentaria, economía circular, reducción de emisiones de gases con efecto invernadero y la regulación del uso de pesticidas, huella de carbono, son esenciales para el éxito de las iniciativas de sostenibilidad.

Adaptaciones e investigaciones para lograr sistemas alimentarios resilientes ante los efectos del cambio climático

Para lograrlo es fundamental diversificar los cultivos, mejorar la gestión del agua y la tierra, y promover prácticas agrícolas sostenibles. También es importante desarrollar variedades de cultivo resistentes a las sequías y otras condiciones climáticas extremas, así como apoyar a los pequeños agricultores y las comunidades locales. Promover prácticas agroforestales, así como la Gestión de riesgos de desastres y construir infraestructuras agrícolas que sean resistentes a las inundaciones, sequías y otros impactos del cambio climático. No menos trascendente es fomentar la innovación y la investigación y fortalecer la agricultura local, apoyando a los productores locales y la conservación de variedades tradicionales y la biodiversidad, ya que puede ayudar a mejorar la resiliencia de los sistemas alimentarios, así como promover la restauración de los ecosistemas naturales, como los bosques, los humedales y manglares.

Cadenas de Valor Cortas

Que permitan fortalecer lazos entre productores locales, procesadores y consumidores para reducir la huella ambiental y aumentar la transparencia en la cadena alimentaria.

Consumo responsable

El cual incluye tanto la dieta sostenible que promueve el consumo de alimentos de origen local, de temporada y con bajo impacto ambiental, así como la reducción en el desperdicio de alimentos.

Implementar políticas públicas que promuevan la sostenibilidad alimentaria

Estas abarcan desde la regulación de la agricultura y la pesca, la reducción de residuos, la promoción de la alimentación local y la educación en sostenibilidad alimentaria. Los sistemas alimentarios sostenibles del futuro serán más eficientes, resilientes, equitativos y sostenibles, gracias a la combinación de innovación tecnológica, prácticas agroecológicas, políticas públicas y una mayor conciencia del consumidor.

Estas son las 20 acciones que WWF (2024), considera prioritarias para transformar los sistemas alimentarios en el mundo según el contexto de cada país:

1. Optimizar el uso de la tierra.
2. Restaurar la biodiversidad.
3. Aumentar el almacenamiento de carbono.
4. Aumentar la diversidad (agrobiodiveridad).
5. Apoyar a los pequeños agricultores.
6. Mejorar los derechos de tenencia de la tierra.
7. Fortalecer los compromisos a nivel nacional.
8. Aumentar la ambición de las directrices dietarias nacionales.
9. Fortalecer la investigación y el desarrollo.
10. Mejorar la recopilación y medición de datos.
11. Aumentar la conciencia pública.
12. Promover el consumo de alimentos locales.
13. Adoptar métodos de alta tecnología.
14. Desarrollar infraestructura.
15. Desarrollar proteínas alternativas.
16. Apoyar la importación de alimentos saludables.
17. Desarrollar cadenas de suministro positivas para la naturaleza.
18. Redirigir los subsidios para mejorar la producción.
19. Financiar programas de alimentación escolar y compras públicas.
20. Proporcionar incentivos financieros e impuestos para mejorar el consumo.

Su futuro se perfila con un enfoque en la producción local, la reducción de residuos, la adopción de prácticas agrícolas regenerativas y el uso de tecnología para optimizar la producción y distribución.

El futuro de los sistemas alimentarios sostenibles se define por la necesidad de transformar nuestro modelo alimentario actual hacia uno más resiliente, inclusivo y sostenible, que asegure la seguridad alimentaria para todos y proteja el planeta para las futuras generaciones.

REFERENCIAS

Alkon, A. H. y Agyeman, J. (2011). Cultivando la justicia alimentaria: Raza, clase y sostenibilidad. *La prensa del MIT*. DOI: https://doi.org/10.7551/mitpress/8922.001.0001

Altieri, M. A. (1995). Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. *CRC Press*.

Altieri, M.A. (2002). Agroecología: Principios y Estrategias para Diseñar Sistemas Agrarios Sustentables. In *Agroecología: El Camino Hacia una Agricultura Sustentable;* Sarandon, S.J., Ed.; Ediciones Científicas Americanas: Buenos Aires, Argentina; pp. 49–56

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20.

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). *La Agroecología en tiempos del COVID-19*. University of California, Berkeley. Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas CELIA, 1-6.

Aschemann-Witzel, Marija, D. A., Perito, M.A. 2023.Defining upcycled food: The dual role of upcycling in reducing food los and waste. Trends in food Science & technology 132, 132-137.

Carrillo, J. F., (2024). La sostenibilidad como pilar clave en el diseño de alimentos. Alimentaria: *Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 29-31.

Cosme, J. E., Preciado, R., Martínez, M.A. (2025). Evaluación del uso de sensores en la logística de distribución física. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el desarrollo Educativo 15 (30).

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2021). La producción de alimentos hacia un mundo con más de 9 mil millones de habitantes – CIMMYT_IDP.pdf https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-produccion-de-alimentos-hacia-un-mundo-con-mas-de-9-mil-millones-de-habitantes/

Davis, B., Mane, E., Gurbuzer, L. Y., Caivano, G., Piedrahita, N., Azhar, N., Benali, M., Chaudhary, Rivera, R., Schneider, K., Ambikapathi, R. y Winters, P. (2023). Estimating global and country-level employment in agrifood systems. *FAO Statistics Working Paper* Series, (23/34). https://doi.org/10.4060/cc4337en

Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234–245.

FAO, FIDA, OPS, WFP y UNICEF. (2023). *Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional - América Latina y el Caribe 2022: hacia una mejor asequibilidad de las dietas saludables*. Santiago de Chile. https://doi.org/10.4060/

FAO, FIDA, OPS, PMA y UNICEF. (2023). *América Latina y el Caribe - Panorama regional de la seguridad alimentaria y la nutrición 2023: Estadísticas y tendencias*. Santiago. https://doi.org/10.4060/cc8514es

Ferreira-da Silva, Osvaldo André Paulo, Vargas-Rodríguez, Pável, Dorta-Armaignac, Abel, Fernández-Hung, Kaddiel, Hernández-Ramírez, Ignacio, & Méndez-Jocik, Alberto. (2022). Use of Renewable Energy in Agricultural Processes to Produce Food. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 31(1)

Gliessman, S. R. (2014). Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems (3rd ed.). *CRCPress*.

High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (HLPE FSN). (2017). *La nutrición y los sistemas alimentarios. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma*. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPEReport-12_ES.pdf

Huaman-Moran, R., Chavez, C. Larrea-Cerna, D. (2024). Nanotecnología y biopolímeros: Una alternativa sostenible para los empaques y embalajes. 2024. *Manglar* 21 (4), 545-560.

Ingram, J. (2011). A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. *Food Security*, 3(4), 417–431.

Latorre ME y Velazquez DE. (2023). Importancia de la interdisciplinariedad en el desarrollo tecnológico de alimentos. *Salud, Ciencia y Tecnología* – Serie de Conferencias. 2023; 2(1):48. doi.org/10.56294/sctconf202348

Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2017). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7–31. Recuperado a partir de https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711

Organización De Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2014). *Hacia una agricultura familiar más fuerte*. Roma, Italia. 31p. http://www.fao.org/3/a- i4171s.pdf

Organización De Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2014). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación.*

Organización De Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. (2015). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *La innovación en la agricultura familiar*. Roma, Italia. 153p. http://www.fao.org/3/a-i4040s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *Transformar la alimentación y la agricultura para alcanzar los ODS*. 71 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Informe de las Naciones Unidas: las cifras del hambre en el mundo.* https://www.who.int/es/news/item/06-07-2022-un-report--global-hunger-numbers-rose-to-as-many-as-828-million-in-2021

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo.* https://openknowledge.fao.org/items/ec2794d0-7265-47d8-a9c1-439c7d836a50

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo.* https://openknowledge.fao.org/items/258c4bcf-0489-4544-986d-ce6d00118dea

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *América Latina y el Caribe - Panorama Regional de la Seguridad Alimentaria y la Nutrición.* https://openknowledge.fao.org/items/8316173a-d391-4f2b-9350-d3156d97c685

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2025). *Servicio de asistencia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible* https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/overview/agrifood-systems-and-the-2030-agenda/es

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2025). *Los sistemas agroalimentarios y la Agenda 2030.* https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/overview/agrifood-systems-and-the-2030-agenda/es

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2025). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2024: Transformación de los sistemas agroalimentarios orientada hacia el valor.* Roma. https://doi.org/10.4060/cd2616es

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2025). *Cambio climático.* https://www.fao.org/newsroom/detail/new-data-shows-that-crops-like-wheat--coffee--beans-and-cassava-could-lose-half-of-the-best-land-for-growing-them-by-2100/en

Organización Mundial de la Salud. (2022). Residuos de plaguicidas en los alimentos. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food

Parajuá, N. y Tello, E., (2023). Analizando sistemas alimentarios Un marco de investigación a escala nacional. *REC Revista de economía crítica*, Nº. 36, 94-113.

Patel, R. (2009). What does food sovereignty look like? *Journal of Peasant Studies*, 36(3), 663–706.

Piñeiro, M.; Luiselli, C.; Ramos, Á. y Trigo, E. (2021). El sistema alimentario global: una perspectiva desde América Latina. Buenos Aires: *Teseo Press*. URL: https://www.teseopress.com/elsistema-alimentarioglobal

Pulido-Rojano, A. D., Ruiz-Lázaro, A., & Ortiz-Ospino, L. E. (2020). Mejora de procesos de producción a través de la gestión de riesgos y herramientas estadísticas. Ingeniare. *Revista chilena de ingeniería,* 28(1), 56-67.

Rockström, J. et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475.

Salgado, E. E., Cabezas, Y., Alvear, M.A. (2024). Transformación digital en la comercialización agroempresarial: oportunidades y desafíos para los pequeños productores. *Código Científico Revista de Investigación* 5 (1), 1337-1344.

Singh, V., y Sharma, S. K. (2023). Application of blockchain technology in shaping the future of food industry based on transparency and consumer trust. *Journal of Food Science and technology* 60 (4), 1237-1254.

Singler, G., Cruz, A., Placencia, J.A., Reyes, J. (2024). Portal Web para la divulgación de hábitos alimenticios saludables. *Serie científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas* 17 (4), 1-10.

Tirado, J. D., y Mecola, J. C. (2024). Robotic Process Automation and its Impact on Purchasing and Supply Chain Managemen. *Gestión de operaciones industriales*. Vol 03 N°01: 64 – 79, https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/RINGIND

Tubiello, F. N., Conchedda, G., Wanner, N., Federici, S., Rossi, S., and Grassi, G. (2021): Carbon emissions and removals from forests: new estimates, 1990–2020, *Earth Syst. Sci*. Data, 13, 1681–1691, https://doi.org/10.5194/essd-13-1681-2021.

Tubiello, F. N., Conchedda, G., Kevin Karl, Johannes, K., Xueyao, P., et al. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environ*. Res. Lett. 16 065007 DOI 10.1088/1748-9326/ac018e

Willett, W. et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492.

WFP. Programa Mundial de alimentos. (2024). *Tres acciones clave para construir sistemas alimentarios sostenibles y acabar con el hambre*. https://es.wfp.org/historias/tres-acciones-clave-para-construir-sistemas-alimentarios-sostenibles-y-acabar-con-el-hambre

WWF. 2024. Solving the Great Food Puzzle: Place-based solutions to help scale national action. Loken, B., Loring, P., et al. https://www.wwf.es/?68120/Analizamos-los-sistemas-alimentarios-de-mas-de-100-paises#:~:text=Los%20sistemas%20alimentarios%20insostenibles%20son,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.

Zamora, L. G. V., Larriba, G. E. V., & Larriva, L. V. (2018). Sistema integrado de gestión de monitoreo de riesgos más allá de las ISO. *Signos: Investigación en sistemas de gestión*, 10(2), 25-40.









CAPÍTULO I
SISTEMAS ALIMENTARIOS, GÉNERO Y TEORÍA DE CAMBIO: UNA PERSPECTIVA DESDE HEIFER MÉXICO

María Isabel Ruiz Muñoz y Ali Madai Becerril Carmona[1]

INTRODUCCIÓN

Este capítulo propone una aproximación al enfoque de género e inclusión en los sistemas alimentarios al reconocer el rol clave de las mujeres, así como las barreras que enfrentan para poder obtener los máximos beneficios a través de su trabajo en estos sistemas. Este acercamiento se enriquece con la experiencia de Heifer Internacional en México (Heifer México), específicamente a través del trabajo realizado con el colectivo autodenominado como *Mujeres Voladoras*; el análisis de esta experiencia busca ilustrar cómo la implementación de la Teoría de Cambio para el Empoderamiento de las Mujeres, desarrollada por Heifer Internacional para la región de las Américas, permite impulsar procesos de transformación económica, así como en materia de agencia, incidencia política y ambiental en comunidades rurales, colocando a las mujeres como agentes clave, líderes del desarrollo sostenible a escala local.

El recorrido a través de este capítulo, parte del reconocimiento del paradigma actual de desarrollo sostenible, enmarcado en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de la necesidad urgente de una transformación sistémica que responda a la complejidad de las crisis interrelacionadas que vivimos en la actualidad. En este contexto, los sistemas alimentarios se consideran una palanca estratégica para la transformación. Aunque las mujeres juegan un rol clave en este proceso, enfrentan también desafíos diferenciados, los cuales se presentan en forma de cifras contextuales de la situación de las mujeres rurales en

1 Heifer Internacional México

Mexico. Reconocer estos desafíos ha llevado a las agencias de desarrollo a plantear estrategias específicas de trabajo en función del género.

Heifer Internacional, como agencia de desarrollo, plantea una estrategia para el trabajo con mujeres en los sistemas alimentarios en la región de las Américas, a través de su Teoría de Cambio para el Empoderamiento de la Mujer. El capítulo explica las bases de esta teoría de cambio y presenta una experiencia de aplicación de ésta en el proyecto "Más Alla del Café – El poder de las Alianzas" en el cual Heifer México trabajó con el colectivo de mujeres caficultoras *Mujeres Voladoras*.

Esta experiencia de implementación de la Teoría de Cambio permite evidenciar una herramienta útil para detonar procesos de empoderamiento femenino, sin embargo, en la práctica cotidiana en diversos proyectos, los resultados no siempre son como se espera. Esto detonó un proceso reflexivo de parte del equipo implementador en campo, el cual permitió visibilizar desafíos que enfrentan las mujeres para participar en proyectos que son contextuales y complementarios a aquellos que aborda la Teoría de Cambio.

Finalmente, se presenta una reflexión sobre los aprendizajes, desafíos y oportunidades que emergen del acompañamiento en territorio, en particular sobre la distancia entre el diseño teórico de las estrategias y su implementación en contextos complejos y desiguales. La intención es aportar a una lectura crítica y situada de la práctica del desarrollo, destacando la necesidad de incorporar procesos más participativos, interseccionales y sensibles a las dinámicas culturales, lingüísticas, territoriales y de poder que configuran los sistemas alimentarios. En este sentido, el capítulo propone abrir la teoría a los contextos, reconociendo a las mujeres no sólo como beneficiarias, sino como coautoras del cambio en sus comunidades y territorios.

PARADIGMA DE DESARROLLO ACTUAL, SISTEMAS ALIMENTARIOS Y MUJERES

Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), en el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023, el paradigma predominante de desarrollo sostenible se orienta a una transformación profunda y sistémica de los modelos económicos, sociales y ambientales, en respuesta a una "era de policrisis", caracterizada por la relación entre cambio climático, desigualdad, crisis alimentarias y energéticas, así como debilidad institucional. En este escenario, los sistemas alimentarios se posicionan como una de las palancas estratégicas para lograr dicha transformación, ya que atraviesan dimensiones clave como: seguridad alimentaria, salud, economía rural, biodiversidad y cambio climático.

Transitar hacia sistemas alimentarios sostenibles, inclusivos y resilientes permite avanzar hacia el cumplimiento de múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible, desde el ODS 2 (Hambre Cero) hasta el ODS 13 (Acción por el Clima). En este camino las mujeres desempeñan un papel central e insustituible. Su inclusión plena en los sistemas alimentarios es una condición estructural para lograr su sostenibilidad, ya que estos no son neutros al género: requiere que las mujeres sean coautoras de los procesos de transformación que afectan sus territorios, su salud, sus medios de vida y la alimentación de sus comunidades (Naciones Unidas, 2023).

En este contexto, las organizaciones dedicadas al desarrollo sostenible se enfrentan al desafío de responder con mayor efectividad y pertinencia a las condiciones de desigualdad a las que se enfrentan las mujeres en los diferentes aspectos de la vida social que, por un lado, limitan su participación y por otro, reducen los posibles alcances de las estrategias de desarrollo. Cuando hablamos de sistemas alimentarios, género e inclusión, la agenda actual ha estado fuertemente marcada por los aspectos que limitan la participación de las mujeres en los sistemas productivos y en las cadenas de valor. Principalmente la FAO y los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030, marcan en las agendas de intervención, las transferencias monetarias y las pautas para la implementación de programas y proyectos, mismos que se centran en los siguientes aspectos:

El limitado acceso de las mujeres a recursos productivos tales como el acceso a tierras, créditos, capacitaciones y mercado. En México, de acuerdo con el Censo Agropecuario del 2022, las mujeres representaron el 16% de la mano de obra en las actividades agropecuarias, mientras que los hombres constituyeron el 84%, mostrando una disminución respecto al 19.7% reportado el 2007.

La brecha entre el tiempo que hombres y mujeres dedican al trabajo remunerado y no remunerado, de acuerdo con la Encuesta Nacional sobre Uso del Tiempo (ENUT), en 2019 en las localidades rurales (localidades con menos de 10,000 habitantes), los hombres dedican en promedio 41.4 horas semanales al trabajo remunerado, mientras que las mujeres dedican 28.3 horas, una brecha de 13.1 horas a la semana de desventaja, que repercute directamente en los ingresos económicos de las mujeres.

Así mismo, la sobrecarga laboral por el trabajo no remunerado**,** las mujeres se encargan mayoritariamente de las labores de limpieza de hogar y cuidados de la familia. De acuerdo con la ENUT, en 2019 las mujeres dedicaron en promedio 35.9 horas a la semana a estas actividades, mientras que los hombres dedicaron 9.6 horas, resultando en una brecha de 26.3 horas a la semana. Tiempo que pone a las mujeres en desventaja y limita su participación en diversas actividades fuera del ámbito doméstico.

Por otro lado, la desigualdad en la toma de decisiones se reconoce como un aspecto medular en el ejercicio político de las mujeres y su representatividad en las estrategias de futuro en sus comunidades. Desde 2016 se reformó la Ley Agraria para establecer una cuota de género del 40% para cargos de comisarías ejidales y consejos de vigilancia, pero en 2019 solo el 7.4% de los ejidos y comunidades agrarias eran presididos por mujeres. Y, de acuerdo con el registro Agrario Nacional (RAN), en 2023 solamente el 25.9% de personas ejidatarias registradas eran mujeres, es decir 3 de cada 10 personas ejidatarias o comuneras son mujeres, reflejando una significativa brecha de género en la propiedad de la tierra.

La Violencia Basada en Género es un aspecto transversal a las estrategias de inclusión y desarrollo de las mujeres y sus comunidades, particularmente “las mujeres rurales están expuestas a una combinación de discriminación basada en género, pobreza y exclusión social, lo que incrementa su vulnerabilidad a formas de violencia, explotación laboral y abuso” (FAO, 2018). A pesar de que el INEGI cuenta con el

Sistema Integrado de Estadísticas sobre Violencia contra las Mujeres, éste carece de estadísticas específicas sobre violencia basada en género en los contextos rurales y/o agrícolas. Sin embargo, diversos estudios y organizaciones han señalado que las mujeres rurales enfrentan múltiples formas de violencia, incluyendo: Violencia económica y patrimonial, violencia institucional y violencia estructural.

Adicionalmente, es importante mencionar la diferencia en cuanto a los impactos del cambio climático, "Las mujeres que dirigen granjas y hogares rurales en áreas empobrecidas enfrentan mayores adversidades por el cambio climático y sufren discriminación al buscar fuentes de ingresos alternativas durante la crisis" (FAO, 2023), las múltiples condiciones de exclusión derivan en una menor capacidad adaptativa por limitaciones en el acceso a recursos e información.

En el sentido de lo anteriormente planteado, las propuestas de acción en las agendas internacionales se enfocan principalmente en seis estrategias, Fortalecimiento de la tenencia y acceso a tierras, Programas integrales con enfoque de género e inclusión, Promoción del empoderamiento económico femenino, Incremento de la representación en espacios de decisión, estrategias contra la Violencia Basada en Género y Adaptación al Cambio Climático con perspectiva de género.

TEORÍA DE CAMBIO Y SISTEMAS ALIMENTARIOS TRANSFORMADOS

La teoría de cambio es una herramienta usada en el diseño, implementación y evaluación de programas y proyectos de desarrollo, ya que permite visualizar de manera lógica y estructurada cómo se espera que una intervención determinada logre un cambio deseado (United Nations, 2017). Este enfoque se basa en una secuencia causal que, de forma sistemática y perceptible, demuestra cómo se relacionan los recursos disponibles, las acciones y los cambios previstos, de esta manera se presenta como un "mapa de ruta" de un programa o proyecto (W.K. Kellogg Foundation, 2004).

El Grupo para el Desarrollo de las Naciones Unidas, UNDG por sus siglas en inglés, enfatiza que una teoría de cambio ayuda a "Identificar soluciones fundamentadas para abordar las causas profundas de los problemas, guiar decisiones sobre estrategias más adecuadas para lograr el impacto deseado y a explicitar los riesgos y supuestos que podrían condicionar los resultados esperados. Esta herramienta también se convierte en un espacio de construcción colectiva cuando se desarrolla de manera participativa con los actores involucrados" (United Nations, 2017).

Su relevancia radica en que ofrece una base lógica para articular las acciones de desarrollo en contextos complejos, como los sistemas alimentarios, la equidad de género o el cambio climático (United Nations, 2017). Según el UNDG "la teoría de cambio contribuye no solo a una mejor planificación, sino también a la rendición de cuentas, el aprendizaje institucional y la construcción de alianzas más sólidas". Así es como esta herramienta puede adaptarse y orientar el camino hacia el cambio transformador.

Esta herramienta de evaluación y diseño cobra relevancia ante los cambios de paradigma que atraviesan las agencias del desarrollo, como lo es el Desarrollo Liderado Localmente, el cual "enfatiza la necesidad de comprender de manera matizada

las consideraciones de poder y justicia para que sea útil para las comunidades e instituciones locales" (Rahman, et. al., 2023, p. 2). El Desarrollo Liderado Localmente reflexiona en torno a los procesos de toma de decisiones mediante los cuales se construyen las ideas de cambio y señala la importancia de incluir a las personas, las instituciones y el conocimiento local en los diferentes momentos de implementación de planes, programas o proyectos.

Por otro lado, el llamado a la transformación de los Sistemas Alimentarios ha colocado en el centro del debate las consecuencias ambientales y sociales del modelo de producción, comprender los elementos interconectados de la producción, procesamiento, distribución, consumo y gestión de residuos dentro de los diversos contextos locales y globales para pensar estrategias que garanticen el acceso equitativo a alimentos saludables, producidos de manera sostenible al tiempo que aborda los desafíos que plantea el escenario de crisis generalizada en que vivimos actualmente (Sosa, 2021, p. 21). Así mismo, este enfoque enfatiza la necesidad de establecer diálogos inclusivos y acciones colectivas para transformar los sistemas alimentarios.

En esta coyuntura global es que Heifer México, se enfrenta a la necesidad de un replanteamiento, de la propia Teoría de Cambio y de las posibilidades de uso que esta herramienta ofrece, ante los desafíos que implica establecer estrategias cada vez más localizadas y específicas para atender las necesidades de los diferentes contextos locales.

EL CASO DE HEIFER MÉXICO: EL TRABAJO CON LAS MUJERES EN LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Heifer Internacional es una organización global sin fines de lucro, una agencia de desarrollo[2] que, desde 1944, trabaja para erradicar el hambre y la pobreza mediante un enfoque basado en el fortalecimiento de capacidades, el desarrollo de medios de vida sostenibles y la justicia social. Actualmente, la organización opera en 19 países siendo México uno de ellos. En su Plan Estratégico 2024–2030, Heifer México reafirma su compromiso con la transformación de los sistemas alimentarios a partir del liderazgo de los pequeños productores, con énfasis en la equidad de género, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico local. La organización impulsa modelos que promueven la inclusión, el acceso equitativo a recursos, la articulación a mercados justos y el desarrollo liderado localmente, reconociendo que sólo a través

2 Las primeras agencias de desarrollo surgieron en Europa en respuesta a los impactos causados por la Segunda Guerra Mundial, la disminución de la actividad industrial y la crisis económica (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, CAF, 2013). Actualmente, se entiende como agencia de desarrollo a las organizaciones —nacionales o internacionales— que desempeñan un papel clave en los procesos de desarrollo sostenible, al integrar el conocimiento técnico con el entendimiento profundo de los contextos locales (Joireman & Haddad, 2023). Estas agencias trabajan en estrecha colaboración con gobiernos, organizaciones de las Naciones Unidas y otras organizaciones no gubernamentales (ONG) para garantizar que la asistencia humanitaria y los programas de desarrollo estén alineados con planes nacionales de largo plazo. Su labor se dirige a temáticas como la promoción de la paz, la gestión del riesgo de desastres, la gobernanza de los recursos naturales y la atención a conflictos locales, su trabajo se centra en que los impactos sociales y ambientales sean de carácter duradero (Joireman & Haddad, 2023).

de sistemas alimentarios inclusivos, resilientes y sostenibles es posible que las comunidades rurales alcancen una vida digna.

Particularmente, Heifer Internacional propone una Teoría de Cambio para la región de las Américas que guía el trabajo directo con mujeres partícipes del sistema alimentario, a través de la cual se busca el empoderamiento económico femenino.

TEORÍA DE CAMBIO DE HEIFER PARA EL EMPODERAMIENTO ECONÓMICO DE LAS MUJERES

Heifer Internacional manifiesta un compromiso sustantivo con la igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres, al reconocer la necesidad de formular e implementar estrategias que contribuyan a transformar estructuras que limitan su participación plena y desarrollo integral en distintos ámbitos de la vida como el social, económico y productivo. Específicamente para la región de las Américas, Heifer Internacional reconoce el papel de las mujeres en las cadenas de valor y busca "el empoderamiento económico de las mujeres y un fortalecimiento en su capacidad de agencia, entendiendo que dicho empoderamiento está en directa vinculación con el aumento del bienestar económico y social de las familias" (Heifer Internacional, 2017).

Heifer Internacional considera el empoderamiento económico de las mujeres como un catalizador de transformaciones sistémicas, en tanto que este proceso fortalece su capacidad para tomar decisiones estratégicas sobre sus vidas, sus actividades productivas y su rol dentro del desarrollo comunitario. Cuando las mujeres acceden y ejercen control sobre recursos y activos clave como el crédito, la tierra, la capacitación y la tecnología, pueden desarrollar sus actividades productivas de manera más eficiente, rentable y con mayor potencial de escalabilidad (Malapit, Meinzen-dick, Quisumbing, & Zseleczky, 2020). Su participación y su reconocimiento es esencial para transformar las cadenas de valor y los sistemas alimentarios en estructuras más inclusivas, equitativas en términos de género y, por tanto, más resilientes y sostenibles (Malapit, Meinzen-Dick, Quisumbing, & Zseleczky, 2020).

Este empoderamiento económico se vincula directamente con el fortalecimiento de la agencia de las mujeres, entendida como la facultad de las personas para reflexionar sobre su situación, tomar decisiones y actuar estratégicamente con el fin de transformar las condiciones sociales y/o ambientales que las afectan. Implica no solo la acción, sino también la conciencia y la intención de incidir en el entorno, superando estructuras de desigualdad o exclusión. Desde esta perspectiva, la agencia es un componente central del empoderamiento y del desarrollo social, al reconocer a las personas como sujetas activas de cambio (González Aguirre, 2021). Al fortalecer su capacidad de agencia, las mujeres toman decisiones y actúan en relación con aspectos que afectan su vida personal, familiar y colectiva, como es el caso de la alimentación, la gestión de recursos o la participación en espacios de gobernanza local.

Para la región de las Américas, Heifer Internacional ha diseñado una Teoría de Cambio para el Empoderamiento de la Mujer, que responde a los desafíos que enfrentan las mujeres rurales al participar en cadenas de valor, a través de un enfoque

en cuatro dimensiones estratégicas: Agencia, Medio Ambiente, Incidencia Política y Económica. Con la visión de que el trabajo a través de estas dimensiones hará posible el cambio buscado por la organización.

Esta teoría reconoce que el empoderamiento no es un proceso lineal ni aislado, sino que se construye a partir de múltiples factores interrelacionados que inciden tanto en el ámbito personal como en el familiar, comunitario y estructural.

La dimensión de agencia se refiere a la capacidad de las mujeres de decidir actuar de una manera determinada con relación a cuestiones que la afectan a ella, su familia y la comunidad. Contempla acciones orientadas al fortalecimiento de habilidades blandas (como liderazgo, comunicación y negociación), así como a la alfabetización funcional, la capacitación técnica y el acceso a espacios de formación. Además, busca el reconocimiento de los aportes de las mujeres en el hogar, la comunidad y las actividades productivas. A través del trabajo en esta dimensión se busca que las mujeres tengan la capacidad de usar su agencia para la gestión y liderazgo de iniciativas tendientes a la transformación de su familia, asociaciones y comunidades. En las figuras 1 y 2 se muestran ejemplos de mujeres que han fortalecido su capacidad de agencia, en la figura 1 se muestra a Herlinda Sánchez quien participó en un proceso formativo en el marco del proyecto "Hijuelos". En la figura 2 se muestra a una participante del proyecto "Milpa para la Vida", que ha implementado mejores prácticas productivas en su gallinero de traspatio, lo cual le ha permitido incursionar en el mercado local, visibilizando su trabajo y reconocimiento.

Figura 1.
Mujer participante en espacios de formación en el marco del proyecto "Hijuelos" en Oaxaca.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 2.
Mujer participante del proyecto "Milpa para la Vida", implementa mejores prácticas productivas en su gallinero.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

La dimensión ambiental pone en el centro el papel fundamental de las mujeres en la gestión sostenible de los recursos naturales y en la resiliencia comunitaria frente al cambio climático. Esta dimensión parte del reconocimiento de la biodiversidad de los territorios como una base para el bienestar familiar y las oportunidades de emprendimiento. Promueve su participación en la implementación de prácticas agroecológicas y el uso de tecnologías. Por ejemplo, en la figura 3 se observa una

mujer participando en actividades de conservación de semillas nativas y criollas como estrategia de adaptación al cambio climático y en la figura 4 se observa una productora de café con sistema agroforestal. El trabajo en esta dimensión permitirá a las mujeres decidir y gestionar el uso de recursos naturales y tecnologías, participando activamente en el proceso de adaptación al cambio climático.

Figura 3.
Mujer participante en actividades de conservación de maíces nativos, en la península de Yucatán.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 4.
Caficultora trabaja en la renovación de su cafetal en un sistema agroforestal.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Es la dimensión de incidencia política la cual busca fortalecer la capacidad de las mujeres para organizarse y hacer efectiva su participación en espacios de toma de decisión, tanto a nivel organizativo como comunitario e institucional. Como parte de esta dimensión, podemos observar en la figura 5 cómo una promotora comunitaria participa como ponente en el foro Sistemas Alimentarios de Heifer Internacional, en Honduras. Esta dimensión contempla acciones dirigidas a la formación en derechos y normativas con enfoque de género, así como el impulso de liderazgos colectivos que permitan a las mujeres incidir en procesos de gobernanza local, diseñar e implementar proyectos y posicionar sus voces en espacios donde tradicionalmente han estado subrepresentadas. En la figura 6, un grupo focal de mujeres de la península de Yucatán se reunió para comunicar las prioridades de los proyectos futuros en Heifer México. La incidencia política se entiende aquí no solo como participación formal, sino como capacidad efectiva de influir en las decisiones que afectan sus vidas y territorios.

La dimensión económica busca garantizar que las mujeres accedan en condiciones de equidad a los mercados y contribuyan al desarrollo económico de su entorno. Esta dimensión comprende el impulso a emprendimientos liderados por mujeres, la participación activa en cadenas de valor, el acceso a crédito, ahorro, tecnologías apropiadas y asistencia técnica. En las figuras 7 y 8 se observan a miembros del Colectivo Kikibá, un emprendimiento liderado por mujeres que recibió el acompañamiento de Heifer México. Se parte del entendimiento de que

el empoderamiento económico no es únicamente una vía para mejorar el ingreso familiar, sino también un medio para fortalecer la autonomía y la toma de decisiones de las mujeres, generando impactos positivos en sus hogares y comunidades.

Figura 5.
Promotora comunitaria del proyecto "Milpa para La Vida" participa como ponente en el foro de Sistemas Alimentarios de Heifer Internacional, en Honduras.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 6.
Mujeres de la península de Yucatán en una sesión para decidir las prioridades de los proyectos futuros de Heifer México.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 7.
Mujeres de la península de Yucatán, se organizan para comercializar huevo y generar ingresos propios.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 8.
Huevo producido por gallinas libres de jaula y estrés, comercializado por el colectivo "Kikibá", conformado por mujeres de la Península de Yucatán.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Estas cuatro dimensiones están diseñadas para operar de forma interconectada. Por ejemplo, el fortalecimiento económico puede potenciar la capacidad de agencia; la participación política puede abrir puertas al acceso a recursos y el trabajo en la sostenibilidad ambiental puede mejorar las oportunidades de ingreso y posicionamiento social. La teoría de cambio de Heifer Américas, por tanto, implica procesos integrales e interdependientes que reconozcan a las mujeres como agentes clave en la transformación de sus sistemas alimentarios, económicos y sociales.

La Teoría de Cambio para el Empoderamiento de las Mujeres en Heifer Américas es una hoja de ruta estratégica que se utiliza para guiar y enfocar las acciones institucionales orientadas a la transformación de las desigualdades de género, especialmente en contextos rurales. Esta teoría no es un documento estático, sino una herramienta operativa, transversal e integral que se aplica en el diseño, ejecución, monitoreo y evaluación de programas y proyectos en toda la región.

MUJERES VOLADORAS. UNA EXPERIENCIA EMBLEMÁTICA

Un ejemplo representativo de la implementación de la Teoría de Cambio para el Empoderamiento de las Mujeres de Heifer Américas, con el empoderamiento económico como eje transformador, es la experiencia del grupo *Mujeres Voladoras* de San Juan Lachao, en la región costa de Oaxaca, en México. Esta iniciativa se desarrolló en el marco del proyecto regional "Más Alla del Café – El poder de las Alianzas", un proyecto clave para Heifer Américas en la cadena de valor de café. El proyecto tuvo como objetivo mejorar en al menos un 25% el ingreso neto de pequeños productores de café en México, Nicaragua y Honduras, mediante la diversificación productiva, el acceso a mercados más justos, el fortalecimiento organizativo y el desarrollo de capacidades para la resiliencia climática.

En el caso de San Juan Lachao, se identificó la necesidad de crear espacios específicos para la participación de las mujeres productoras quienes, a pesar de su contribución constante en la producción de café, habían sido históricamente invisibilizadas en los procesos de toma de decisiones y en la distribución de beneficios económicos.

En este contexto, surgió el grupo *Mujeres Voladoras*, un colectivo de mujeres organizadas que logró liderar iniciativas productivas propias, posicionar su café en el mercado y participar activamente en procesos comunitarios. Su experiencia ilustra cómo, a partir del acceso a recursos productivos y la generación de ingresos propios, las mujeres pueden fortalecer su agencia, transformar sus roles en el hogar y en la comunidad y ejercer liderazgo en procesos económicos, sociales y ambientales de su territorio.

El colectivo *Mujeres Voladoras,* en la figura 9, realizó acciones estratégicas que les permitieron fortalecer su autonomía económica y visibilizar su rol como productoras:

- Gestionaron la venta directa de café a compradores que ofrecían precios justos y diferenciados, reconociendo el valor agregado de ser un café producido por mujeres. En la figura 10 se observa su café empaquetado para la venta. Esta estrategia no solo mejoró sus ingresos, sino que también les permitió eliminar intermediarios y establecer relaciones comerciales más equitativas.
- Diversificaron sus fuentes de ingreso mediante la producción y comercialización de huevo, una actividad gestionada de forma grupal que complementó su economía familiar.
- Crearon y administraron una caja de ahorro grupal, que no solo fortaleció sus capacidades financieras, sino que también funcionó como un espacio de confianza, aprendizaje y toma de decisiones compartidas.

Figura 9.
Participantes del colectivo Mujeres Voladoras.



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Figura 10.
Café producido por el colectivo Mujeres Voladoras



Fuente: Fotografía del acervo de Heifer Internacional México.

Estas acciones constituyeron el punto de partida de un proceso más amplio de transformación, el cual se analizará a continuación desde las cuatro dimensiones estratégicas de la Teoría de Cambio para el Empoderamiento de las Mujeres propuesta por Heifer Américas.

En la dimensión económica es posible identificar que a través de la venta de café en cadenas de valor más cortas y de la diversificación de sus actividades productivas, se logró la generación de ingresos propios, lo que permitió a las mujeres ganar mayor autonomía, además la caja de ahorro grupal fortaleció la cohesión del grupo al tiempo que operó como una herramienta de inclusión financiera en un contexto rural donde los servicios bancarios formales son limitados.

En la experiencia con el colectivo *Mujeres Voladoras*, la transformación en la dimensión de agencia puede observarse cuando las mujeres incrementaron su participación en la toma de decisiones familiares a medida que su aporte económico fue reconocido dentro del hogar. Este reconocimiento también favoreció una mayor corresponsabilidad en las tareas del hogar por parte de diversos miembros de la familia, lo que les permitió disponer de más tiempo y apoyo para involucrarse en actividades formativas, organizativas y de liderazgo. Más allá del impacto económico, las mujeres comenzaron a desarrollar un sentido reforzado de confianza en sí mismas y en su capacidad de influir en su entorno. Participar en un grupo cohesionado y solidario, con metas comunes, reforzó su sentido de pertenencia y su identidad como sujetas políticas y productivas.

Desde la dimensión ambiental es valioso destacar que, al fortalecer su rol como productoras, las mujeres adquirieron nuevas capacidades en prácticas agroecológicas y sostenibles para el cultivo del café, como el manejo de sombra y el uso responsable del agua. Este conocimiento promovió una relación más consciente y activa con el entorno natural, consolidando su identidad como gestoras del territorio y cuidadoras del medio ambiente, en coherencia con los valores promovidos por Heifer.

En la dimensión de incidencia política, es posible identificar que el liderazgo dentro del grupo y en los procesos de comercialización del café, generó reconocimiento y legitimidad de las mujeres dentro de la comunidad; así lograron gestionar ante las autoridades municipales los permisos de instalación de un patio de secado para el café en un terreno comunitario y tuvieron incidencia en la toma de decisión de la comunidad sobre el área específica donde se instalaría este patio.

La experiencia de *Mujeres Voladoras* demuestra que el empoderamiento económico puede ser uno de los puntos de partida para transformar otras esferas de la vida de las mujeres, impactando de manera interrelacionada en la equidad de género, la sostenibilidad productiva y el fortalecimiento del tejido social en sus comunidades.

Los proyectos que se construyen y ejecutan tomando como guía la Teoría de Cambio para el empoderamiento de la Mujer, abren espacios para que el aporte de las mujeres en las cadenas de valor y en los sistemas alimentarios sea visible y se fortalezca, al tiempo que incrementan las oportunidades para que las mujeres mejoren los beneficios que reciben al participar en estos sistemas. En la figura 11 se observa un poster de difusión de la experiencia de las *Mujeres Voladoras.*

Figura 11.
Póster de difusión del trabajo con la experiencia de Mujeres Voladoras.



Fuente: Acervo de Heifer Internacional México.

La experiencia con *Mujeres Voladoras* es un caso emblemático y permite dar cuenta de cómo la Teoría de Cambio de Heifer es una herramienta útil para detonar procesos de empoderamiento femenino. Sin embargo, la implementación de las propias estrategias en campo no siempre deriva en resultados exitosos, un reto identificado por el equipo implementador son los retos que enfrentan las mujeres para participar de forma constante en los proyectos.

BARRERAS CONTEXTUALES QUE LIMITAN LA PARTICIPACIÓN DE LAS MUJERES

Los proyectos que Heifer impulsa con base en su Teoría de Cambio para el Empoderamiento de la Mujer han contribuido a generar mayores oportunidades para que las mujeres fortalezcan su empoderamiento económico y su capacidad de agencia. No obstante, el acceso y la participación efectiva de las mujeres en proyectos de desarrollo sigue representando un desafío importante.

Con el objetivo de conocer mejor las bases de este desafío, Heifer México ha realizado un diagnóstico inicial sobre las barreras que enfrentan las mujeres para participar en proyectos de desarrollo rural. Para realizar el diagnóstico, se realizaron entrevistas grupales semiestructuradas, en modalidad presencial y virtual, a las personas colaboradoras de Heifer México que trabajan directamente en las comunidades y/o con las cooperativas participantes de los proyectos de la organización en diversas cadenas de valor.

Este enfoque metodológico permite recoger una amplia gama de perspectivas sobre las barreras de género, al mismo tiempo que fomenta la reflexión colectiva y la identificación de estrategias para superar los desafíos encontrados. La información recopilada refleja las experiencias y percepciones del equipo técnico quienes trabajan e incluso en algunos casos, viven en las comunidades de incidencia.

Este primer acercamiento, que resulta necesario complementar con la identificación de barreras desde la propia voz de las mujeres, permite reconocer los obstáculos desde una mirada interna. A partir de ello, es posible visibilizar, socializar y promover acciones y estrategias integradas en las prácticas cotidianas de la organización, orientadas a fortalecer la participación e inclusión de las mujeres en los proyectos.

Como resultado del diagnóstico fue posible identificar diversas condiciones estructurales, sociales y culturales que limitan la participación plena de las mujeres, y que, en consecuencia, dificultan la implementación efectiva de esta Teoría de Cambio en el territorio.

Entre los principales desafíos identificados se encuentran:

La persistencia de roles de género tradicionales, las decisiones sobre la participación de las mujeres dependen de la aprobación de sus esposos o familiares varones, quienes en algunos casos llegan incluso a prohibir su involucramiento o generar situaciones de violencia que obligan a suspender su participación en las actividades del proyecto. Estas dinámicas refuerzan una dependencia económica y simbólica que socava la autonomía femenina.

En cuanto a la movilidad en zonas rurales, especialmente en regiones de difícil acceso, la infraestructura de transporte y la inseguridad, dificultan la asistencia de las mujeres a capacitaciones o actividades de los proyectos.

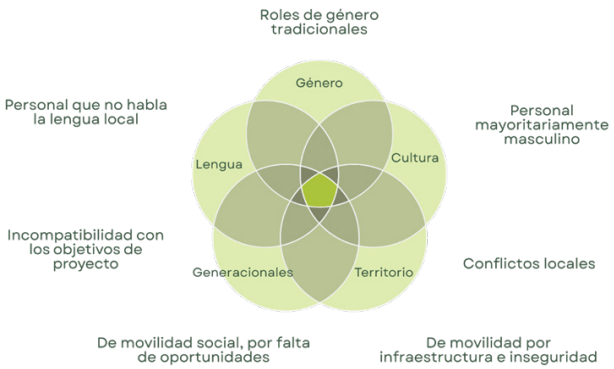
La falta de dominio de las lenguas locales, por parte de los equipos técnicos, representa una barrera adicional para la comunicación efectiva y la confianza entre equipos técnicos y participantes. Esta situación se agrava en proyectos donde los

equipos de campo están conformados exclusivamente por hombres. Además, la baja participación de personal técnico femenino reduce la representatividad y genera desconfianza; las mujeres han expresado sentirse más cómodas cuando el trabajo es acompañado por otras mujeres

A nivel comunitario, los conflictos locales, las tensiones familiares o la falta de espacios seguros también se identificaron como elementos que debilitan la participación sostenida de las mujeres.

A nivel de grupo, las mujeres han expresado desinterés de participación en los proyectos al identificar que las actividades propuestas no responden a necesidades sentidas y prioritarias; por lo que el involucramiento de las mujeres en los proyectos disminuye con el paso del tiempo. En la figura 12 se esquematizan las dimensiones identificadas que limitan la participación de las mujeres en los proyectos de desarrollo, particularmente los de Heifer México.

Figura 12.
Condiciones estructurales, sociales y culturales que limitan la participación plena de las mujeres en proyectos de desarrollo.



Fuente: Elaboración propia.

Este diagnóstico evidencia la necesidad de diseñar estrategias más sensibles al contexto, que no solo aborden las barreras de género reconocidas por las agencias de desarrollo, sino que reconozcan las intersecciones entre género, cultura, territorio, generación, lengua y poder.

REFLEXIONES

Actualmente ha cobrado relevancia trascender la perspectiva de cadena de valor a una perspectiva de sistemas alimentarios que ponga a los productores de pequeña escala, especialmente a las mujeres, en el centro de las estrategias de desarrollo sostenible, transitando también a un enfoque de desarrollo liderado localmente.

La mirada desde los sistemas alimentarios ofrece un marco integral para entender las múltiples dimensiones —productivas, económicas, sociales, culturales y ambientales— en las que las mujeres participan. Esta perspectiva también implica reconocer los impactos diferenciados que enfrentan las mujeres ante fenómenos globales como el

cambio climático, las crisis económicas o los conflictos territoriales, así como la necesidad de soluciones construidas desde el territorio y con las mujeres como protagonistas, para garantizar que el impacto de las estrategias de desarrollo sea pertinente y duradero.

Bajo esta nueva premisa, resulta pertinente una nueva aproximación a la Teoría de Cambio aquí presentada, que recopile los aprendizajes y se adapte a un enfoque participativo en el trabajo con mujeres.

La Teoría de Cambio para el Empoderamiento de las Mujeres de Heifer Américas propone una ruta integral e interconectada que reconoce múltiples dimensiones del empoderamiento femenino, con particular énfasis en el empoderamiento económico impulsando su participación en las cadenas de valor.

Sin embargo, el trabajo en el territorio ha evidenciado que la teoría aún asume condiciones mínimas de participación que no siempre se presentan. Parte de la idea de que una vez creadas las condiciones de acceso a bienes, servicios y conocimientos para el empoderamiento, las mujeres podrán acceder a ellos de forma equitativa. Esta suposición no siempre considera con la suficiente profundidad las barreras contextuales como las anteriormente mencionadas, que constituyen obstáculos invisibilizados que operan en los niveles cotidianos de la vida de las mujeres rurales.

Ahora que se busca incidir en la transformación de los sistemas alimentarios, se despliega un abanico de nuevos espacios en el trabajo para el desarrollo, más allá del enfoque de cadena de valor y del empoderamiento económico. Si bien, el empoderamiento económico ha tenido resultados positivos en diversos territorios, también se ha percibido la necesidad de ampliar o flexibilizar la Teoría de Cambio para atender otros ámbitos de intervención. Para que se traduzca en transformaciones profundas y sostenibles, debe implementarse cómo un marco adaptable, que sirva como herramienta de diálogo para la construcción participativa con las mujeres de los territorios específicos y se reconozcan los diferentes roles que ocupan en los sistemas alimentarios.

Las mujeres, más allá de las cadenas de valor, son agentes clave participando activamente en diferentes momentos de los sistemas alimentarios: desde la producción agrícola y el procesamiento de alimentos, hasta su distribución, comercialización y consumo (Malapit, Meinzen-dick, Quisumbing, & Zseleczky, 2020; Ortega-Ibarra, Ortega-Ibarra, & Vázquez-Aquino, 2024). En los países en desarrollo, producen una parte significativa de los alimentos para el hogar (Visser & James, 2021) y son las principales responsables de las decisiones sobre compra, preparación y consumo de alimentos, influyendo directamente en la seguridad alimentaria y la calidad nutricional familiar (Malapit, Meinzen-dick, Quisumbing, & Zseleczky, 2020; Visser & James, 2021) .

Además, las mujeres:

- Son guardianas del conocimiento agroecológico y de la biodiversidad agrícola.
- Lideran movimientos por sistemas alimentarios más justos y equitativos. (Ortega-Ibarra, Ortega-Ibarra, & Vázquez-Aquino, 2024).

- Mejoran la eficiencia organizativa y los beneficios colectivos cuando participan en la toma de decisiones, tanto en el hogar como en organizaciones rurales (Langreo Navarro & García Azcárate, 2021).

- Aportan a la resiliencia, sostenibilidad e inclusión de los sistemas alimentarios. (Malapit, Meinzen-dick, Quisumbing, & Zseleczky, 2020).

El verdadero potencial de la Teoría de Cambio se activa cuando es reapropiada, discutida y reformulada desde las perspectivas de las mujeres, quienes pueden enriquecerla con su conocimiento situado, su lectura del contexto y sus propuestas para superar las barreras que enfrentan. Esto implica pasar de un enfoque de "intervención para las mujeres" a uno de "construcción con las mujeres", donde ellas no sean solo beneficiarias de los proyectos, sino coautoras de los procesos de desarrollo.

CONCLUSIONES

Desde la experiencia de Heifer México, es posible validar la utilidad del empoderamiento femenino como un detonador del empoderamiento de las mujeres en diversos aspectos de su vida, sin embargo, las limitaciones contextuales que viven la mujeres en su vida cotidiana, amerita una aproximación diferente que reconozca el papel que juegan las mujeres en los sistemas alimentarios, más allá de su participación en las cadenas de valor, las mujeres son guardianas de conocimiento, defensoras de territorio, tomadoras de decisiones cotidianas que impactan en la nutrición y la salud, roles invisibilizados y poco valorados por no generar un aporte económico.

En otro sentido, el paradigma del Desarrollo Liderado Localmente enfatiza la necesidad de invertir el flujo en la toma de decisiones y reenfocar las estrategias para posicionar a los y las pequeñas productoras como protagonistas de su propio proceso de transformación, que las soluciones sean guiadas por su arraigo territorial, valores y aspiraciones a futuro, propias y comunitarias. Por ello, resalta la necesidad de una Teoría de Cambio abierta y flexible que considere un planteamiento participativo que permita incorporar las visiones y aspiraciones locales legitimadas por las mujeres de la localidad y pertinentes al contexto local.

Si bien la Teoría del Cambio constituye una herramienta integral, los retos en su aplicación develan supuestos que no siempre se cumplen tales como la equidad en la participación de hombres y mujeres en los proyectos de intervención o una mínima representatividad de mujeres en posiciones de liderazgo. Los supuestos de la Teoría de Cambio no consideran las barreras fácticas presentes es su cotidianidad que deben ser consideradas en la planeación y diseño de proyectos, es por ello por lo que resulta necesario complementar este marco, con un análisis situado y enfoque interseccional.

La presente discusión invita a los diferentes actores involucrados en la transformación de los sistemas alimentarios a ejercer la justicia de género en los diferente ámbitos de intervención de las agencias de desarrollo, que trasciendan al empoderamiento económico individual, para reconocer la complejidad de la "policrisis" que vivimos actualmente y transitar hacia un enfoque sistémico, que apunte a una

transformación profunda y se materialice en políticas públicas, acceso equitativo a recursos y participación efectiva en la toma de decisiones.

REFERENCIAS

Clark, G., Huxley, J., & Mountford, D. (2012). *N° 2. La economía local: la función de las agencias de desarrollo* (CAF & OECD, Eds.; Vol. 2). CAF. https://scioteca.caf.com/handle/123456789/374

Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *Desarrollo de cadenas de valor sensibles al género. Directrices para profesionales.* FAO. https://openknowledge.fao.org/items/d0f0686f-af00-481f-a257-2ca2dc07ce51

González A., P. (2021). El concepto de capacidad de agencia en Giddens y su relación con el Desarrollo Social. *Ixaya. Revista Universitaria de Desarrollo Social*, *11*(20), 10–27. https://revistaixaya.cucsh.udg.mx/index.php/ixa/article/view/7639

Heifer Internacional. (2017). *Teoría de cambio para el empoderamiento de las mujeres en las Américas 2017–2022* [Documento interno, no publicado]. Heifer Internacional.

Joireman, S. F., & Haddad, F. (2023). The Humanitarian–Development–Peace Nexus in practice: building climate and conflict sensitivity into humanitarian projects. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *62*(101272), 101272. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101272

Langreo N., A., & García Azcárate, T. (2021). El trabajo de las mujeres en el sistema alimentario. *Universidad Politécnica de Cartagena* (Ed). *En Libro de Actas del XIII Congreso de Economía Agroalimentaria (Cartagena, 1–3 de septiembre de 2021) (pp. 385–388).* Universidad Politécnica de Cartagena. *https://repositorio.upct.es/entities/publication/308ecbfa-2cac-4f8a-94da-d552e19a3086*

Malapit, H., Meinzen-Dick, R. S., Quisumbing, A. R., & Zseleczky, L. (2020). Women: Transforming food systems for empowerment and equity. *International Food Policy Research Institute* (Ed.), *2020 global food policy report* (pp. 36–45). International Food Policy Research Institute. https://cgspace.cgiar.org/items/bcf68d27-03d3-47fe-90b0-02f5934c28e6

Naciones Unidas, División de Estadísticas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial.* https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/

Ortega-Ibarra, E., Ortega-Ibarra, I. H., & Vázquez-Aquino, D. (2024). Sembrando igualdad y equidad: El papel de las mujeres en sistemas alimentarios sostenibles. *REDNUTRICIÓN, 15*(3), 1262-1267. https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=119415

United Nations Development Group. (2017). *UNDAF companion guidance: Theory of change.* https://unsdg.un.org/resources/theory-change-undaf-companion-guidance

Visser, J., & Wangu, J. (2021). Women's dual centrality in food security solutions: The need for a stronger gender lens in food systems' transformation. *Current Research in Environmental Sustainability*, *3*(100094), 100094. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100094

W.K. Kellogg Foundation. (2004). Chapter 3. Developing a theory-of-change logic model. *Using logic models to bring together planning, evaluation, and action. Logic model development guide* (pp. 27-34). W.K. Kellogg Foundation. https://wkkf.issuelab.org/resource/logic-model-development-guide.html









CAPÍTULO II
SOBERANÍA ALIMENTARIA EN EL SURESTE DE MÉXICO

Gloria Xitlalic Silva Constantino[1] y Alejandro Macías Macías[2]

INTRODUCCIÓN

En la década de 1990 campesinos de diferentes partes del mundo, unidos a través de Vía Campesina, alzaron la voz por primera vez para defender su soberanía alimentaria. Desde entonces, ésta ha sido objeto de profundos análisis y discusiones que la sitúan como un paradigma en construcción (Wittman, 2011) que se nutre de resultados de discusiones realizadas en distintas esferas. Un rasgo relevante de este paradigma radica en su origen, pues nació del campesinado y no a partir de una política pública ni del ámbito académico. Sin embargo, ha cobrado particular interés en estos espacios, ya que este se ha convertido en un referente en las discusiones en torno a la cuestión alimentaria. Por ello, alrededor de la soberanía alimentaria se han desarrollado nociones que la abordan desde distintas perspectivas, como movimiento social, como política, como concepto.

Amin (2003; 2013) refiere que la soberanía alimentaria es un movimiento diverso y fragmentado. Wittman (2011) y McMichael (2014), entre otros autores que han discutido este paradigma, coinciden en que es una contrapuesta al paradigma dominante de la seguridad alimentaria. Desde la seguridad alimentaria, la materialización de la alimentación depende principalmente de las dinámicas de comercio de los alimentos que hacen posible su disponibilidad (oferta) y la accesibilidad física y económica para su adquisición (demanda).

1 Asociación Ecolatim, A.C.
2 Universidad de Guadalajara y Centro Universitario del Sur.

En consecuencia, al sujetarse la materialización de la alimentación a las dinámicas del libre mercado, el origen de los alimentos no importa, es decir, quien, cómo y dónde se producen, sino la eficiencia en la producción, esto es, el menor costo y los precios más competitivos (Torres, 2014).

Este es un factor crítico, ya que para ofrecer alimentos al menor costo y a los precios más competitivos, los productores deben disponer del capital y la tecnología para desarrollar la producción *industrial* de alimentos a gran escala y, con ello, bajar el costo. Bajo este contexto, se distorsiona el propósito de la producción alimentaria, los alimentos se convierten en primera instancia en un producto mercantil y, de forma secundaria, en una fuente para satisfacer el hambre.

En franca oposición a estas condiciones que vulneran las formas de producción familiar y campesina, agudizadas en el período contemporáneo por la revolución verde y las políticas neoliberales, emergió en la década de 1990 la voz de Vía Campesina para defender su soberanía alimentaria, entendida como:

> el derecho de los pueblos a alimentos nutritivos y culturalmente adecuados, accesibles, producidos de forma sostenible y ecológica, y su derecho a decidir su propio sistema alimentario y productivo. Esto pone a aquellos que producen, distribuyen y consumen alimentos en el corazón de los sistemas y políticas alimentarias, por encima de las exigencias de los mercados y de las empresas (Nyéléni, 2007, p. 9).

Desde esta perspectiva la soberanía alimentaria es considerada como una propuesta política, ya que los derechos requieren de una declaración por parte de los Estados para su reconocimiento, así como de marcos jurídicos regulatorios. Sin embargo, como refiere Patel (2009, p. 668) citando a Bentham "la mera declaración de un derecho no significa que se cumpla". Tal es el caso del derecho a la alimentación adecuada, implícito en la defensa de la soberanía alimentaria, cuya declaración no ha garantizado su materialización, como manifestó el Alto Comisionado para los Derechos Humanos, "no es un derecho a ser alimentado" (Organización de las Naciones Unidas. Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos [ONU.OHCHR] s/f).

La materialización de la alimentación, desde los orígenes de la humanidad, ha recaído en las formas en que las estructuras sociales han apropiado culturalmente los recursos comestibles[3] disponibles en sus territorios, a partir de los cuales se configuraron los diversos sistemas productivos y alimentarios que permitieron alimentar a su población. Tal es el caso de la milpa, cuya dieta basada en el maíz y el frijol persiste al día de hoy. Desde esta perspectiva, Silva (2023, p. 57) propone que:

3 Con base en Aguirre (2000, 2010 y 2010a) y De Legarreta (2019) se asume que los recursos comestibles son elementos aptos para el consumo humano, al ser posible su metabolización por el cuerpo y porque tienen la capacidad de nutrirlo. Cuando estos recursos comestibles son social y culturalmente seleccionados y adoptados se transforman en alimentos o comida. Los alimentos son el resultado de una creación dinámica, el inventario de recursos comestibles puede ser ampliado con la incorporación de nuevos recursos, resultado del intercambio cultural.

> …si bien la soberanía alimentaria es un movimiento y puede ser también una política, es en esencia el mecanismo primigenio, agroecológico, dinámico, territorial y auto determinado de los pueblos para materializar de forma digna y autónoma el derecho a su alimentación adecuada mediante el uso de los recursos de vida disponibles en su territorio, es decir, suelo, agua, biodiversidad y seres humanos, para la determinación cultural de sus sistemas productivos y alimentarios.

A partir de lo anterior, la soberanía alimentaria constituye el mecanismo más antiguo y consolidado de los pueblos para materializar su derecho a la alimentación adecuada bajo el principio de producir localmente para alimentar localmente en un esquema agroecológico de simbiosis con la naturaleza. Desde esta perspectiva, las decisiones de producción en función de los recursos disponibles, la cultura y las decisiones de los consumidores expresados en el mercado configuran los sistemas productivos y alimentarios. Por ello, son retomadas como dimensiones de la soberanía alimentaria, cuyo análisis permite dar cuenta de cómo se configura este mecanismo en diferentes territorios y a distintas escalas. Bajo este contexto, el objetivo de este capítulo es dar cuenta de la condición que guarda la soberanía alimentaria en la región Altos de Chiapas mediante la aplicación de la propuesta derivada de la investigación doctoral inédita de Silva (2023). Algunas figuras y secciones teóricas han sido retomadas textualmente. En la primera sección se exponen las dimensiones de la soberanía alimentaria sobre las cuales se fundamenta la propuesta. Posteriormente, se realiza el análisis del estado de estas dimensiones en la mencionada región. Finalmente, se presentan conclusiones.

DIMENSIONES DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA

Diversos autores como Windfuhr y Jonsén (2005), Pimbert (2009), Beauregard y Gottlieb (2009), Edelman et al., (2014) y Wittman, Desmarais & Wiebe (2010), entre otros, han analizado y discutido el concepto de soberanía alimentaria. Entre los elementos, áreas de tensión y defensa que identifican se encuentran: la defensa de la alimentación como un derecho humano, los sistemas alimentarios localizados, el derecho de los pueblos a definir sus propias formas de producir sus alimentos basadas en la agroecología y la sustentabilidad, la resistencia al modelo agroindustrial, la gente de la tierra (*people of the land*)[4] y el acceso a los recursos naturales, políticas y regulaciones que incidan en los aspectos anteriores.

Si bien hay coincidencia en estos aspectos, los esquemas para el análisis de éstos a fin de dar cuenta de la condición que guardan son limitadas. Ortega-Cerdá y Rivera Ferré (2010) elaboraron una propuesta de indicadores internacionales de

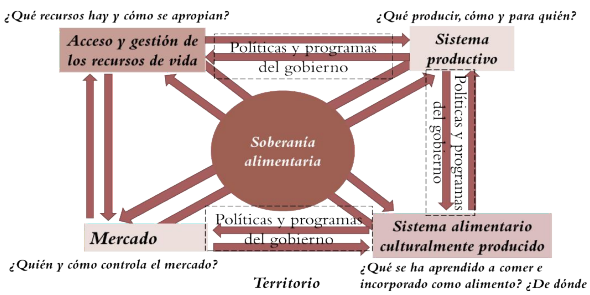
4 *People of the land* es una identidad vinculada al lugar, al pedazo de tierra de la comunidad a donde el campesino pertenece, que visibiliza y dignifica su profundo vínculo y compromiso con la porción de tierra de su comunidad rural, en la cual tiene derecho de vivir produciendo alimentos, rol cuya importancia debe ser reconocida en la sociedad (Desmarais, 2008).

la soberanía alimentaria basada en indicadores usados por organismos multilaterales como la FAO, el BM, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), *World Development Indicators, Action Group on Erosion, Technology and Concentration* (ETC), entre otros. Esta propuesta integra cinco grandes categorías: acceso a los recursos, modelo productivo, transformación y comercialización, seguridad y consumo alimentario y políticas agrarias, que a su vez agrupan treinta y cinco subcategorías que incluyen ciento veintiocho indicadores. Pese a que esta propuesta permite constituir un robusto banco de indicadores e información, su enfoque para la generación de información se basa en "analizar una agricultura cada vez más globalizada" (Ortega-Cerdá y Rivera Ferré, 2010, p. 63), donde la agricultura se desterritorializa[5]. La fuente de información se restringe a la esfera institucional internacional y se dejan de lado las condiciones que a nivel de la unidad familiar motivan sus decisiones productivas y alimentarias, aspecto central de la soberanía alimentaria. Esto invisibiliza lo que sucede en los sistemas productivos y alimentarios locales y limita la dicha información.

Desde la propuesta de soberanía alimentaria que se expone en este documento, el centro se encuentra en la gente de la tierra. Por ello, se busca analizar "el flujo de las interacciones entre las dimensiones de la soberanía alimentaria y los campesinos y productores agrícolas, para evidenciar cómo éstos la configuran" (Silva, 2023, p. 154). Como Iles y Montenegro de Wit (2015) sostienen, la soberanía alimentaria es un proceso vivo y complejo que se desarrolla alrededor de la construcción de relaciones entre personas, instituciones, tecnologías, ecosistemas y paisajes en múltiples escalas. Por lo tanto, el flujo de estas interacciones debe ser revisado a través de la escala relacional, la cual:

> abarca las conexiones de infraestructura espacial, temporal, epistémica y social entre procesos dentro y a través de diferentes niveles. La escala relacional se puede conceptualizar como redes de elementos y procesos en un sistema adaptativo complejo (Iles y Montenegro de Wit, 2015, p. 482).

Figura 1.
Dimensiones de la Soberanía Alimentaria



Fuente: Silva, 2023, p. 152.

5 De acuerdo con Haesbaert (2013, p. 13) la desterritorialización se refiere a la "fragilización o pérdida de control territorial, ella tiene un sentido negativo más estricto —como precarización social".

Por ello, las interacciones entre las dimensiones de la soberanía alimentaria tienen lugar en un contexto histórico, social y cultural. En la figura 1, se exponen las dimensiones y sus interacciones.

Los recursos de vida disponibles en el territorio[6] para la producción alimentaria: tierra, agua, biodiversidad y seres humanos. La vida depende de la interrelación de estos elementos, especialmente la vida humana. Estos constituyen la base para el desarrollo de los sistemas productivos, los sistemas alimentarios y el mercado alimentario. La soberanía alimentaria es el producto de la interacción de éstos. Esta dimensión representa la primera escala del control y decisión para la producción de alimentos, condicionada tanto por las posibilidades agroecológicas del territorio, como por el contexto histórico, social y cultural. El principal propósito al abordar esta dimensión es conocer, mediante la observación del paisaje, breves entrevistas y el acceso a datos estadísticos, los recursos disponibles en el territorio, cuáles son sus condiciones y formas potenciales de vocación productiva, para analizar los cambios que estos aspectos han tenido en el tiempo como resultado de las interacciones con las otras dimensiones en un contexto histórico y cultural determinado. *En esta dimensión se busca identificar qué recursos hay y cómo se apropian*: cantidad, condiciones, disponibilidad, quién los posee y cómo se pueden apropiar.

El sistema productivo refleja la forma en que los recursos de vida son utilizados. "El conjunto formado por el hogar, sus recursos, los flujos de recursos y las interacciones a nivel de cada finca se denomina "sistema agrícola" (Cleary et al, 2004)". Su configuración está marcada por el contexto histórico, social y cultural, así como por las formas de relación con la naturaleza para gestionar sus recursos de vida disponibles. En esta dimensión identifica cómo se gestionan las decisiones sobre qué producir y para quién, que configuran el sistema productivo que permite conocer qué cultivos se decide producir, quién los produce, en qué cantidad y cuál es el destino de la producción.

El sistema alimentario culturalmente producido. Los sistemas alimentarios son "la suma de los diversos elementos, actividades y actores que, mediante sus interrelaciones, hacen posible la producción, transformación, distribución y consumo de alimentos (Santivañez et al., 2017)". La génesis de este proceso se encuentra en la construcción social y cultural del sistema alimentario, a través del cual se otorga valor a los recursos comestibles que se encuentran disponibles en el entorno. Esto impulsa el deseo de seleccionarlos, domesticarlos, adaptarlos, producirlos y mediante distintos modos de preparación, transformarlos finalmente en alimentos. Este es

6 La denominación recursos de vida obedece a la necesidad de nombrar otra concepción posible para tierra, agua, biodiversidad y seres humanos, divergente a la lógica puramente mercantilista inherente al constructo eurocentrista de recursos naturales. El origen de este planteamiento surge del contraste observado en las formas en que las sociedades prehispánicas (europea y americana) se relacionaban con los elementos de la naturaleza disponibles en sus territorios, como fuentes de vida. La diferencia en la concepción colectiva y cultural sobre estos se reflejan en las decisiones para su gestión. Para una revisión más detallada de este planteamiento ver Silva, 2023, pp. 65 a 70.

un proceso muy dinámico a través del cual "aprendemos a comer" (Aguirre, Katz y Bruera, 2010). El sistema alimentario se puede identificar a partir de conocer qué se ha aprendido a comer, qué se ha incorporado como alimento y cuál es su origen. Es conveniente construir el inventario de recursos comestibles disponibles, identificando el origen de producción: local, regional, nacional o del exterior, a fin de conocer quién los produce y abastece, es decir, qué producción los sostiene. Este análisis permite identificar cambios en los patrones alimentarios.

El mercado es el dispositivo social a través del cual se ofrecen y demandan bienes, en este caso alimentarios. En esta dimensión confluyen el sistema productivo y el sistema alimentario en diferentes escalas. En esta dimensión es importante identificar qué se consume, qué se ofrece, dónde se ofrece, cuál es su origen. Este análisis permite reconocer patrones de consumo, índice de consumo de alimentos locales y foráneos, tipo de alimentación y cómo esto influye en las decisiones de producción local.

La política se examina mediante la identificación de acciones y programas que inciden en las dinámicas agroalimentarias. Es transversal a todas las dimensiones.

El cúmulo de estas relaciones constituyen los pilares en los que se sustenta la soberanía alimentaria. Mediante su análisis es posible seguir la trayectoria de las interacciones y los cambios del flujo de producción y consumo de alimentos en un territorio o región determinada. Este análisis permite basar la soberanía alimentaria en relaciones territoriales, sociales, culturales y comunales, más que en el Estado. Permite la construcción de una soberanía alimentaria de autonomía colectiva, interdependiente, donde el poder es compartido y no apropiado.

SOBERANÍA ALIMENTARIA EN LOS ALTOS DE CHIAPAS

El análisis de las dimensiones de la soberanía alimentaria en la región Altos se realizó en los municipios de Chamula, Zinacantán y San Cristóbal de Las Casas donde se identificó la coyuntura de condiciones políticas, sociales y económicas relevantes que en las últimas décadas propiciaron la expresión de acelerados y agudos cambios en las dinámicas productivas y alimentarias de la región. En el período de 1980 al 2020 se identificó la agudización de estos cambios. Por ello, el análisis se realizó en ese período a fin de poder detectar cambios que permitieran hacer un análisis comparativo y dar cuenta de la situación actual.

La investigación realizada para desarrollar este trabajo fue de corte cualitativo. Las fuentes de información correspondieron en primera instancia a fuentes documentales, principalmente estudios antropológicos de la región y, datos estadísticos oficiales obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica (CEIEG), entre otros. En segundo lugar, de las herramientas empleadas para la recopilación de información en campo: entrevistas a profundidad, genealogías de vida, observación etnográfica y observación participante.

El punto de partida del análisis radicó en la identificación y descripción de las condiciones de los recursos de vida disponibles en el territorio: tierra, agua,

biodiversidad y seres humanos. Posteriormente, se identificó la manera como han sido apropiados para establecer el sistema productivo, el destino de la producción y los cambios que han tenido lugar a partir del contexto económico, social y cultural. La observación y análisis del paisaje en el territorio en las últimas décadas, refleja de forma contundente los cambios referidos. *Google Earth* fue una herramienta útil para evidenciar la agudeza de estos cambios en el sistema productivo, reflejados en el paisaje. Esto posibilitó el análisis de los cambios que han tenido lugar en el sistema productivo a lo largo del período de tiempo analizado, y su efecto en la configuración del sistema alimentario local. Posteriormente, se revisó la dimensión del mercado donde convergen la dimensión del sistema productivo (con la producción de alimentos) y la dimensión del sistema alimentario (con el consumo de alimentos) en diferentes escalas. Finalmente se revisó la incidencia de las políticas públicas.

RECURSOS DE VIDA

El gobierno registra información general sobre biodiversidad, clima, suelo y agua a nivel regional, sin embargo, su disponibilidad para la toma de decisiones de la población local es limitada. Determinar la tierra disponible y su posible apropiación implica más que medir el tamaño de la parcela, intervienen factores clave como la pendiente (plana o inclinada), el tipo y fertilidad del suelo (pedregoso o no), la altitud (que determina microclimas) y el acceso al agua (cultivo de riego o de temporal). Estos elementos permiten a la población clasificar el territorio en zonas como tierra caliente, tierra fría, regiones de flores, de maíz o de hortalizas. El gobierno sistematiza las decisiones territoriales locales en datos estadísticos sobre superficie cultivada, tipo de agricultura, número de parcelas, tamaño de población y ocupación. En esta sección, se retoman esos datos y se contrastan con la información proporcionada por las familias entrevistadas y con las observaciones de campo realizadas durante los recorridos en el territorio.

TIERRA

La superficie de los Altos es de 3,728.58 km2 con una topografía montañosa, con numerosos valles de origen kárstico y un clima templado húmedo con lluvias todo el año. El suelo predominante es el rendzina, suelo poco profundo y pegajoso, arcilloso y pedregoso (CEIEG s/f). Éstos, se clasifican como aptos para actividad agrícola de bajo rendimiento, donde se producen alimentos básicos como maíz, frijol, hortalizas y frutales. Datos del INEGI (2016) muestran que la tenencia de la tierra se concentra en el sector social, integrado por tierras comunales, conformadas por las comunidades indígenas y tierras ejidales. La tenencia de tierra en Chamula es preponderantemente comunal. En Zinacantán 55% es ejidal y 30% comunal. En San Cristóbal domina la tenencia privada con aproximadamente 55%, seguida de la ejidal con 41% y la comunal con menos del 1%.

El análisis de datos estadísticos del INEGI (2016) refleja la existencia de una relación directa entre el tamaño de la parcela y el tipo de agricultura realizada. En

las parcelas de mayor tamaño, situadas en el rango de más de 20 has, la agricultura protegida tiene mayor presencia. Esto podría ser indicador del proceso de concentración de la tierra para agricultura comercial. La investigación en campo confirmó que la agricultura protegida se realiza con ese fin. Por otro lado, en las parcelas de menor tamaño, de hasta 2 has y de 2 a 5 has, persiste la agricultura a cielo abierto. En los tres municipios prevalece la existencia de un patrón de concentración de la tierra en el rango de las parcelas de mayor tamaño.

En estos municipios el uso de la tierra para ganadería es bajo. Chamula registra la mayor superficie ganadera con 734.45 has, asociada a la producción de borrego de lana para la elaboración de la vestimenta de mujeres y hombres (Perezgrovas, 2009). Esto evidencia la influencia del *consumo cultural* de lana para elaborar trajes tradicionales sobre la decisión productiva. La producción forestal es realizada mayormente por pequeños y medianos productores que aprovechan el pino, especie nativa. Esta actividad se registra principalmente en San Cristóbal con 627.50 has, seguida de Zinacantán con 265.93 has y 13.42 has en Chamula (INEGI 2016).

Finalmente, la familia que no posee tierra y quiere producir recurre al arrendamiento. La capacidad económica condiciona el acceso a la tierra. Las familias con menos recursos suelen acceder a parcelas pequeñas (hasta una hectárea), destinadas principalmente al cultivo de maíz. En Zinacantán, estas tierras arrendadas se ubican en la zona denominada tierra caliente, cerca de la autopista San Cristóbal–Tuxtla Gutiérrez. Las familias con capacidad económica alquilan terrenos ubicados en zonas con acceso a agua para cultivar flores en invernadero, una opción más costosa en renta, infraestructura y pago de jornaleros, pero más rentable.

AGUA

En los Altos de Chiapas se ubican cuatro cuencas hidrológicas, cuyas condiciones topográficas limitan la presencia de una red superficial de agua, predominando el drenaje subterráneo. En municipios como Chamula y Zinacantán, la escasez de agua ha condicionado tanto las actividades productivas como los asentamientos humanos. Chamula depende de pozos poco estables, lo que ha generado "parajes errantes" y normas de uso del agua (Burguete, 2000). En Zinacantán, mientras gran parte del territorio presenta condiciones similares, en la zona de conos volcánicos hay abundante agua superficial, zona referida por el señor Juan Pérez, habitante de este municipio, entrevistado el 13 de marzo de 2022, como "la cuenca de la cabecera de Zinacantán". Ésta abarca la cabecera de Zinacantán y las comunidades de Nachig, Patosil, Bochojob Alto, Bochojob Bajo, Pinar Salinas, Tierra Blanca y Petztojha. Esto ha sido determinante en décadas recientes para el significativo crecimiento de la floricultura en ese territorio. Por su parte, San Cristóbal de Las Casas enfrenta un grave deterioro en sus fuentes de agua, muchas de las cuales han disminuido o desaparecido debido a la urbanización y la deforestación. Aunque la región recibe lluvias abundantes, no se han implementado estrategias eficaces de captación pluvial.

BIODIVERSIDAD

Existen diversos tipos de vegetación, como ciprés, sabino, roble, caoba, pino y encino, que varían según altitud y humedad. Actualmente, el paisaje presenta un patrón en mosaico, resultado de las actividades agropecuarias y forestales. Las plantas medicinales siguen siendo altamente valoradas por la población indígena por sus usos en padecimientos respiratorios, digestivos y reproductivos (Lara et al., 2019). Además, las familias entrevistadas mencionaron el consumo habitual de hortalizas nativas como murrush, nabo y colinabo, así como diversas variedades de maíz y frijol. En colectas realizadas se identificaron 18 accesiones vegetales en Zinacantán, 11 en San Cristóbal de Las Casas y 26 en San Andrés Larráinzar (Martínez et al., 2006). En cuanto a la fauna, especies como patos, aves canoras, pájaros carpinteros y palomas siguen siendo cazadas para el autoconsumo y la venta (CONABIO, 2013). En Oxchuc, el consumo de ratas de monte persiste como alimento nutritivo, medicinal y de prestigio (Barragán, Retana y Naranjo, 2007). Animales como el tlacuache, el zorrillo y el armadillo tienen un uso importante en la medicina tradicional, se aprovecha su carne, grasa o el cuerpo completo (Enríquez et al., 2006). En todos estos casos, el *consumo cultural* es central en la forma en que las comunidades se relacionan con su biodiversidad.

SERES HUMANOS

Debido a la escasez de tierra y el crecimiento poblacional en los Altos, la mano de obra representa en muchos casos el único recurso disponible que las personas poseen para la venta. Las condiciones de rezago educativo y marginación indígena han reducido el valor del trabajo, configurando a la región como una "fábrica de mano de obra barata". La población participa en diversas formas de trabajo: autoempleo agrícola, jornal en parcelas ajenas, comercio y migración. Aunque el sector primario ha predominado en los últimos 40 años, las dinámicas de producción se han reconfigurado ocasionando que el flujo de trabajo humano como productores de alimentos, se esté desplazando a cultivos de alto valor y activades de los sectores secundario y terciario, generadoras de ingresos.

La intensificación de la producción agrícola comercial ha cambiado la dinámica familiar, todos los miembros se integran al trabajo. Esto ha reducido o hasta eliminado el tiempo para actividades tradicionales como hacer tortillas o bordar textiles, que ahora se compran. En Zinacantán se ha vuelto común el pago de ayudantes o chalanes, con una paga de 80 pesos diarios por la cercanía de Chamula. El caso de la familia de doña Catarina, originaria de San Nicolás Buenavista, Zinacantán, ejemplifica esta transformación: todos los miembros trabajan en la cosecha de rábanos, a las mujeres ya no les da tiempo de tortear, "piden el tortilla con moto, le marcan el celular y les lleva el tortilla y el pollo, lo que le pides te trae, te trae todo" (Pedro Girón Gómez, entrevista 2 de marzo de 2022). Estos nuevos estilos de vida son favorecidos por el uso del celular y el servicio a domicilio, dinámica del mercado que ya no es exclusiva de las zonas urbanas.

En Zinacantán, también ha surgido la figura del trabajador especializado en invernaderos de flores, que puede ganar hasta 250 pesos diarios, uno de los pagos más altos, casi el triple de un jornal en hortalizas. Algunos productores contratan adolescentes sin experiencia por 50 pesos y los capacitan, aumentando su pago conforme adquieren habilidades. Ante los bajos ingresos, muchos optan por migrar, principalmente a Estados Unidos, donde el jornal agrícola, aunque sigue siendo bajo, resulta atractivo en comparación con los salarios mexicanos.

SISTEMA PRODUCTIVO

La actividad primaria ha sido la principal fuente de ocupación y medio de vida de las familias indígenas de los Altos, quienes desarrollaron un sistema agrícola especial para gestionar sus recursos (Guiteras y Castro, 1965; Pozas, 1982). Este se conforma por el traspatio (solar o sitio), la parcela hortícola (cuya producción se destina principalmente para la venta), las áreas boscosas (empleadas para recolectar alimentos y materiales), los pastizales para alimentación del ganado y la parcela propiamente agrícola: *la milpa* (Alemán, 2017). Las entrevistas revelaron que este sistema productivo fue predominante hasta la década de 1970. En la década de 1980, como resultado de la caída de las fincas y la implementación de las políticas neoliberales, entre otros factores, tuvo lugar una progresiva intensificación del uso de los recursos disponibles que conllevó a la acelerada transición a un modelo productivo más comercial, que privilegia el *valor de cambio* sobre el *valor de uso* (Rus, 2012; Llanos y Santacruz, 2022; Silva 2023). Esta transición fue paralela con la transición generacional de las personas nacidas alrededor de la década de 1950-1960, en el período de la política desarrollista que, en la adultez, vivieron el neoliberalismo y la apertura del mercado. Al respecto, Llanos y Rosas (2018, p. 477), sostienen que:

> Las políticas desarrollistas que en el pasado pretendieron transformar la cultura indígena fueron sustituidas por las políticas neoliberales que incentivaron la inserción de la población indígena en actividades comerciales articuladas al mercado. La comunidad de Zinacantán en la década de los años ochenta ejemplifica ese nuevo proceso de cambio.

Los casos estudiados confirman que esta transición productiva que privilegia *el valor de cambio* está íntimamente ligada con la condición de los recursos disponibles. A partir de esta observación, se identificaron dos *patrones de decisión productiva,* esto es, una combinación de condiciones de los recursos que conforman patrones diferenciables bajo los cuales las familias desde sus capacidades económicas deciden su uso y desarrollan sus sistemas productivos. Esto ha propiciado la configuración de tres microrregiones productivas: la florícola en la cuenca de Zinacantán, la hortícola en Chamula y en San Nicolás Buenavista, Zinacantán, y una productora de maíz en Pasté, Chiquinivalvó y Chulvó, entre otras comunidades.

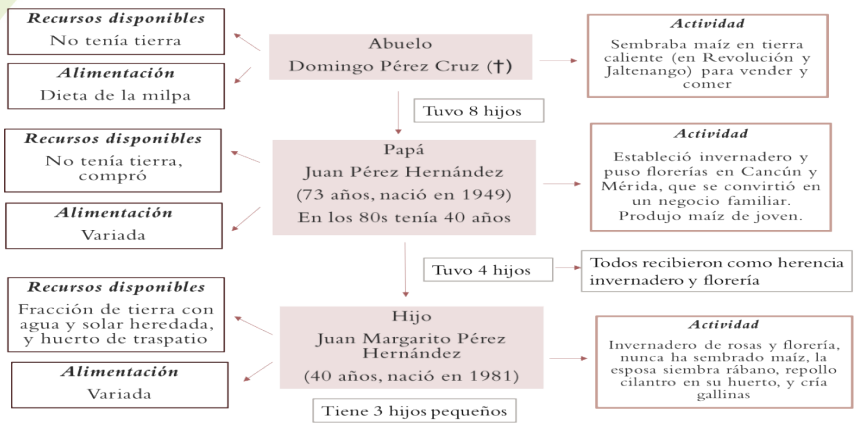
El *primer patrón de decisión productiva* identificado está conformado por *recursos en condiciones de mayor y mejor disponibilidad:* tierra con agua, mejor microclima y acceso carretero. Cuando se conjugan estas condiciones, los recursos se destinan a la producción comercial regida por el valor *de cambio*, en detrimento del sistema tradicional de producción alimentaria orientado al *valor de uso.* En Zinacantán, esto se ha expresado con el intenso crecimiento de la producción florícola, seguido del hortícola. La comparación de imágenes satelitales de 2006 y 2021, consultadas en *Google Earth*, reflejan el notable crecimiento de los invernaderos concentrados en la cabecera dominando el paisaje desde la carretera (Ver figura 2). Este cambio comenzó en la década de 1980 cuando, como afirman Llanos y Santacruz (2022, p. 2), "...el viejo paisaje agrario mutó socialmente con celeridad. En poco tiempo la disponibilidad de tierras y el trabajo se articularon a la actividad florícola".

Figura 2.
Imagen satelital del paisaje de la cabecera de Zinacantán y la localidad de San Nicolás Buenavista (2022).



Fuente: Generada a través de *Google Earth.*

Figura 3.
Representación del cambio de patrón productivo de tres generaciones de la familia Pérez, en Patosil, Zinacantán.



Fuente: Silva, 2023, p. 1 78.

La razón principal para la elección de la floricultura radica en la rentabilidad del cultivo, como manifestó Don Juan Pérez, floricultor en la cabecera municipal. Él explicó que el cultivo de maíz es el menos conveniente, porque se produce solamente una vez al año y su precio es más bajo que otros cultivos, que aún las hortalizas, aunque permiten varios ciclos, tienen precios bajos. Por ejemplo, en 2022, el manojo de nabo costaba 3 pesos, un bulto de 50 manojos de nabo se vendía en 150 pesos en el Mercado Popular del Sur (MERPOSUR), mientras que 25 tallos de rosas rojas se vendían en hasta 280 pesos en temporada. Don Juan produce tres ciclos de rosas al año, y con la venta de un solo ciclo puede comprar el maíz necesario para el consumo familiar de todo el año. Otros entrevistados coincidieron con estos planteamientos.

Los invernaderos han dinamizado la actividad florícola, los productores han ido aprendiendo a satisfacer la demanda del mercado cambiando las especies a cultivar siguiendo la lógica de producir la flor por la que paguen más para obtener mayor rentabilidad. Por ello, en 2022 la rosa roja era el cultivo predominante, después puede ser otro. Esto ha propiciado el desplazamiento de las flores nativas, antes cultivadas por su valor cultural, que ahora sólo se cultivan a cielo abierto en Chamula. Un ejemplo de esta dinámica se aprecia en la genealogía de la familia de Juan Margarito Pérez Hernández, de Patosil (Ver figura 3). Se observa el tránsito productivo y generacional: su abuelo, no tenía tierras en Zinacantán, las arrendaba en los municipios de Revolución y Jaltenango para cultivar maíz para venta y consumo. Su padre, al adquirir tierras en Zinacantán, optó por dedicarse exclusivamente a la floricultura, *al ser más rentable*. Compró una parcela en condiciones aptas para producir flores en invernadero y abarcó toda la cadena productiva, desde la siembra hasta la comercialización directa mediante florerías propias en Mérida, Yucatán.

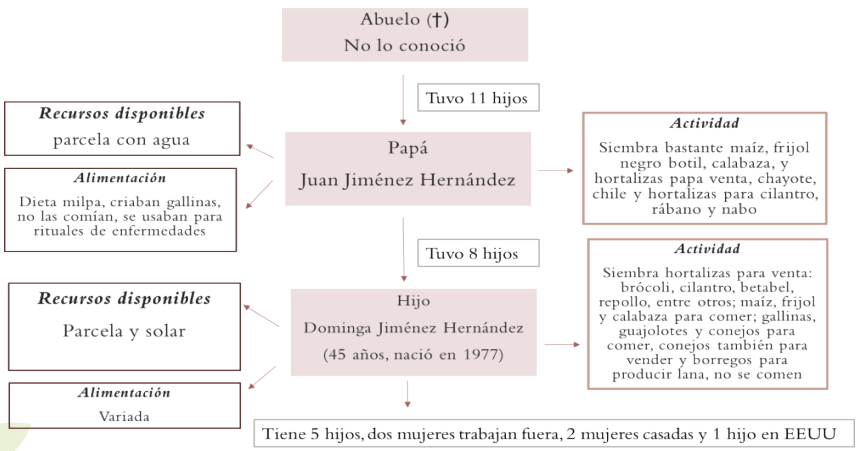
Este ejemplo representa un caso de éxito, pues la esposa de Juan Margarito comentó que, "la pura siembra de flores ya no es negocio, porque ya hay mucho, con la venta de flores se gana más". La creciente competencia para producir flores ha propiciado en años recientes que su siembra se realice mediante plántulas que vienen de fuera y son más costosas. Esto permite a los productores tener mayor control en la producción que con la siembra con semillas, pues pueden tener la producción lista para corte una semana antes de las fechas con alta demanda en febrero, mayo, noviembre y diciembre. Tal manejo les permite disponer de tiempo para negociar y conseguir el mejor precio. Si las flores están listas para el corte tres días antes o el "mero día", no se logran los mejores precios.

En segundo lugar, en la escala de decisión productiva por su potencial para generar ingresos se encuentran las hortalizas en Zinacantán, en Chamula son la opción principal. Esta decisión radica en que pueden producirse todo el año en ciclos cortos y generan un flujo recurrente de efectivo. El maíz sigue siendo el punto de referencia para evaluar la rentabilidad. Don Pedro, productor de San Nicolás Buenavista, relató que su padre dejó de sembrar maíz y frijol, porque "tarda mucho [en crecer], el rábano sólo tarda 40 día". Esta lógica es seguida en Zinacantán, donde predomina la producción de hortalizas a cielo abierto. Las familias cultivan repollo,

coliflor, rábano, acelga, cilantro, entre otros. Estos cultivos, introducidos por los españoles, han sido apropiados dentro del sistema productivo local. En el caso del brócoli, se siembra con plántula para garantizar la cosecha, para la producción del resto compran semillas.

En Cuchulumtic, Chamula, predomina la horticultura a cielo abierto. Las parcelas son pequeñas y el acceso al agua, a diferencia de la localidad de Buenavista, es variable. Quienes cuentan con pozo pueden hacer más ciclos productivos. Los principales cultivos son repollo, acelga, brócoli, coliflor, cilantro, rábano, lechuga, nabo, murrush, hierba mora, mostaza, nubes y cempasúchil (para Todos Santos). Algunos productores siembran habas o arvejas alrededor de sus parcelas. La producción es intensiva en fertilizantes, quienes tienen borregos aprovechan el estiércol como abono para reducir costos. La siembra se organiza según un calendario agrícola que toma en cuenta el clima (heladas, lluvias) y la resistencia de las plantas a esas condiciones. La genealogía de Don Juan Jiménez (Ver figura 4), originario de Cuchulumtic, en la transición productiva entre padre e hijo, refleja el incremento de la siembra de hortalizas para venta (cultivo comercial).

Figura 4.
Representación del cambio de patrón productivo de tres generaciones de la familia Jiménez, en Cuchulumtic, Chamula.



Fuente: Silva, 2023, p. 181.

El *segundo patrón* identificado por Silva (2023) es *el patrón de precariedad de los recursos disponibles*, que se concentra en las familias en las condiciones más desfavorecidas. Este patrón se caracteriza por parcelas con limitada disponibilidad de agua, mayores pendientes montañosas y accesos carreteros deficientes, como lo observado en las comunidades de Pasté, Shulvó y Chiquinivalvó, en Zinacantán. Bajo estas condiciones, prevalece la decisión de producir para autoconsumo y excedentes para la venta. Se cultivan a cielo abierto maíz, frijol y otras especies nativas de temporal, las cuales tienen demanda en el mercado y por estar adaptadas al territorio requieren menor uso y gasto de agroquímicos.

Don Pedro Sántiz, de Pasté, no tiene tierra propia, alquila una parcela, quien expresó que "apenas le resulta sembrar maíz", usa semillas nativas y pocos fertilizantes porque están muy caros y no los puede comprar. Siembra para autoconsumo y venta, y paga la renta en especie. Este y otros casos revisados evidencian que la producción y abasto de alimentos básicos, como el maíz y el frijol, están recayendo en *familias resilientes* con acceso a recursos en condiciones de mayor precariedad. Tales condiciones son las que predominan en el territorio y a las cuales el grueso de familias tiene acceso y ocupa para producir maíz y frijol. Estas familias *resilientes* productoras de alimentos básicos culturalmente apropiados y consumidos localmente, constituyen un componente fundamental en el sostén y fortalecimiento de los sistemas alimentarios regionales, pues producen para su consumo y para el de comunidades vecinas, productoras de flores y hortalizas, que han dejado de cultivar maíz, frijol y hortalizas nativas, pero cuyo consumo es sustancial en su dieta.

Finalmente, es importante mencionar que el registro de la producción de los cultivos nativos ampliamente sembrados y consumidos como el nabo, el murrush, la mostaza y la hierba mora que estas familias realizan es invisibilizada en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), realizado por el gobierno. Si bien figura la información correspondiente a maíz y frijol, tampoco se registra la producción de las hortalizas de carácter comercial de brócoli representativas de la región: lechuga, rábanos, coliflor, cilantro, acelgas. Tales omisiones son graves, pues estos cultivos constituyen una importante fuente de alimentos de abasto local y regional. Al discriminar esta producción alimentaria de alto valor social se invisibiliza la capacidad productiva de los campesinos y se pierde una enorme oportunidad de dignificar su trabajo y valorar los alimentos culturalmente producidos y consumidos.

Esta ausencia de información imposibilita la veraz evaluación regional del grado de contribución a la suficiencia y soberanía alimentaria. Conocer el destino de la producción permitiría fortalecer los sistemas alimentarios regionales mediante la creación de políticas públicas eficientes para mejorar las condiciones de esta producción, contribuyendo a la materialización del derecho a la alimentación adecuada. Esto es crucial, ya que las explotaciones de menos de dos hectáreas producen aproximadamente el 35% de los alimentos del mundo y aportan el 80% en términos de valor (Lowder, Sánchez y Bertini, 2021). Paradójicamente, estas familias enfrentan condiciones de pobreza más severas con "el patrón de la precariedad de sus recursos disponibles", como se observa en la localidad de Pasté, Zinacantán, donde todas las familias entrevistadas refirieron que se produce maíz y frijol, "porque es lo único que pueden producir".

SISTEMA ALIMENTARIO CULTURALMENTE PRODUCIDO

En la región se encuentra disponible una amplia gama de recursos comestibles frescos, pues una importante proporción de estos se producen a nivel local. Ello evidencia la capacidad local para contribuir a la producción de sus alimentos culturalmente adoptados, incluida la apropiación en los sistemas productivo y alimentario de los recursos

comestibles introducidos principalmente en el período colonial (brócoli, coliflor, zanahoria, cebolla, espinaca, acelga). El resto de los recursos comestibles frescos, principalmente frutas, provienen de otras regiones del estado y de algunas otras del país.

En cuanto a los recursos comestibles procesados, con excepción de la coca cola, de la cual existe una planta embotelladora en San Cristóbal de Las Casas, son producidos y abastecidos por grandes empresas transnacionales como Nestlé, Pepsico, Femsa, Sigma, Bimbo, Danone, entre otras. Como resultado de su introducción masiva favorecida por la apertura de los mercados y la globalización, han proliferado las tiendas de abarrotes locales, aún de la localidad más recóndita El consumo de estos productos fue adoptado culturalmente en el medio rural en las últimas décadas, fenómenos que permitieron la exportación de la cultura alimentaria occidental. Esta cultura, en materia alimentaria, es la del alimento industrializado, empaquetado, hiperpalatable[7] y listo para comer, que ha impactado fuertemente los patrones de consumo de la población, como se mostrará a continuación a partir de la información compartida por las personas entrevistadas.

Yo aprendí a comer mis verduras, siempre comíamos verduras en caldo, tortillas, frijolitos. Mis hijos ya no saben comer verduras, no sé por qué no les gusta ni el huevo de rancho, sólo el de granja. Cuando me casé con mi marido, él solo comía carne, porque quedó huérfano de 9 años y empezó a trabajar. A los 14 años se fue pa'l norte y allá dice que aprendió a comer mucha carne, no comía verduras, sólo yo comía verduras. Yo soy como mi papá, a mí me gusta comer mis verduritas, mi pollo de rancho, él no come pollo de granja, no le gusta. Ahora mi esposo ya aprendió a comer verduras, porque no siempre hay el dinero, se tiene que comer verduras (María Alberta de la Cruz Vázquez, entrevista personal, en Zinacantán, 10 de marzo de 2022.

Este breve relato de Doña Bertha evidencia que las familias tienen claro el concepto de *aprender a comer*, el cual todas las familias entrevistadas usaron de forma unánime para aludir a su alimentación. *A comer se aprende,* ese es justamente *el proceso sociocultural mediante el cual se adoptan o rechazan los recursos comestibles, frescos o procesados, para convertirlos en alimentos*. Los miembros de la familia constituyen los principales agentes impulsores de las prácticas alimentarias, a través de ellos se aprende qué comer y qué rechazar (Aguilar, 2008; Clemente, Fletes y Ocampo, 2021). Entre los factores externos que a nivel regional han incidido en el proceso de aprender qué comer se encuentran: la dominación/denigración cultural de la comida indígena, la apertura del mercado, el incremento de las actividades que generaran ingreso y sus implicaciones en los estilos de vida, la migración y los programas de transferencias económicas del gobierno. La confluencia de estos aspectos ha incidido en la construcción de significados externos que han reconstruido los significados

7 Los productos hiperpalatables son descritos como "alimentos" altamente procesados, hipercalóricos y bajos en nutrientes. Su elaboración incluye una combinación de altos contenidos en azúcar, sodio y grasas refinadas que aumentan significativamente su palatabilidad provocando una elevada recompensa de placer que estimula antojos difíciles de resistir. Esto propicia su consumo excesivo, pues se consumen por placer y no para satisfacer el hambre (Gearhardt et al., 2011; Fazzino, Rohde y Sullivan, 2019).

internos de consumo de las familias. Con cada contexto vivido se han construido significados que han sido transmitidos en cada transición generacional.

Para comprender estos aspectos en el consumo, Mintz (2003, p. 42) propone los términos: "significado interno, condiciones del consumo en la vida diaria, y significado externo, condiciones del entorno económico, social y político (hasta el militar)". Los significados internos se expresan en los comportamientos en la vida cotidiana y se incorporan a partir de los grandes cambios que ocurren en el significado externo que fijan los límites exteriores. Por ejemplo, "las oportunidades de empleo le dicen a la gente cuándo puede comer y cuánto tiempo puede tomarse para hacerlo (...) también le dice qué comer, dónde y con quién (Mintz, 2003, p. 44)". A partir de cada contexto, los individuos crean sus propias construcciones de significados internos.

El contexto de la década de 1980 de la región Altos, marcado por la apertura del mercado, representó un cambio muy importante que amplió las posibilidades de *qué comer*. El acceso a esta gama de posibilidades fue favorecido por los ingresos, resultado de la transición a actividades productivas generadoras de ingresos. Un claro ejemplo de ello se puede observar con la transición florícola en Zinacantán. La producción florícola se ha convertido en un tipo de agricultura que puede ser homologada con "una fábrica artificial que no puede descuidarse por el riesgo de perder las flores, lo que obligará a usar el ingreso monetario para la compra de alimentos (Llanos y Santacruz, 2022, p. 7)". Esta dinámica contribuyó a la reconfiguración y resignificación del qué comer a partir de lo que el mercado ofrece y se puede comprar. Esto favoreció la fractura de la cultura alimentaria local, al agudizar la desvalorización *de la capacidad para producir alimentos*, vinculada al menosprecio de la actividad indígena campesina (Velázquez, 2021) que a su vez condujo a la desvalorización de los alimentos que se pueden producir para percibirlos como *comida de pobre*[8] mientras se resignificó y percibió como *comida buena*[9] a los alimentos que se pueden comprar.

Lo anterior se identificó en las entrevistas realizadas, en ellas se observó la existencia de percepciones contradictorias hacia los alimentos tradicionales y los procesados, que afectan las preferencias de consumo. Estas percepciones están fuertemente ligadas con las transiciones generacionales y los procesos que vivió cada generación, como el indigenismo, la apertura del mercado y el incremento de actividades productivas que generan ingresos. Las generaciones de mayor edad, en un rango de 60 a 70 años, reconocen a la dieta de "antes" (dieta de la milpa) como más sana y natural, y le atribuyen su fuerza física. Si esta generación aún dispone de tierra produce "su

8 Esta frase fue usada en las entrevistas de manera generalizada para referirse a alimentos nativos locales que pueden comprarse por un bajo precio.

9 Comida buena fue una frase ampliamente usada por los entrevistados para referirse a alimentos que no producen y compran, como carne, taquitos, pollo asado, hamburguesas y otros alimentos procesados, como cereal, jugos y galletas.

maíz y frijol" con semillas nativas, así como mostaza, nabo y hierba mora para su consumo, ya que su alimentación se basa principalmente en dichos alimentos y conceden especial valor a su capacidad de producirlos ellos mismos libres de fertilizantes para que sean sanos.

En este segmento se encuentran la generación de papás de los entrevistados, por ejemplo, el papá de don Juan, de Zinacantán, don Manuel, el papá de doña Berta, Lucy y su mamá en Chuculumtic, Chamula, por citar algunos nombres. Ellos todavía siembran maíz para el autoconsumo, además de realizar otras actividades como producir flores u hortalizas para venta, su dieta se basa en el consumo de alimentos frescos locales, preparados en caldos y otras formas caseras tradicionales, su consumo de alimentos procesados es bajo, limitado a la coca cola.

En contraste, la generación con edad aproximada a los 40 años, aunque reconoce que la dieta "de sus padres", basada en "verduritas" es sana y la aprendieron a comer con ellos, y todavía la consumen, la asocian con la pobreza. Por ello, quienes logran tener un mejor ingreso tienden a incrementar el consumo de carne y alimentos procesados, pues perciben la dieta de la milpa como alimentación que se consume cuando no hay dinero para comprar otra cosa (dieta del pobre). En cambio, quien tiene mejor condición económica "compra comida buena". Sobre esta transición alimentaria ligada con los ingresos, la pobreza y el cambio de preferencias, Nestlé (2013) refiere que:

> También es irónico que una vez que las personas mejoran, se observa que entran en una "transición nutricional" en la que abandonan las dietas tradicionales basadas en plantas y comienzan a comer más carne, grasa y alimentos procesados. El resultado es un fuerte aumento de la obesidad y las enfermedades crónicas relacionadas. (…) la transición nutricional refleja tanto las preferencias gustativas como la economía. Los animales son alimentados con granos, hacen que la carne sea más cara de producir y la convierten en un marcador de prosperidad. Una vez que las personas tienen acceso a la carne, generalmente no vuelven a comer dietas basadas en plantas a menos que se vean obligadas a hacerlo por un revés económico o porque están convencidas de hacerlo por razones de religión, cultura o salud (p. 16).

Esta asociación de la dieta de la milpa con la pobreza, data del período colonial (Velázquez, 2021), a partir del cual se menospreció y estigmatizó la dieta indígena como consecuencia de la falsa superioridad y la dominación culturales (Pilcher, 2001). Desde entonces, comer carne, entre otros alimentos, se convirtió en un marcador de diferencia, no sólo nutricional sino de poder económico y social, como Nestlé (2013) afirma. Esto ha sostenido la percepción de una distinción alimentaria clasista: la pobre comida indígena y la rica comida del caxlan[10]. En esta percepción,

10 Término usado por las poblaciones indígenas para referirse a los otros, los no indígenas. Primero el caxlan fue el español, después el criollo, luego el mestizo, en la actualidad es cualquier persona no indígena, blanca.

el término rico no alude a su condición nutricional, sino al status y precio alto, inaccesible (negada) para la mayor porción de la población indígena hasta que logra tener el poder adquisitivo. El término pobre tampoco alude a la calidad nutricional, el peso de la pobreza recae en su asociación indígena. La dieta de la milpa actualmente es reconocida por su valor cultural, ser saludable y de bajo costo. Sin embargo, los siglos de estigmatización provocaron que la población que tradicionalmente la producía y consumía también la asocie con pobreza. Hoy, las generaciones jóvenes más prósperas la relegan para adquirir "comida buena", como Don Juanito refirió: "nosotros crecimos comiendo tortilla, con frijol y caldo de verduras, ahora podemos comprar otras cosas para que los hijos coman".

Los casos revisados dan cuenta de los cambios y la tendencia en el patrón alimentario. El maíz y el frijol se mantienen como alimentos básicos y, en función del dinero disponible y la edad, se expresa la disminución en el consumo de vegetales y la incorporación de carnes y alimentos procesados. Las investigaciones de Llanos y Santacruz (2022) y González de Cosío et al (2018), concuerdan en que estos cambios comenzaron a manifestarse alrededor de la década de 1980. Este incremento en el consumo de alimentos procesados, densamente energéticos, actualmente representa "más de 58% de la energía total (kilocalorías) consumida por los mexicanos" (González de Cosío et al., 2018, p. 480).

Figura 5.
Transición alimentaria en los Altos.



Fuente: Silva, 2023, p. 198.

Dado que la alimentación no es un proceso estático, sino dinámico, ya que "el evento alimentario siempre es situado en un tiempo, en un espacio y en una sociedad determinada" (Aguirre, 2016, p. 463). La alimentación de las generaciones mayores (Ver figura 5), nacidas alrededor de 1940, es principalmente la de la milpa: maíz, frijol, chile, calabaza, arvejas y otras hortalizas de hoja verde, aves y huevos de rancho (criados en sus traspatios a libre pastoreo). La materialización alimentaria de ese grupo ha estado profundamente ligada con la producción familiar y regional de alimentos que se mantuvo prácticamente sin cambio hasta la década de 1980, marcada por el neoliberalismo, la apertura económica y la reconfiguración productiva, que incidieron en la alimentación. Por ello, los nacidos alrededor de esa década consumen una dieta que mantiene el frijol y el maíz, pero ha incorporado los alimentos procesados que pueden adquirir. La generación nacida en las dos décadas

más recientes y en especial los niños, presentan mayor preferencia por alimentos procesados, convirtiéndose, por lo tanto, en el segmento más vulnerable para adherirse a la estadística nacional de obesidad infantil, donde México se encuentra entre los primeros lugares a nivel mundial.

MERCADO

Las condiciones y características de oferentes y demandantes alimentarios son cruciales para la configuración del mercado en sus diferentes escalas. Las preferencias, valores y poder adquisitivo de los demandantes alimentarios, representan una importante fuerza para la configuración de los mercados. La interacción de estas dos fuerzas tiene un efecto directo en la configuración de los sistemas alimentarios, las decisiones que se toman sobre los sistemas productivos y, en consecuencia, en las decisiones de gestión de los recursos de vida.

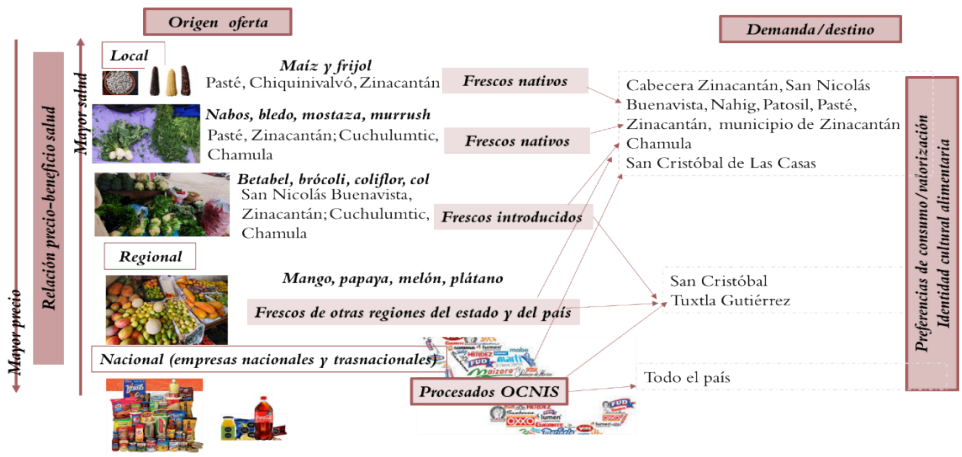
En la región Altos los mercados públicos de San Cristóbal de Las Casas juegan un papel central para la comercialización de la producción regional. El mercado Castillo Tielemans, creado hace más de 50 años, funciona principalmente con ventas al menudeo. En su interior hay locales de verduras, frutas, carne, pollo, pescado, entre otros. En el estacionamiento y hasta las calles circundantes se establecen puestos ambulantes indígenas dedicados a vender su producción. En el MERPOSUR y el Mercado del Norte se vende la producción al mayoreo. Este último se ha posicionado como un mercado de comercio mayormente indígena. De acuerdo con los entrevistados, la central de abastos en Tuxtla Gutiérrez es otro destino importante para la producción de los Altos. Los productores cercanos a San Cristóbal acuden a esta ciudad para vender su producto al menudeo o entregarlo a algún comprador, mientras que la producción que se destina a la central de abastos es acopiada en la localidad por un intermediario que la comercializa en Tuxtla Gutiérrez.

Tanto la cabecera municipal de Zinacantán, como la de Chamula, presentan un amplio flujo comercial que concentra verdulerías, tiendas de abarrotes, pollerías, pequeñas carnicerías, panaderías, tortillerías, pastelerías, zapaterías, entre otros. En ambos municipios persiste la tradición de las ventas de plaza los domingos, donde productores y vendedores de distintas localidades del interior del municipio y aledaños se dan cita para vender sus productos.

En las dinámicas del origen y destino de la producción regional (Ver figura 6), los productos procesados, con excepción de la coca cola, se producen fuera del Estado para todo el país. La mayoría de los alimentos frescos con mayor consumo se producen a nivel local. El maíz y el frijol son producidos por familias en las comunidades identificadas con el *patrón de precariedad de los recursos,* representan la base del abasto local de estos alimentos. Las hortalizas de hojas nativas (bledo, nabo, hierba mora) y las hortalizas introducidas (betabel, brócoli, coliflor, col) son producidas en San Nicolás Buenavista y Chamula. Las hortalizas nativas son distribuidas a nivel local y en San Cristóbal, son distribuidas a nivel regional y en Tuxtla Gutiérrez. Aunque el destino de la producción regional traspasa sus límites, hay alimentos cuya producción y demanda/consumo se

mantiene únicamente en la escala local y de la región Altos. Estos alimentos son los asociados a la *identidad cultural alimentaria*[11] que les confiere cierta valoración que propicia y sostiene su consumo como hortalizas, maíces y frijoles nativos.

Figura 6.
Dinámicas de producción y comercio de productos agrícolas de Zinacantán y Chamula.



Fuente: Silva, 2023, p. 207.

Un ejemplo emblemático se observó en Zinacantán. Hace más de 10 años se estableció la primera tortillería de máquina, en 2022 sólo había dos de este tipo. En 2019 una señora comenzó a vender tortillas hechas a mano con maíz nativo nixtamalizado en su cocina económica "El pato", en 2022 había 5 tortillerías más de este tipo. Esta preferencia se asocia a la valoración cultural de los maíces nativos, apreciados por las familias gracias a su sabor, textura y capacidad para saciar, aunque el precio es más elevado. De forma unánime los entrevistados refirieron que las tortillas de tortillería *no llenan*, sospechan que la masa de Maseca tiene rastrojo, del maíz de Distribuidora e Impulsora Comercial Conasupo, S. A. de C. V (DICONSA) refirieron que es "maíz de plástico" pues, aunque coman 2 kg de tortillas, transcurrida una hora tienen hambre de nuevo, mientras con las tortillas de maíz nativo eso no pasa. Doña Berta vende tortillas hechas a mano y compartió una anécdota que refuerza esa distinción del maíz. En una ocasión su esposo compró maíz de DICONSA porque no encontró a su proveedor de maíz nativo, y ella observó diferencias, pero lo usó con dificultades cuando lo preparó para el proceso de nixtamalización…

> ese maíz no agarra cal al cocer y no se cuece luego, costó para cocer, y cuando lo llevé al molino costó, todo tieso. Al poner las tortillas al comal, caso se infla la

11 Como Mulet (2023) expone "*comemos lo que somos*. La comida no es sólo nutrición, está arraigada en nuestra identidad, es un reflejo de la cultura, los intercambios y las dinámicas de poder que han moldeado nuestras sociedades a través de procesos históricos y sociales.

tortilla, no se infla, saber por qué, la tortilla queda todo tieso, no se puede calentar al otro día, se hace tostada (María Alberta de la Cruz, 9 de marzo de 2022).

Para no perder el maíz, pero tampoco su clientela, optó por "terciarlo" con maíz nativo que su esposo compró posteriormente, "sólo así se compuso la tortilla". En 2022 Doña Berta vendía el kilogramo de tortilla de maíz blanco en $24, el kilo de tortilla de máquina costaba $21. Cuando había maíz negro el kilo de tortilla costaba $27. Alrededor de los maíces nativos se expresa una interesante dinámica. Las familias que ya no lo producen y tampoco elaboran sus tortillas, como las de San Nicolás Buenavista, piden a domicilio tortillas hechas a mano. El *consumo* de las familias que *ya no producen maíz, ni elaboran tortillas, propicia y sostiene la oferta de maíces nativos, al preferirlo para tortillas hechas a mano*. El precio de la tonelada de maíz nativo puede ser superior al del "maíz de plástico". Castro y Barrios (2025) evidencian de qué manera la revalorización de los maíces nativos puede constituir un importante mecanismo de resistencia cultural y ecológica.

La relación precio-beneficio-salud es relevante, con las tortillas de maíz nativo se logra un precio-beneficio-salud alto, por la valoración que hay del maíz nativo. Los alimentos frescos, tanto nativos como introducidos, pero que se producen a nivel local tienen el precio más bajo, especialmente los nativos. En 2022, el manojo de nabo, bledo o mostaza costaba entre 5 y 10 pesos, el precio de la pieza de brócoli, coliflor o repollo oscilaba en el rango de 15 a 20 pesos, en función de su tamaño. Los productos frescos procedentes de otras regiones del estado o de fuera de la entidad, mayormente frutas, tenían precios más altos, por ejemplo, el kilogramo de plátano tenía un costo superior a los 20 pesos.

Los productos procesados tienen precios más altos en comparación con los productos frescos. Por ejemplo, los paquetes individuales de galletas y frituras en 2022 se encontraban en un rango superior a los 15 pesos, por esa misma cantidad es posible adquirir productos frescos para el consumo familiar. A diferencia de los alimentos frescos que mejoran y conservan nuestra salud, los procesados al ser comestibles chatarra por su densidad calórica, altos en azúcar y grasa, progresivamente deterioran la salud. Por lo tanto, la relación precio salud es inversamente proporcional para los alimentos frescos y para los procesados, es decir, mientras los alimentos frescos tienen un menor precio y aportan un mayor beneficio a la salud, los procesados tienen un precio más alto y deterioran la salud. Finalmente, con la demanda de alimentos nativos frescos, *culturalmente adoptados,* se favorece su producción y se beneficia directamente a las familias productoras locales, las cuales mantienen su decisión de producirlos, al tener a quien venderlos.

POLÍTICAS PÚBLICAS

La dimensión de políticas públicas juega un papel muy importante en la cuestión alimentaria, ya que el gobierno determina las directrices bajo las cuales se desarrollarán y ejecutarán planes y estrategias que impactarán el ámbito agroalimentario.

En México, las primeras políticas y programas en materia alimentaria derivaron de la Revolución de 1910, fueron de corte asistencialista y con estrecha relación con la Reforma Agraria. Durante el gobierno Cardenista la política agroalimentaria se fundamentó en la reforma agraria, las medidas de control al precio de granos en el mercado y los bancos de crédito ejidales. Estas medidas favorecieron el incremento de la producción agroalimentaria del país. Los gobiernos posteriores promovieron la actividad industrial, que mantuvo la política de estado benefactor, pero impulsó el modelo desarrollista. Esto llevó a la disminución de la participación de la actividad agrícola en la economía nacional en el período de crecimiento de 1940 a 1960, conocido como el milagro mexicano (Herrera, 2009).

La política neoliberal implementada en la década de 1980 implicó un cambio abrupto, cuyas reformas estructurales dieron fin al Estado benefactor y a la política de apoyo al campo iniciada en el período postrevolucionario. Se basaron en la privatización y desaparición de las instituciones que coadyuvaban a la estimulación de la producción y abasto nacional. Este cambio produjo la disminución en la participación de la producción agropecuaria en el Producto Interno Bruto (González y Macías, 2007). El frijol y las leguminosas fueron los alimentos que expresaron el descenso más drástico en su producción, que a nivel nacional fue paulatinamente desplazada por productos importados que llegaban a precios más bajos:

> Esta pérdida de importancia del sector alimentario en la economía ha llevado en México, al igual que en otros países, a desvalorizar su contribución al bienestar de la población y a suprimir el valor estratégico que anteriormente se le concedía al asociar la seguridad nacional con la "seguridad alimentaria" y al postular la "autonomía alimentaria" como objetivo clave de política pública (González y Macías, 2007, pp. 52-53).

Después de varios sexenios neoliberales, en 2018 llegó a la presidencia Andrés Manuel López Obrador y con él el movimiento MORENA. Desde entonces, el neoliberalismo ha sido fuertemente criticado en el discurso. En el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, se estableció que el mercado no sustituye al Estado. En materia agroalimentaria se crearon diversos mecanismos de apoyo: Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX), Programa de Precios de Garantía a Productos Alimentarios Básicos, Programa Nacional de Semillas, Programa Fertilizantes para el Bienestar y Programa de Producción para el Bienestar (Secretaría de Desarrollo Rural, 2020a).

El efecto de la política federal se ha expresado en la región Altos. El impacto más importante se experimentó durante el cardenismo: el reparto de tierra y la implementación de los precios en garantía favoreció el incremento de la producción de maíz en la región. En contraste, en el período neoliberal, dicha producción disminuyó con la eliminación de los precios en garantía, con la desaparición del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) las organizaciones de productores campesinos constituidas a su amparo tuvieron que buscar otras alternativas para continuar su

proceso productivo sin el arropo del gobierno. Esto propició, por un lado, un acelerado proceso de reconfiguración de las actividades realizadas por las familias rurales. Por otro lado, propició el resquebrajamiento de la relación que se había forjado con el Estado y se recrudeció el descontento social. Esto sería un factor determinante para el levantamiento zapatista de 1994.

En décadas recientes en materia agroalimentaria, se impulsó la reconversión productiva orientada a cultivos de alto valor comercial. Este, fue el eje estratégico de la política de Juan Sabines Guerrero (2006-2012). En su mandato se estigmatizó la producción de maíz para autoconsumo como factor perpetuador de la pobreza y deterioro ambiental debido a las prácticas de roza, quema y tumba. Por ello, se incentivó la transformación de la producción hacia cultivos más rentables (López, 2014). Como parte de esta política, en los Altos se desincentivó la producción de alimentos para el abasto local y regional, privilegiando el apoyo a la producción de flores, durazno y aguacate, cuya superficie cultivada ha crecido de forma considerable durante los años más recientes. Esto incidió en el deterioro de los sistemas alimentarios regionales, al no reconocerse el aporte de los pequeños productores al abasto regional de granos básicos y alimentos de consumo local.

CONCLUSIONES

Al revisar el estado que guarda cada una de las dimensiones de soberanía alimentaria en la región Altos de Chiapas y las profundas relaciones entre ellas, las cuales se pueden seguir a través del flujo de las decisiones de producción y consumo, es posible concluir que la Soberanía se encuentra en un proceso dinámico de reconfiguración condicionadas por los cambios sociales y culturales en el tiempo. La primera dimensión, recursos de vida, determinadas por las condiciones dadas por la naturaleza en el territorio de los Altos: altura, territorio montañoso, clima frío, tipo de suelo, biodiversidad y potencial productivo, cuya apropiación fue influida por procesos económicos, sociales y culturales. Hasta la década de 1970 estos recursos se utilizaban principalmente para la producción de alimentos, para consumo local como regional, y se obtenían a través de la milpa (maíz, frijol, chile) y de una amplia gama de hojas de raíz, muchas de ellas de origen nativo. Esto favorecido por las políticas del Estado benefactor y el mercado proteccionista que incentivaban la producción interna de alimentos. Estas condiciones fortalecían el sistema productivo y alimentario regional, y con ello el mecanismo de soberanía alimentaria.

Esto cambió significativamente a partir de la década de 1980, cuando la coyuntura de apertura del mercado y la implementación de políticas neoliberales, traducidas en pérdida del Estado benefactor, entre otros acontecimientos, provocaron una reconfiguración alimentaria profunda caracterizada por tres procesos: *reestructuración productiva, ruptura y resiliencia.* La *reestructuración productiva* más notoria se expresó en la cabecera de Zinacantán, con la intensificación de la producción de flores, cultivo generador de ingresos, en detrimento de las siembras de maíz y frijol, alimentos básicos en el consumo familiar. Este importante cambio en la decisión productiva de las

familias respecto a sus recursos disponibles se gestó con la finalidad de incrementar los ingresos, aunque ello significó una *ruptura* con la producción agrícola familiar como fuente preponderante del abasto alimentario*, pero no con el consumo*.

Si bien se disminuyó o abandonó la producción de alimentos básicos, su consumo se mantuvo como parte de una *identidad cultural alimentaria*. Esto favoreció el incremento de la demanda de recursos comestibles producidos por agricultores *resilientes*, cuyo acceso a los recursos de vida bajo *el patrón de la precariedad* los ha mantenido en la producción de maíz, frijol y hortalizas nativas. Estas familias representan un importante pilar en la producción y abasto de alimentos básicos a nivel local. La demanda de esta producción depende del consumo. En este sentido, el incremento progresivo de productos procesados introducidos con la apertura del mercado ha contribuido a un viraje en el patrón alimentario de la población más joven, cuyo mayor consumo de alimentos procesados pone en el centro del debate la importancia de fomentar la identidad cultural alimentaria, como elemento que incremente el consumo de alimentos tradicionales para así articular los sistemas agroproductivos locales con las necesidades nutricias de la población.

Para que se favorezca el consumo de alimentos locales, la identidad cultural alimentaria debe ser fuerte. Una expresión de lo anterior se observó con las tortillas hechas a mano con maíz nativo. Si bien se podría considerar que las tortillas elaboradas a mano o en máquina, con maíz nativo o con otro tipo de maíz, son al fin y al cabo tortillas, la identidad cultural marca una diferencia, de manera que, en la cabecera de Zinacantán, la demanda de tortillas hechas a mano creció desde que surgió el primer establecimiento que las ofrece. Esto a su vez propició el incremento en el número de pequeños establecimientos que las venden, generalmente a cargo de mujeres, así como el sostenimiento de la producción de maíz nativo.

Lo anterior es una muestra de que, en la medida en que más recursos comestibles locales logren mantener su identidad cultural alimentaria, la demanda de los mismos permanecerá y, con ello, el sostenimiento de quienes mantienen esta producción y la articulación productiva local hacia la soberanía alimentaria. Por el contrario, cuando estos recursos comestibles son desplazados por otros que no forman parte del sistema productivo regional, entonces se debilitan la producción local y la estabilidad económica de las familias agricultoras, además de que surge una mayor dependencia alimentaria, así como una mayor tensión en la búsqueda de actividades que generen ingresos para comprar los alimentos que ya no se producen. Ello desarticula la estructura agroproductiva regional, afectando la economía, la salud y la estabilidad social de sus habitantes, con consecuencias negativas, como las mostradas en la experiencia de los Altos de Chiapas.

En resumen, a partir del análisis sobre las interrelaciones que se generan entre las distintas dimensiones de la soberanía alimentaria, se pueden observar cómo éstas se ven alteradas y, con ello, el propio principio de soberanía alimentaria. Es claro que, en las condiciones actuales de preponderancia capitalista, las dimensiones recursos de vida, sistema productivo y sistema alimentario se encuentran a expensas

de los cambios en los mercados, cuya influencia las atraviesa como una corriente de agua para después volver a confluir en el mercado. Por esta razón, al constituir el mercado una dimensión de poder, la identidad cultural alimentaria puede actuar como mecanismo regulador que permita el control de los sistemas alimentarios locales y regionales a partir de las decisiones de consumo. Esto permitirá que las comunidades estén en condiciones de fortalecer su soberanía alimentaria y garantizar su derecho humano a la alimentación.

REFERENCIAS

Aguirre, P. (2000). Aspectos socioantropológicos de la obesidad en la pobreza. En M. Peña y J. Bacallao (Eds.). La obesidad en la pobreza. Un nuevo reto para la salud pública. Organización Panamericana de Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, pp. 13-25.

Aguirre, P. (2010). Ricos flacos y gordos pobres: la alimentación en crisis. Buenos Aires: Capital intelectual. http://www.gisa-unr.com/pdf/aguirre-ricosflacos-gordos-pobres- claves.pdf

Aguirre, P. (2010a). La construcción social del gusto en el comensal moderno, En Katz, M., Aguirre, P., y Bruera, M. (Eds), *COMER: Una palabra con múltiples sentidos*. Libros del Zorzal, pp. 154-155).

Aguirre, P., Katz, M., y Bruera, M. (2010). *Comer: Puentes entre la alimentación y la cultura.* Libros del Zorzal.

Amin, S. (2003). World poverty, pauperization and capital accumulation. http://patrimoinenumeriqueafricain.com:8080/jspui/bitstream/123456789/2659/1/pa uperization%20eng%20MR-converti.pdf

Amin, S. (2013). Soberanía alimentaria, justicia alimentaria y la cuestión agraria: una lucha por la convergencia en la diversidad. En E. Holt-Giménez (Ed.). *Movimientos Alimentarios Uníos*. ILSA.

Barragán, F., Retana, Ó. G., & Naranjo, E. J. (2007). The rodent trade of tzeltal indians of Oxchuc, Chiapas, Mexico. Human Ecology, 35, 769-773. DOI: 10.1007/s10745-007- 9116-7

Beauregard, S., y Gottlieb, R. (2009). Food Policy for People: Incorporating food sovereignty principles into State governance. Case studies of Venezuela, Mali, Ecuador and Bolivia. Senior Comprehensive Report, Urban and Environmental Policy Institute, Occidental College

Burguete Cal y Mayor, A. (2000). Agua que nace y muere. Sistemas normativos indígenas y disputas por el agua en Chamula y Zinacantán, Altos de Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Investigaciones Multidisciplinarias sobre Mesoamérica y el Sureste. https://doi.org/10.22201/cimsur.9683681549p.2001

Castro Cuamatzin, H., & Barrios Hernández, B. (2025). Cocina Tradicional, Agroecología y Economía Comunitaria. El Caso del Proyecto Milli: Cocina de Maíces. Estudios y Perspectivas, 5(2): 913-934. https://doi.org/10.61384/r.c.a..v5i2.1

Cleary D., Baumann, P., Bruno, M., Flores, X., Warren, P. (2004). Breve Estudio Bibliográfico y Comparativo de Enfoques Centrados en las Personas, Programa de Apoyo a los Modos de Vida Sostenibles (LSP), Serie de Documentos de Trabajo. FAO.

Clemente Pérez, A. G., Fletes Ocón, H. B., y Ocampo Guzmán, G. (2022). Las Abuelas zoques como agentes de cambio en las prácticas alimentarias. *Espacialidades*, 11(2), 04-28.

Colás, A., Edwards, J., Levi, J. y Zubaida, S. (2018). "Political Economy: The Global Food System", Food, Politics, and Society. Social Theory and the Modern Food System, University of California Press, 169-186

Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica [CEIEG]. (s/f). REGIÓN V – ALTOS TSOTSIL TSELTAL. Gobierno del Estado de Chiapas.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2013). La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas.

De Legarreta, A. P. (2019). *Cultura gastronómica en la Mesoamérica prehispánica*. Editores Siglo XXI.

Desmarais, A. (2008). The power of peasants: Reflections on the meanings of La Vía Campesina. *Journal of rural studies*, 24(2), 138-149. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2007.12.002

Edelman, M. (2014). Food sovereignty: Forgotten genealogies and future regulatory challenges. *Journal of Peasant Studies*, 41(6), 959-978. https://doi.org/10.1080/03066150.2013.876998

Enríquez Vázquez, P., Mariaca Méndez, R., Retana Guiascón, Ó. G., & Naranjo Piñera, E. J. (2006). Uso medicinal de la fauna silvestre en los Altos de Chiapas, México. *Interciencia,* 31(7), 491-499.

FAO (2023). WIEWS-El Sistema Mundial de Información y Alerta Rápida sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Glosario.https://www.fao.org/wiews/glossary/es/

Fazzino, T. L., Rohde, K., y Sullivan, D. K. (2019). Hyper-palatable foods: development of a quantitative definition and application to the US food system database. Obesity, 27(11), 1761-1768. https://doi.org/10.1002/oby.22639

Guiteras, C., y Castro, C. (1965). *Los peligros del alma: visión del mundo de un tzotzil*. Fondo de Cultura Económica.

González Chávez, H., y Macías Macías, A. (2007). Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. *Desacatos*, (25), 47-78.

González de Cosío, T., Kaufer, M., Tolentino, L., Jáuregui, A., Sánchez, K., Bourges, H., y Barquera, S. (2018). Sistema de etiquetado frontal de alimentos y bebidas para México: una estrategia para la toma de decisiones saludables. *Salud Pública de México*, 60(4), 479-486.

Herrera, F. (2009). Apuntes sobre las instituciones y los programas de desarrollo rural en México: del Estado benefactor al Estado neoliberal. *Estudios Sociales,* 17(33), 7-39.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (1970). IX Censo General de Población 1970. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1970/#tabulados

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (1990). XI Censo General de Población y Vivienda 1990. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2016). Actualización del Marco Censal Agropecuario 2016. https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/#Tabulados

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Chiapas 2017. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094836.pdf

Iles, A., y Montenegro de Wit, M. (2015). Sovereignty at what scale? An inquiry into multiple dimensions of food sovereignty. Globalizations, 12(4), 481-497. https://doi.org/10.1080/14747731.2014.957587

Lara, E. A., Fernández, E., del Valle, J. M. Z., Lara, D. J., Aguilar, A., & Van Damme, P. (2019). Etnomedicina en los Altos de Chiapas, México. *Boletín latinoamericano y del Caribe de plantas medicinales y aromáticas*, 18(1), 42-57.

Llanos-Hernández, L., & Rosas-Baños, M. (2018). Comunalidad y Neoliberalismo: La encrucijada indígena en Chiapas. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(4), 469-486.

Lowder, S. K., Sánchez, M. V., & Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated. *World Development*, 142, 105455. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105455

McMichael, P. (2014). Historizar la soberanía alimentaria: una perspectiva del régimen alimentario. En Borras, S. (Comp.). *Soberanía alimentaria, un diálogo crítico,* 47-65.

Mignolo, W. (2003). *Historias locales/diseños globales: colonialidad, conocimientos subalternos y pensamiento fronterizo* (Vol. 18), Ediciones Akal.

Mintz, S. (2003). *Sabor a comida, sabor a libertad. Incursiones en la comida, la cultura y el pasado*. CIESAS, Ediciones La Reina Roja.

Nestlé, M. (2013). *Food politics: How the food industry influences nutrition and health*. University of California Press.

Mulet, J.M. (2023). *Comemos lo que somos: Cómo la cultura y la sociedad han modificado la comida.* Ediciones Destino.

Nyéléni (2007). Foro para la Soberanía Alimentaria. Sélingué, Mali. 23-27 de febrero de 2007. https://nyeleni.org/DOWNLOADS/Nyelni_SP.pdf

Organización de las Naciones Unidas. Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos [ONU-OHCHR] (s/f). El derecho a la alimentación adecuada. Folleto informativo No.34. https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/FactSheet34sp.pd f

Ortega Cerdâ, M., & Rivera-Ferre, M. G. (2010). Indicadores internacionales de Soberanía Alimentaria: nuevas herramientas para una nueva agricultura. *Revibec: revista de la Red Iberoamericana de Economia Ecológica*, 14, 0053-77.

Patel, R. (2009). Food sovereignty. *The journal of peasant studies*, 36(3), 663-706. DOI: https://doi.org/10.1080/03066150903143079

Perezgrovas Garza, R. (2009). Papel de las pastoras tzotziles en la conservación de la diversidad del ganado lanar de Chiapas. *Animal Genetic Resources/Resources génétiques animales/Recursos genéticos animales*, 45, 65-69.

Pimbert, M. (2009). *Towards food sovereignty*. London: International Institute for Environment and Development.

Pozas, R. (1982). *Chamula: un pueblo indio de los altos de Chiapas*. Editorial de Ciencias Sociales.

Rus, J. (2012). *El Ocaso de la Finca*. UNICACH-CESMECA.

Silva, X. (2023). Soberanía alimentaria y derecho a la alimentación en familias rurales de los Altos de Chiapas. [Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio institucional de la UNACH. https://repositorio.unach.mx/jspui/handle/123456789/4165

Velázquez Galindo, Y. (2021). La comida de pobre. Relaciones de poder, memoria, emociones y cambio alimentario en una población de origen indígena. Contribuciones desde Coatepec, [S.l.], n. 34, p. 26-42, feb. 2021. Disponible en: https://revistacoatepec.uaemex.mx/article/view/16095

Windfuhr, M., y Jonsén, J. (2005). *Food sovereignty: Towards democracy in localized food systems.* ITDG PUBLISHING. FIAN INTERNATIONAL

Wittman, H. (2011). Food sovereignty: a new rights framework for food and nature? *Environment and Society,*2(1), 87-105. https://doi.org/10.3167/ares.2011.020106

Wittman, H., Desmarais, A., & Wiebe, N. (2010). The origins and potential of food sovereignty. Food sovereignty: Reconnecting food, nature and community, 2.









CAPÍTULO III
RECURSOS FITOGENÉTICOS: BASE PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS DE MESOAMÉRICA

Orlando López Báez, Sandra Isabel Ramírez González, Pedro Rene Bodegas Valera y Saul Espinosa Zaragoza[1]

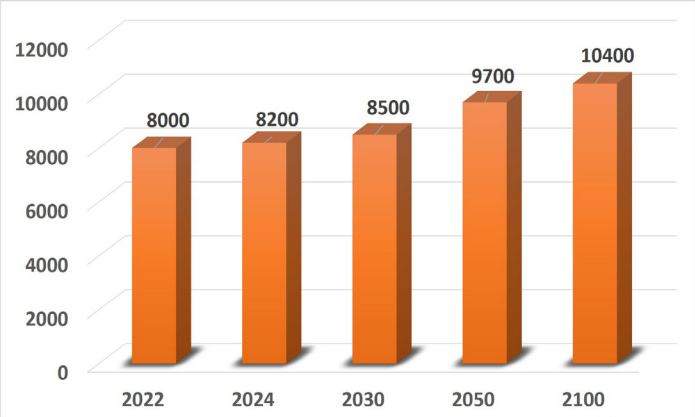
EL CRECIMIENTO POBLACIONAL Y SUS IMPACTOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

En los últimos 100 años, la población mundial se ha cuadruplicado, pasando de 2 mil millones en 1928 a 8 mil millones en el 2022; en tan solo doce años la población mundial paso de 7000 a 8 mil millones de habitantes (Figura 1). Se estima que harán falta quince años para que en el 2037 alcance los 9000 millones (https://www.un.org/es/global-issues/population). Este aumento de la población mundial esperado en los próximos años traerá consecuencias para la vida en el planeta; por una parte, se esperan aspectos positivos para el desarrollo de las sociedades, pero también se esperan efectos negativos sobre el planeta, ya que será necesario producir más alimentos y se requerirán más recursos como el agua y la energía, además de incrementar los efectos negativos derivados de la contaminación y la deforestación (https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/ evolucion-poblacion-mundial).

Ante el escenario de crecimiento de la población mundial de más de 9,000 millones de personas en los próximos años, se estima que se necesitará producir un 70% más de alimentos. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (ONU, CEPAL, 2024) en 2024, la población de América Latina y el Caribe, que incluye a Mesoamérica, alcanzó los 663 millones de personas y se proyecta que la población de la región alcanzará una cifra de aproximadamente 730 millones en 2053.

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

Figura 1.
Crecimiento de la población mundial (2022-2100)



Fuente: Elaborada con base en datos de: 1.- https://www.un.org/es/global-issues/population 2.-https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2024/Jul/wpp2024_summary_of_results_final_web.pdf

LA DEMANDA Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Existen en la tierra alrededor de 1,500 millones de hectáreas disponibles para la producción de alimentos, es decir, esta es la capacidad de la tierra para la producción de alimentos de origen agropecuario; en el Cuadro 1 se presenta la "tierra agrícola *per cápita*" durante el periodo de 1961 a 2022 (Hens y Quynh, 2016), este concepto se refiere a la suma de las tierras de cultivo y las tierras utilizadas como pasto para el pastoreo del ganado, en buena medida expresa la superficie en "hectáreas disponibles por persona" para la producción alimentaria.

Cuadro 1.
Tierra agrícola *per cápita* ha.

Región	1961	1970	1980	1990	2010	2022
Mundo	1,44	1,22	1,03	0,90	0,68	0,60
Europa	1,22	1,13	1,04	0,99	0,63	1,05
América del Norte	2,30	1,93	1,62	1.46	1,11	0,99
Sudamérica	2,94	2,49	2,18	1,84	1,39	1,20

Fuente: https://ourworldindata.org/grapher/agricultural-area-per-capita?time=earliest.2022&showSelectionOnlyInTable =1&country=OWID_SAM~OWID_EUR~OWID_WRL~ OWID _NAM

Como se observa, la tierra cultivable no tiene una distribución equitativa por país/región y la tierra agrícola *per cápita* ha disminuido a nivel mundial (FAO, 2024), en 1961 en el mundo se registraba 1,44 ha/persona; en 2022 ha disminuido a 0,60, a pesar del aumento de la superficie cultivable y se prevé que esta cifra disminuya aún más, hasta alcanzar 0,20 ha por persona para el 2050. Esta disminución

se debe principalmente al crecimiento demográfico, aunque el aumento de la productividad agrícola ha compensado en parte la reducción de superficie por persona (Hens y Quynh, 2016). Sin embargo, el espacio ambiental para tierras cultivables disminuye no solo en cantidad, sino también en calidad; alrededor de 30 millones de hectáreas de tierras de uso agrícola se encuentran gravemente degradadas por la salinización y alrededor de 80 millones más se ven afectadas por el anegamiento.

LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS Y LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Los Recursos fitogenéticos se refieren a la diversidad genética presentes en el mundo vegetal considerados de un gran valor para el presente y el futuro de la humanidad. Esta definición incluye las categorías siguientes: variedades de especies cultivadas, tanto tradicionales como comerciales, especies silvestres o afines a las cultivadas, con un valor actual o potencial y materiales obtenidos en trabajos de mejoramiento genético (Esquinas- Alcázar 1993). La FAO (2019) considera como recurso fitogenético "cualquier material de origen vegetal, incluido el material reproductivo y de propagación vegetativa que contiene unidades funcionales de la herencia y que tiene valor real o potencial para la alimentación y la agricultura".

Para los sistemas alimentarios, los recursos fitogenéticos constituyen un patrimonio de la humanidad de valor incalculable y su pérdida genera un proceso irreversible, ya que constituye una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas.

Según la definición de la FAO (2019) "los recursos genéticos constituyen la base biológica de la seguridad alimentaria, comprenden una diversidad de semillas y materiales para la siembra de variedades tradicionales y de cultivares modernos, de variedades silvestres afines a los cultivos y de otras especies de plantas silvestres". Además de su importancia para la alimentación humana y animal, de estos recursos se obtienen fibras, medicinas, materiales para producción de vestimenta, vivienda y producción de energía. Por esta razón, la conservación y el uso sostenible de los recursos fitogenéticos son necesarios para asegurar la producción agroalimentaria y hacer frente a los desafíos productivos y ambientales, y a los efectos del cambio climático. La pérdida de estos recursos tendría, a mediano y largo plazo, consecuencias para la seguridad alimentaria mundial y poseen las siguientes características:

- Se consideran los cimientos para la producción de alimentos.
- Constituyen la base biológica para la seguridad alimentaria.
- Son esenciales para los medios de vida y el desarrollo económico.
- Son los medios fundamentales para ayudar a los agricultores a adaptarse a los desafíos actuales y futuros, tales como el cambio climático.
- Estos recursos han sido generados por los agricultores, quienes los conservan de manera tradicional y son de gran valor para generar nuevas variedades y tecnologías.

Este concepto incluye las variedades tradicionales y las razas locales, los cultivares comerciales, los híbridos y otros materiales desarrollados mediante programas de

mejoramiento genético, los parientes silvestres de las especies cultivadas y otros materiales que podrían usarse en el futuro para la agricultura o para beneficio del ambiente (FAO, 2019).

IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

Los recursos fitogenéticos son esenciales para la estabilidad de los agroecosistemas y proporcionan la materia prima fundamental para la implementación de programas de fitomejoramiento para generar variedades mejoradas; son la base de la seguridad alimentaria y de la subsistencia de la humanidad, suplen las necesidades básicas y ayudan a resolver problemas generados por el hambre y la pobreza. Además, constituyen la base de la evolución de los cultivos, como recursos naturales que han permitido a éstos adaptarse a una infinidad de medios y aplicaciones y que les permitirá responder a los nuevos factores adversos que surjan en el presente siglo (FAO, 2025; Academie d'Agriculture de France, 2013; Debouk, 1981). Se estima que en la actualidad únicamente 30 cultivos proporcionan el 95 % de las necesidades de energía alimentaria del ser humano y tan solo cuatro de ellos (el arroz, el trigo, el maíz y la papa), suministran más del 60 %. Dada esta importancia que un número relativamente pequeño de cultivos tiene para la seguridad alimentaria mundial, es fundamental conservar la diversidad dentro de esos cultivos principales (Cuadro 2). Si bien el número de especies de plantas que proporcionan la mayor parte de alimentos en el mundo es, en términos relativos, reducido, la diversidad presente dentro de los recursos genéticos de estas especies es a menudo inmensa.

Cuadro 2.
Estatus de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (RFAA) Internacional y Nacional.

Región	Total de plantas	Recursos Genéticos	Cultivos
Mundo	270,000 (100%)	115,000 (42.5 %)	7,000 (2.5%)
Alemania	3,200 (100%)	11,50 (35.9 %)	400 (12.5%)
Europa	11,500 (100 %)	5,290 (46%)	700 (6.1 %)
México	23,424 (100 %)	7,000 (34%)	200 (0.86%)

Fuente: México, SNICS. http://snics.sagarpa.gob.mx/prensa/Documents/2 _SINAREFI.pdf

Un ejemplo de esta riqueza dentro de los recursos genéticos es el caso del arroz (*Oryza sativa*); en esta especie se calcula que el número de variedades distintas de la especie de arroz es superior a 100,000. En las comunidades agrícolas de los Andes se cultivan numerosas variedades tradicionales de papa (*Solanum tuberosum*) que incluyen numerosas formas, colores y sabores en tubérculos, flores y características de las plantas, muchas de ellas cultivadas por comunidades andinas por generaciones. Es esta diversidad dentro de las especies lo que permite la producción de cultivos en diferentes regiones y situaciones, tanto en lo que respecta a las condiciones del clima

como del suelo. La diversidad fitogenética también puede proporcionar caracteres valiosos para satisfacer los desafíos del futuro, como por ejemplo, la adaptación de los cultivos a las condiciones cambiantes (FAO, 2019).

La diversidad genética conservada en bancos de germoplasma constituye el esfuerzo mejor orientado para reunir y mantener la diversidad genética presente en los cultivos y contrarrestar las constantes modificaciones de la agricultura, la perturbación de los ecosistemas y la regresión de las vegetaciones naturales. Ellos resuelven las limitaciones que encuentran los trabajos de mejoramiento genético en determinadas zonas por el número también limitado de genotipos existentes (FAO, 2019). Para poder incrementar la productividad de los cultivos, sin degradación de la base de los recursos del agroecosistema, la Ingeniería Agronómica necesita asegurar un acceso continuo a recursos fitogenéticos con la mayor variabilidad genética posible.

LA DIVERSIDAD DE LAS PLANTAS CULTIVADAS

La agricultura surgió de forma independiente en diferentes partes del mundo hace aproximadamente 12,000 años, durante el Neolítico (Garay, 2022); este cambio en la manera de obtener alimentos revolucionó la forma de vida humana, ya que la recolección y la caza fueron sustituidas por una forma de vida sedentaria y la producción de alimentos basado en la siembra, cuidado y cosecha. Con la aparición de la agricultura, el hombre empieza a intervenir de forma directa en la evolución de las poblaciones naturales de las plantas cultivadas, dando lugar al proceso conocido como "domesticación". Este proceso evolutivo ha originado una enorme diversidad de especies e individuos que mediante los procesos de selección permanente se han adaptado a las diferentes condiciones del planeta (Garay, 2022).

Esta base genética posee una amplia variabilidad acumulada, la cual resulta esencial para el equilibrio del sistema y constituye lo que se denomina "germoplasma del planeta". Dentro de este conjunto, los "recursos fitogenéticos" comprenden la diversidad genética correspondiente al mundo vegetal que se considera poseedora de gran valor para el presente y el futuro de la producción de alimentos y otros bienes. Bajo esta definición se incluyen las categorías siguientes: variedades de especies cultivadas, tanto tradicionales como comerciales; especies silvestres o asilvestradas afines a las cultivadas que poseen valor actual o potencial y materiales obtenidos en trabajos de mejoramiento genético (Esquinas- Alcázar 1993).

Como resultado de la domesticación, las poblaciones de plantas son sometidas a procesos de selección acorde con las necesidades, las regiones y las prácticas agrícolas, dando como resultado la aparición de características morfológicas y fisiológicas particulares, el aumento de la producción, la reacción de resistencia y/o tolerancia a enemigos naturales, etcétera. Los cultivos primitivos se fueron extendiendo desde sus lugares de origen, transportados por migraciones primero y rutas comerciales después, encontrándose condiciones diversas de clima, suelo, vegetación y otros factores ambientales. De esta forma, las poblaciones de plantas cultivadas fueron evolucionando de diferentes formas en función de las características de las nuevas

zonas de cultivo y a las distintas prácticas de cultivo utilizadas y, en numerosos casos, como producto de la polinización natural se produjo un intercambio de genes o formación de híbridos entre las especies silvestres presentes en las nuevas localidades (Esquinas- Alcázar 1993).

Por otra parte, a través de miles de años, la selección de individuos sobresalientes por acción del hombre combinada con la selección natural, ha dado origen a numerosas especies y a una gran diversidad vegetal integrada por un enorme número de variedades y genotipos locales, caracterizados por su adaptación a las necesidades humanas y al medio ambiente (Flores-Hernández et al., 2018).

Desde la aparición de la vida en la Tierra, el número de especies vegetales fue aumentando en un proceso de diversificación constante, a través de mecanismos de selección y adaptación al medio ambiente. En cada región se desarrolló una gran diversidad de plantas silvestres adaptadas al tipo de suelo, a las variaciones del clima y resistentes a plagas y a enfermedades de la zona.

El primer estudio sobre la variabilidad de las plantas cultivadas fue realizado por el Genetista y Botánico Nicolai Ivanovich Vavilov (1887 - 1943) quien desarrolló y aplico la teoría de la existencia de "centros de origen" de las plantas cultivadas (Kudovic et al., 2000).

De acuerdo con Vavilov "las plantas cultivadas tienen sus centros de origen en regiones que muestran actualmente mayor densidad y variabilidad genética" y a partir de los cuales se dispersaron a otras zonas. Se basó en el principio de que el lugar para la "domesticación" de la planta silvestre tuvo que ser necesariamente su área de distribución natural (Vavilov, 1951; Kudovic et al., 2000). Vavilov identificó y propuso la existencia de ocho centros geográficos de máxima diversidad genética para especies cultivadas:

1. China,
2. India, región Indo-Malaya,
3. Asia Central, incluyendo Pakistán, Punjab, Kashmir, Afganistán y Turkestán,
4. Cercano Oriente,
5. Mediterráneo,
6. Etiopia,
7. Sur de México y Centroamérica,
8. Sudamérica: Ecuador, Perú, Bolivia; Chile; Brasil-Paraguay.

En la propuesta de Vavilov, la biodiversidad agrícola proviene en su mayoría de ocho núcleos identificables, que incluyen a China (lugar de origen de la soya), India, Asia Central, México-Centroamérica (cuna del maíz), los Andes en América del sur, de donde viene la papa y el Mediterráneo. Los trabajos de Vavilov permanecen actualmente válidos y se consideran como uno de los aportes más importantes para entender la historia y la evolución de las plantas cultivadas y los recursos fitogenéticos

(Vavilov, 1951; Kudovic et al., 2000). Hoy día, los centros Vavilov son refugios irremplazables de biodiversidad y son esenciales para la alimentación humana.

CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE ORIGEN

Los centros de origen de Vavilov, considerados como centros de gran diversidad, se definen como áreas geográficas donde existe una gran diversidad de plantas cultivadas y sus parientes silvestres, lo que indica el origen y la evolución de las plantas domésticas (Kudovic et al., 2000); dentro de las características se pueden señalar:

- Existe la mayor diversidad genética.
- Existen cultivares primitivos, parientes silvestres.
- Existe una coevolución con los enemigos naturales.
- Existen los genes que confieren caracteres particulares a la especie, por ejemplo, esterilidad, incompatibilidad genética, caracteres nutritivos.
- Existen genes de resistencia o tolerancia a plagas, enfermedades, etc...
- También es importante destacar que generalmente el cultivo se encuentra asociado a sistemas de agricultura tradicional, observándose un alto grado de polimorfismo en las variedades cultivadas.

Los centros de origen son importantes para la conservación de la biodiversidad agrícola, ya que albergan una gran cantidad de diversidad genética que puede ser útil para el mejoramiento genético de las plantas. Esta diversidad genética de los cultivos se ha enriquecido principalmente a través de la interacción entre las poblaciones silvestres de las especies y las poblaciones domesticadas, combinada con la selección aplicada por los productores agrícolas. Esto ha resultado en la existencia de una gran diversidad de variedades tradicionales de los cultivos en la región. Las plantas silvestres que comparten antepasados genéticos con las plantas domesticadas pueden entrecruzarse con ellas y aportar nuevas características. Este proceso, conocido como "flujo genético", puede introducir nuevas variantes genéticas en las poblaciones domesticadas, aumentando así la diversidad (Flores-Hernández et al., 2018; Zisumbo et al., 2010; Martín, 2001).

Los agricultores a lo largo de la historia han elegido y cultivado las plantas que mejor se adaptaban a sus necesidades, preferencias, y condiciones ambientales. Al seleccionar ciertas plantas y desechar otras, los productores han contribuido a la selección y evolución de las variedades cultivadas y a la formación de la diversidad genética presente en las poblaciones domesticadas.

LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS EN MESOAMÉRICA

Mesoamérica es una denominación geohistórica que comprende estados del centro y sur de México y países de América Central en que se desarrollaron las grandes culturas prehispánicas (Linares y Bye, 2015); algunos autores consideran también

Panamá y el norte de Colombia. Esta región, que comprende parte de México y Centroamérica, es considerada un importante centro de diversificación de especies vegetales domesticadas que incluye cultivos como el maíz, el frijol, el tomate, el cacao, entre otros. La diversidad genética observada en estos cultivos en Mesoamérica es el resultado de la interacción entre la infiltración genética producto de la polinización natural y la selección humana.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de México (2022) señala que, en Mesoamérica, la base de los sistemas alimentarios radica en la "milpa" la cual constituye un policultivo dinámico que integra recursos genéticos; es decir, combina diferentes especies vegetales, lo que permite incrementar la adaptación del agroecosistema, así como la variedad alimentaria de las y los productores. Los principales cultivos que conforman la milpa son el maíz, el frijol y la calabaza (estos tres se conocen como la triada mesoamericana), además se integran también chiles (*Capsicum*) y tomate (*Licopersicum*). Según la CONABIO (2020) también se encuentran el pápalo (*Porophylum ruderale* subsp. macrocephalum), la verdolaga (*Portulaca oleracea*), el quintonil (*Amaranthus* spp.), el romerito (*Suaeda nigra*), el quelite cenizo (*Chenopodium berlandieri* subsp. berlandieri), el huauzontle (*C. berlandieri* subsp. nuttaliiae), los alaches (*Anoda cristata*), el epazote (*Dysphania ambrosioides*), la chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), la hoja santa (*Piper auritum*) y los chepiles (*Crotalaria* spp.).

Linares y Bye (2015) indican que en Mesoamérica se conserva de manera tradicional una gran cantidad de especies, independientemente del desarrollo económico y las vías de comunicación; estos autores reportan 127 especies herbáceas nativas distintas que habitan en las milpas mexicanas; las regiones con reportes de mayor cantidad de especies son: el Centro-Este (119 especies), el Sur (81 especies) y el Norte (21 especies). Durán y Méndez (2010) y Zisumbo et al., (2010) reportan que la población Maya en Mesoamérica, integró como base de su alimentación un conjunto de recursos fitogenéticos que representan 20 especies de frutales, 12 especies de granos, tubérculos y vegetales, como frijoles, ibes, jícama y chaya.

Desde la Mesoamérica precolombina la planta de cacao (*Theobroma cacao* L.), ya era de gran importancia, siendo utilizado como alimento, bebida sagrada, moneda de cambio y en rituales religiosos. Los olmecas fueron los primeros en domesticar, cultivar y procesar el cacao y esta práctica se extendió a otras civilizaciones como los mayas y aztecas (SAGARPA, 2017); las primeras plantaciones fueron establecidas aprovechando las selvas tropicales del sur de México integrando un sistema agroforestal que aún persiste en tiempos actuales. Estudios realizados en diversas regiones de Chiapas y Tabasco (López, Sandoval y Soto, 1988; Salgado-Mora et al., 2007; Priego-Castillo et al., 2009; Ramírez-Meneses et al., 2013; López-Báez et al., 2015; López et al., 2021) indican que el cacao se cultiva en Mesoamérica bajo un sistema agroforestal megadiverso donde esta planta se integra con especies de diferentes estratos altitudinales, identificándose leguminosas, frutales y cultivos alimenticios en la misma área, lo cual provee beneficios tanto económicos como ambientales. Este sistema además del cacao, produce también una variedad de

alimentos para consumo local y/o comercialización, además de mejorar la salud del suelo y fomentar la biodiversidad. Los sistemas agroforestales de cacao son un ejemplo de "bosque tropical productor de alimentos", una alternativa prometedora para la agricultura sostenible, ya que ofrecen una mayor diversificación de ingresos, una mejor dieta en términos de producción y nutrición, una mayor resiliencia al cambio climático y una mejor protección del medio ambiente.

Desde la perspectiva de la conservación y aprovechamiento de la biodiversidad, este modelo de sistema agroforestal actúa como un sistema que conserva una gran diversidad vegetal, así como de los recursos genéticos de estas especies que se integran en el sistema (López-Báez et al., 2015; Boshier, 2012).

LA EROSIÓN GENÉTICA

Desde hace 200 años, como consecuencia del desarrollo agrícola e industrial y la progresiva unificación de hábitos culturales y alimenticios, el número de cultivos y la heterogeneidad dentro de los mismos han venido descendiendo progresivamente; según indica la FAO (FAO, 2025) en la actualidad, el 90 % de la alimentación mundial está basada en tan sólo unas 30 especies vegetales y unas docenas de variedades.

La pérdida de los recursos fitogenéticos, también conocida como *erosión genética*, se refiere a la disminución o pérdida de variedades y razas de plantas cultivadas y silvestres, es un proceso generalizado que puede tener consecuencias importantes por sus efectos negativos en la seguridad alimentaria, la sostenibilidad de la agricultura y la adaptación al cambio climático (Khoury, 2022). La erosión genética se considera un proceso irreversible que pone en riesgo la estabilidad de los ecosistemas y el desarrollo de sistemas agroalimentarios en el mundo.

Entre los factores que contribuyen a la pérdida de recursos fitogenéticos destacan:

- Especialización de cultivos: la agricultura moderna se ha centrado en la producción de un número limitado de cultivos, lo que ha generado una reducción de la diversidad genética de los cultivos que sustentan la producción de alimentos.
- La sustitución de las variedades locales por variedades modernas.
- La sustitución de los sistemas de cultivo tradicionales por variedades modernas comerciales lo que ocasiona la pérdida y reducción de la diversidad genética presente en los recursos fitogenéticos tradicionales.
- El cultivo de variedades uniformes: la selección y el uso de variedades con características específicas para la producción, a menudo a expensas de la resistencia a enfermedades o plagas, que reducen la diversidad genética del territorio.
- El Cambio climático: El cambio climático puede afectar la distribución y la supervivencia de las plantas silvestres y las variedades locales, contribuyendo a la pérdida de diversidad.
- La degradación del ambiente: La deforestación, la urbanización y la contaminación del suelo y del agua también pueden reducir la diversidad de especies vegetales.

- El uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes: El uso excesivo de estos productos puede causar daños a las plantas, reducir su capacidad reproductiva y limitar la diversidad de especies.

- La falta de interés en la conservación: La falta de inversión y apoyo a la conservación de los recursos fitogenéticos por parte de los gobiernos locales, puede llevar a su pérdida irreversible.

Como consecuencias de la pérdida de recursos fitogenéticos (FAO, 2025; Khoury, 2022) se señalan:

- *Reducción de la resiliencia de los cultivos*: La pérdida de diversidad genética reduce la capacidad de los cultivos para adaptarse a las condiciones cambiantes del medio ambiente, las enfermedades y las plagas.

- *Aumento de la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria*: La dependencia de un número limitado de variedades de cultivos puede hacer que la producción agrícola sea más vulnerable a las enfermedades, las plagas y los cambios climáticos.

- *Limitación de las opciones para el desarrollo de nuevas variedades*: La pérdida de material genético reduce la disponibilidad de germoplasma para el desarrollo de nuevas variedades con características mejoradas.

- *Amenaza a la biodiversidad en general*: La pérdida de diversidad en las poblaciones de plantas cultivadas y silvestres puede tener efectos en cadena en los ecosistemas y en la diversidad de la vida en general.

LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

La pérdida de la diversidad genética de las plantas cultivadas que proporcionan alimentos, así como sus parientes silvestres, es una grave amenaza a la seguridad alimentaria en el futuro; por lo que la necesidad de asegurar la conservación, protección y el uso sostenible, de los recursos genéticos se convierte en una prioridad a nivel mundial, especialmente en un escenario de cambio climático, de crecimiento poblacional y una mayor demanda de alimentos.

En la década de 1990, la preocupación por la protección de la biodiversidad en todas sus formas se convirtió en una prioridad a nivel mundial lo que dio origen al "Convenio sobre la Diversidad Biológica" (ONU, 1992), como instrumento para "la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos", convenio que ha sido ratificado por 196 países. El Convenio sobre la Diversidad Biológica cubre la diversidad biológica a todos los niveles: ecosistemas, especies y recursos genéticos.

La soberanía nacional sobre la biodiversidad y la distribución de beneficios fueron una respuesta a las disparidades en la distribución y el uso de los recursos genéticos, así como a la preocupación por el creciente potencial de privatización de estos recursos, por ejemplo, a través de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), la legislación sobre patentes y los acuerdos comerciales.

La conservación de los recursos fitogenéticos en su ambiente natural es una acción indispensable para que las distintas especies mantengan una coevolución con el ambiente.

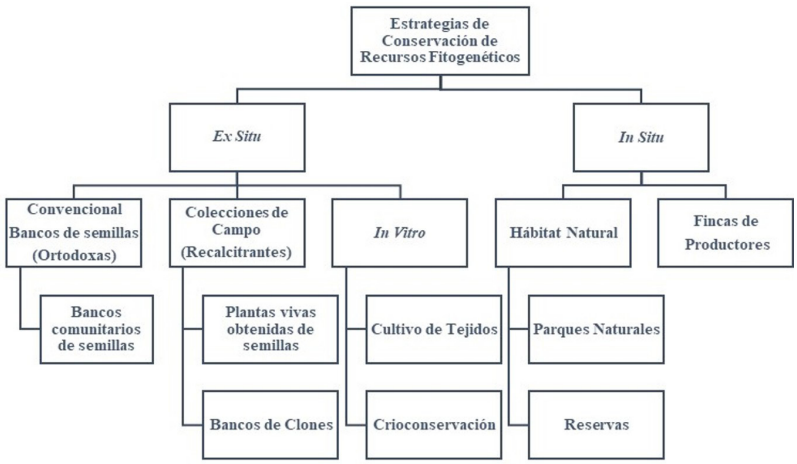
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN

Para la conservación de los Recursos Fitogenéticos se pueden emplear dos estrategias: la conservación *Ex Situ* y la conservación *In Situ*; en la Figura 2 se presentan las características de cada estrategia.

LA CONSERVACIÓN *EX SITU*

La conservación *Ex Situ* se basa en conservar la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales; es decir se realiza en "lugares destinados a la conservación de la diversidad genética de uno o varios cultivos y sus especies silvestres relacionadas", estos lugares reciben el nombre de "bancos de germoplasma" o "colecciones de germoplasma". Los bancos de germoplasma son de gran importancia para la investigación y el mejoramiento genético de las especies agrícolas, constituyen la base genética para la creación de nuevas variedades con características deseables.

Figura 2.
Estrategias aplicadas a la conservación de los recursos fitogenéticos.



Fuente: elaboración propia.

Los bancos de germoplasma destinados a la conservación de semillas, aunque es la vía más común de conservación, presentan el inconveniente de que no son una opción viable para todas las plantas del mundo. Existen especies vegetales cuyas semillas pierden la viabilidad en poco tiempo y no soportan tratamientos de desecación y conservación a bajas temperaturas, estas reciben el nombre de "recalcitrantes", a diferencia de las "ortodoxas" cuyas semillas pueden conservarse. Según la naturaleza de las semillas "ortodoxas" o "recalcitrantes", la conservación puede realizarse en:

- Bancos de semillas.
- Bancos de germoplasma de plantas vivas o también llamadas colecciones de campo.
- Banco de germoplasma o Colecciones *In vitro*.

BANCOS DE SEMILLAS

Un banco de germoplasma destinado a conservar semillas es un lugar en el que se mantienen las condiciones adecuadas para conservar ejemplares de semillas de distintas especies vegetales (silvestres o cultivadas). Los ejemplares de semillas se conservan en condiciones de humedad estable, baja temperatura constante y con poca luz o en condiciones de oscuridad. Las condiciones de almacenamiento generalmente son: humedad (10 - 12%), temperaturas (- 20 ^{0}C) y obscuridad.

De manera general, las semillas se guardan ya sea en recipientes o en paquetes de papel de aluminio, que a su vez se almacenan en cajas y se distribuyen en estantes dentro del banco. La identificación de los recipientes se realiza mediante etiquetas que indican la variedad, el lugar de procedencia o donde fueron recolectadas, y sus características. Los bajos niveles de temperatura y humedad aseguran una baja actividad metabólica, lo que permite mantener las semillas por periodos prolongados de tiempo. La FAO en 2019 reportó la existencia de "1,750 bancos de germoplasma en todo el mundo, aproximadamente 130 de ellos con más de 10,000 entradas o adquisiciones". Del total de 7,4 millones de muestras conservadas en el mundo, los bancos de germoplasma de los gobiernos nacionales conservan 6,6 millones, un 45% de las cuales se encuentra en tan solo siete países.

LOS BANCOS COMUNITARIOS DE SEMILLAS

Una alternativa para la conservación de semillas son los "Bancos Comunitarios de Semillas"; esta estrategia se realiza entre productores de comunidades rurales donde se establecen. Su funcionamiento se basa en el sistema de préstamo y devolución. Se manejan a través de grupos de productores interesados en mantener, mejorar, utilizar e intercambiar materiales genéticos dentro de la comunidad, o entre comunidades y/o regiones (Aragón-Cuevas et al., 2011; Aragón, 2016). La conservación se realiza en estructuras rústicas que conservan en botes herméticos de diferente capacidad la diversidad genética de importancia económica o cultural de la localidad. De acuerdo con Vera et al., (2016) los bancos comunitarios cumplen funciones como: "disponer de semilla para el restablecimiento de sistemas de cultivo en caso de desastres naturales, conservar *In Situ* la diversidad local; seleccionar semilla en el campo durante cada ciclo de cultivo y garantizar la disponibilidad de semilla para los ciclos subsiguientes; promover el intercambio de semilla entre agricultores miembros y no miembros de los bancos; producir semilla de variedades amenazadas o en peligro de extinción; participar en ferias de semilla; participar como asistente o instructor en eventos de capacitación sobre conservación y reproducción de semilla y mantener un inventario de semillas para garantizar la recuperación de cultivos posterior a los desastres naturales".

LAS COLECCIONES DE CAMPO

Las colecciones de campo son una alternativa muy importante para la conservación de materiales en ambientes naturales por períodos prolongados; tienen además la ventaja de que permiten la caracterización y evaluación, así como disponer de propágulos para la propagación y distribución de los mismos. El estado de estas colecciones varía considerablemente con el tamaño, el nivel de reproducción, la procedencia del germoplasma, su carácter nacional o institucional, así como los objetivos del trabajo. Las especies de plantas de propagación vegetativa, con un ciclo biológico largo y/o con semillas de corta duración (recalcitrantes), se suelen mantener en bancos de germoplasma de campo. Un gran número de especies recalcitrantes e intermedias se conservan como colecciones vivas, estas se propagan asexualmente mediante injertos, estacas enraizadas, tubérculos, rizomas, bulbos, hijuelos, etc., de acuerdo con la especie. Aunque las plantas de los bancos de germoplasma de campo son fáciles de caracterizar y evaluar, también están expuestas a pérdidas por el ataque de plagas y enfermedades o a condiciones adversas como la sequía, las inundaciones, los incendios y el viento, entre otras.

Las colecciones de campo pueden conservar:

- Plantas originadas de semilla: ejemplos especies frutales, chayote, café, palma de aceite, cacao, cocotero.
- Plantas propagadas vegetativamente en forma de colecciones de clones: cacao, café, banano, frutales, yuca, papa, y muchos frutales.

Figura 3.
Ejemplo de cultivos tropicales cuyos recursos fitogenéticos se conservan en colecciones de campo



Banano
Musa spp.



Cacao
Theobroma cacao



Café
Coffea arabica

Fuente: elaboración propia.

La conservación *Ex Situ* implica el desarrollo de colecciones de recursos fitogenéticos y presenta ventajas de tipo práctico frente a la conservación *In Situ* ya que, al concentrarse el material genético y la información asociada al mismo, los costos se

reducen, se tiene un mejor control y se facilita el intercambio o suministro de material a científicos, productores y usuarios en general. Es de hacer notar que este tipo de conservación, por su carácter estático, presenta el inconveniente de no permitir la continuación de los procesos evolutivos. Asimismo, no se puede dejar de tener en cuenta el riesgo de pérdida de materiales por accidentes o por erosión genética dentro del propio banco.

LA CONSERVACIÓN *IN VITRO*

La biotecnología ofrece técnicas alternativas para la conservación de germoplasma, dentro de las cuales es posible diferenciar:

- El cultivo de tejidos
- La crioconservación

El cultivo de tejidos vegetales, es un conjunto de técnicas que consiste, en cultivar en condiciones de laboratorio un fragmento de una planta, llamado "explante" el cual puede ser una hoja o parte de ella, un meristemo, un ápice, la porción de tallo, un embrión, una semilla, una antera, etc.; el explante es cultivado en un medio nutritivo estéril (usualmente semisólido) donde se regenerará en una o varias plantas. El cultivo se realiza en condiciones físicas y químicas artificiales apropiadas para que las células expresen su máximo potencial (Figura 4). Durante este proceso, es necesario adoptar un estricto procedimiento de sanidad (asepsia) para mantener los cultivos libres de contaminación microbiana (Mijangos, Santana y Latournerie, 2010).

En las últimas décadas, el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo *in vitro* (Acuña-Zornosa, R. 2020; Castilla-Valdés et al., 2020; Roca y Mroginski, 1993) ha permitido el desarrollo de protocolos de propagación y conservación con las siguientes características:

- Para la conservación se pueden utilizar como explantes: embriones cigóticos, embriones somáticos, ápices, microestacas y meristemos.
- Condiciones de cultivo: medios nutritivos empobrecidos (bajo contenido mineral, de azúcares, hormonas), subcultivos frecuentes.
- Factores físicos modificados: luz, temperatura, humedad, se ajustan según las necesidades del cultivo.
- Ejemplos de bancos de germoplasma *in vitro*: Café, Banano, Yuca, Papa, especies forrajeras.

La técnica de crioconservación permite conservar células, embriones, tejidos, etc. a bajas temperaturas a - 196 °C en nitrógeno líquido, tal como se aprecia en la Figura 5. Los bancos de germoplasma en condiciones *In vitro* presentan ventajas como el requerir un espacio pequeño, los tejidos son cultivados libres de ataques

de plagas y enfermedades, disminuyen las necesidades de mano de obra y además, facilitan el intercambio de germoplasma (Mijangos, Santana y Latournerie, 2010).

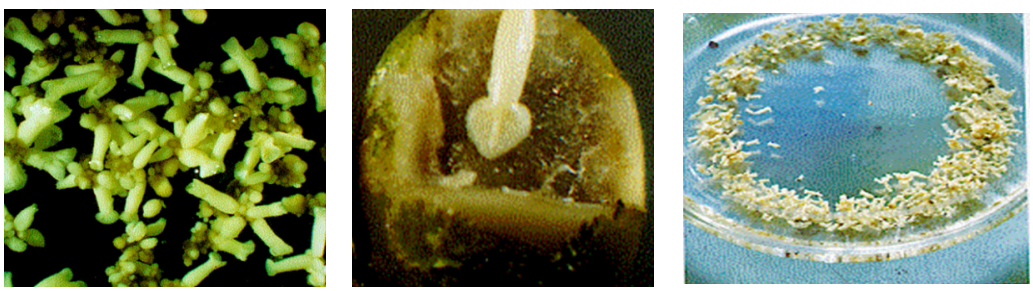
Figura 4.
Cultivo de plantas *in vitro*



Fuente: Adaptado de Acuña-Zornosa (2020); Castilla-Valdés et al. (2020); Roca y Mroginski, (1993).

El tejido empleado para la conservación *in vitro* debe permitir tanto su establecimiento, como una regeneración de plantas en un amplio rango de genotipos y alta estabilidad genética. Debido a los altos riesgos de pérdida, es recomendable mantener un duplicado de la colección.

Figura 5.
Técnica de crioconservación embriones y células a bajas temperaturas (- 196 °C).



Conservacion de embriones somaticos
Conservación de embriones cigóticos

Conservación de suspensiones celulares

Fuente: adaptado de Acuña-Zornosa, R. (2020); Castilla-Valdés et al. (2020); Roca y Mroginski, (1993).

LA CONSERVACIÓN *IN SITU*

A diferencia de la conservación *Ex Situ*, que implica la extracción del material genético de su entorno natural, la conservación *In Situ* se basa en mantener las poblaciones y sus hábitats en su ubicación original. Consiste en la conservación de la diversidad natural de las plantas en su medio natural. La conservación *In Situ* juega un papel crucial en la preservación de los recursos fitogenéticos, que son vitales para la seguridad alimentaria y la adaptación de las plantas a los cambios ambientales. De acuerdo con Martínez (2001), en la conservación *In Situ* no sólo se preservan cada uno de los componentes del ecosistema sino también todas sus relaciones recíprocas y se permite la continuación de los procesos evolutivos de las plantas. Una de las fortalezas de la conservación *In Situ* es que permite la continuidad de las especies mientras se siguen desarrollando nuevos tipos recombinantes (Priyanka et al., 2021). Sin embargo, la falta de protección en ausencia de vigilancia gestionada, el potencial de que múltiples contaminantes ambientales degraden el germoplasma y el alto costo de retener una gran cantidad de genotipos son todas desventajas de la conservación *In Situ*.

La conservación *In Situ* resulta más apropiada para especies silvestres y presenta menos problemas que en las plantas cultivadas dado que sus hábitats son ecosistemas naturales en los que no interviene la acción humana. La conservación *In Situ* de las especies silvestres implica la adecuada protección y gestión de los ecosistemas en los que habitan y, para ello, existe un gran número de figuras de salvaguardia de espacios naturales (parque natural, parque nacional, reservas, etc.). Los costos de este tipo de conservación disminuyen cuando en la zona protegida están concentradas diferentes especies. Contrariamente, cuando las áreas de distribución de las plantas son demasiado extensas, el establecimiento de medidas de protección se hace difícil por su costo y su interferencia con otras actividades humanas. Como ejemplos de reservas creadas específicamente para la salvaguardia de recursos fitogenéticos pueden citarse la de Mazatlán en México para especies silvestres de maíz o las de Israel o Turquía para antecesores o parientes silvestres de cereales (FAO, 2025; Aragón-Cuevas, et al., 2011; Frankel, 1984).

La conservación *In Situ* presenta las siguientes ventajas:

- Mantenimiento de la diversidad genética: La conservación *In Situ* ayuda a preservar la diversidad genética dentro de las poblaciones naturales, lo que es importante para la adaptación a los cambios ambientales, enfermedades y plagas.
- Mantenimiento de la coevolución: Necesaria para la adaptación frente a un ambiente cambiante.
- Adaptación a los cambios: Las poblaciones en su entorno natural tienen una mayor capacidad de adaptarse a los cambios ambientales, ya que están expuestas a las presiones y selecciones naturales de su entorno.
- Preservación de la diversidad biológica: La conservación *In Situ* contribuye a la conservación de la diversidad biológica en general, al proteger los hábitats y las especies que los habitan.

- Sostenibilidad: La conservación *In Situ* promueve la agricultura sostenible, al permitir que las poblaciones y los ecosistemas se mantengan en equilibrio.

- Acceso a recursos genéticos: La conservación *In Situ* asegura el acceso a los recursos genéticos que pueden ser utilizados para el desarrollo de nuevas variedades de cultivos y la mejora de la calidad de los productos agrícolas.

ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN *IN SITU*:

- Áreas protegidas: como parques nacionales, reservas naturales, áreas de conservación de especies, etcétera.

- Conservación en fincas: la conservación de variedades locales en los campos de los agricultores.

Se considera que la mejor forma de preservar y tener en un futuro la posibilidad de aprovechar la diversidad genética natural de las plantas, es mediante la conservación *In Situ*, es decir mantener y cuidar las especies silvestres dentro de su hábitat natural, cuidando la sobreexplotación, la destrucción de hábitats naturales, la selección de determinadas variedades para la producción a gran escala, dejando de lado las especies que no presentan, a simple viste, características exigidas por el mercado (FAO, 2025; Frankel, 1984; Aragón-Cuevas, et al., 2011).

Es importante destacar que esto no podrá lograrse sin una adecuada gestión y conciencia ambiental, por lo cual resulta imprescindible definir políticas destinadas a la preservación y el cuidado de las especies silvestres, para no lamentar su pérdida (Boulege, 2015).

La amenaza de la erosión genética dio lugar a las primeras iniciativas internacionales para la creación, en 1974, del Consejo Internacional de Recursos Genéticos (CIRF), entonces órgano independiente que tributaba a la secretaría de la FAO, para coordinar un programa internacional sobre los recursos genéticos. El resultado práctico de éstos y otros acontecimientos fue un esfuerzo concertado para recolectar y conservar recursos fitogenéticos antes de que desaparecieran. Los expertos estaban convencidos y tenían buenos motivos para ello, de que disponían de muy poco tiempo para recolectar y salvaguardar esos recursos, a fin de evitar su desaparición.

LA PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS FITOGENÉTICOS

En México, la ley que regula el acceso a los recursos genéticos y la distribución de beneficios es la Ley General de Acceso a Recursos Genéticos y de la Biodiversidad, la cual tiene como objetivo principal la conservación, protección y aprovechamiento sostenible de los recursos genéticos, así como el acceso equitativo a ellos y la distribución justa de los beneficios. Esta ley es fundamental para la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos genéticos en México, garantizando la protección de la biodiversidad y la participación justa de los pueblos indígenas y comunidades locales en los beneficios derivados de su utilización.

De acuerdo con esta ley, el registro de variedades consiste en administrar y coordinar el sistema que fomente la generación y transferencia de tecnología en variedades vegetales a fin de incrementar la producción agropecuaria a través de la integración de un marco técnico y normativo cuya operación eficaz y oportuna permita a los productores nacionales e internacionales la explotación de mejores variedades bajo un marco de certidumbre Jurídica y retribución equitativa.

Las variedades vegetales pueden registrarse oficialmente de dos maneras:

- Mediante la obtención de un título de obtentor que otorga un derecho temporal de explotación exclusiva.
- A través de la inscripción en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), el cual no confiere exclusividad de uso, pero es indispensable tanto en el proceso de calificación de la calidad de las semillas, como en el listado oficial de variedades de uso común.

El marco normativo para el primero es la Ley Federal de Variedades Vegetales de 1996, la cual está en concordancia con el acta de 1978 del Convenio de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), al que México se adhirió en Julio de 1997. El segundo tipo de registro está fundamentado en la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas de 2007.

El Derecho de obtentor varietal (DOV), es un derecho consistente en el reconocimiento que el Estado hace, a través del otorgamiento de un Título de Obtentor, a favor de una persona física o moral, que mediante un proceso de mejoramiento haya obtenido y desarrollado una variedad vegetal de cualquier género y especie, la cual deberá ser nueva, distinta, estable y homogénea.

Derechos que otorga el título de obtentor. En virtud del título de obtentor, el Estado protege y otorga a favor de su titular los siguientes derechos:

- Ser reconocido como obtentor de una variedad vegetal.
- Este derecho es intransferible e imprescriptible.
- Aprovechar y explotar, en forma exclusiva y de manera temporal, por sí o por terceros con su consentimiento, una variedad vegetal y su material de propagación, para su producción, reproducción, distribución o venta, así como para la producción de otras variedades vegetales e híbridos con fines comerciales.

De acuerdo con la Ley Federal de Variedades Vegetales (1996) de México, los derechos de obtentor tendrán una duración de:

- Dieciocho años para especies perennes (forestales, frutícolas, vid, ornamentales) y sus portainjertos.
- Quince años para las especies no incluidas en el inciso anterior.

Estos plazos se contarán a partir de la fecha de expedición del título de obtentor y, una vez transcurridos, la variedad vegetal, su aprovechamiento y explotación, pasarán al dominio público.

De acuerdo con lo que establece la Ley Federal de Variedades Vegetales (1996) para que una variedad vegetal sea objeto de protección deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Novedad: Cumple esta característica la variedad vegetal o su material de propagación, que al momento de presentación de la solicitud:

- No se hayan enajenado en territorio nacional, o bien se hayan enajenado dentro del año anterior a la fecha de presentación de la solicitud de título de obtentor.
- No se hayan enajenado en el extranjero, o bien la enajenación se haya realizado dentro de los seis años anteriores a la presentación de la solicitud, para el caso de perennes (vid, forestales, frutales y ornamentales), incluidos sus portainjertos y dentro de los cuatro años anteriores a la presentación de la solicitud, para el resto de las especies.

Distinción: Tendrá esta característica la variedad vegetal que se distinga técnica y claramente por uno o varios caracteres pertinentes de cualquiera otra variedad, cuya existencia sea conocida en el momento en que se solicite la protección.

Estabilidad: Tendrá esta característica la variedad vegetal que conserve inalterados sus caracteres pertinentes después de reproducciones o propagaciones sucesivas, y

Homogeneidad: Tendrá esta característica la variedad vegetal que sea suficientemente uniforme en sus caracteres pertinentes, a reserva de la variación previsible por su reproducción sexuada o multiplicación vegetativa.

Denominación: Será considerada como su designación genérica. Para ser aprobada, deberá ser diferente a cualquier otra existente en el país o en el extranjero, cumplir con los demás requisitos establecidos en el reglamento de esta ley y no ser idéntica o similar en grado de confusión a una previamente protegida.

REFLEXIONES FINALES

Uno de los mayores desafíos de la sociedad actual es alimentar a una población en crecimiento constante, que según predicciones, para el año 2050 alcanzará los 9800 millones de habitantes; esta explosión demográfica generará una mayor presión sobre los sistemas alimentarios, a lo cual habrá que sumar los impactos del cambio climático dentro de los que se prevén aumentos en el nivel del mar, erosión de las costas, intrusión de agua salada, incremento en las temperaturas, disminución y modificación en los ciclos de lluvias y eventos meteorológicos extremos más frecuentes como el caso de huracanes. Como consecuencia de estos efectos, es probable que la producción de alimentos se vea afectada negativamente.

En Mesoamérica, se prevé que, como consecuencia de estos efectos, la productividad agrícola disminuya, aumentando las presiones sobre los sistemas agrícolas. En este escenario, la riqueza de los recursos fitogenéticos de la región será clave para enfrentar la inseguridad alimentaria generada por el cambio climático a través del desarrollo de sistemas agrícolas más resilientes y adaptados al cambio climático.

El mejoramiento genético con la participación de los productores, partiendo de la amplia base genética contenida en los recursos fitogenéticos locales, acompañado de tecnologías sostenibles de producción, podría resultar en beneficios a corto, mediano y largo plazo, en:

- El desarrollo de variedades adaptadas a los ambientes locales.
- Variedades más productivas y de mayor valor nutricional.
- Mayor resiliencia de los cultivos a plagas, enfermedades, sequía e inundaciones y otros efectos generados por el cambio climático.

Integrar sistemas alimentarios sostenibles.

Estas mejoras, combinadas con el desarrollo de innovaciones para agregar valor y mercadeo más eficiente, podrían llevar a nuevas oportunidades para la diversificación económica e impactos sociales. De esta forma, los recursos fitogenéticos servirían de base para el desarrollo de sistemas alimentarios sostenibles.

REFERENCIAS

Academie D'Agriculture de France. (2013). *Mesure et **évolution** de la diversité génétique des plantes cultivées et des animaux domestiques.* http://www.academie-griculture.fr/seances/mesure-et-evolution-de-la-diversite-genetique-des-plantes-cultivees-et-des-animaux?230113#podcast.

Acuña-Zornosa, R. (2020). Congelamiento de semillas: Una alternativa para la conservación de germoplasma de café. *Memorias Seminario Científico Cenicafé,* 71(1) e71117. https://doi.org/10.38141/10795/71117

Aragón-Cuevas, F., Castro, G.F.H., Cabrera, T.J.M. y Osorio, A.L. (2011). *Bancos comunitarios de semillas para conservar In Situ la diversidad vegetal.* Publicación especial No. 9. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca, México. 79p.

Aragón, C. F. (2016). México: Bancos comunitarios de semillas en Oaxaca. In: Vernooy, R., P Shrestha, B. S.y M. Ramírez. (eds). *Bancos Comunitarios de Semillas: Orígenes, Evolución y Perspectivas Lima, Perú*. 1ª. (ed). 2016. Bioversity International. pp: 136-139.

Boshier, D. (2012). Conservación de la diversidad de especies arbóreas en cacao agroforestal en Nigeria. Estudio de caso y notas para el profesor. *In*: D. Boshier, M. Bozzano, J. Loo and P. Rudebjer (ed.). *Manual de Formación en Recursos Genéticos Forestales*. Biodiversity.

Bulege, G. W. (2015). *Biodiversidad y cambio climático. Apuntes de Ciencia y Sociedad,* 5(01): 4-5. DOI: http://dx.doi.org/10.18259/acs.2015001

Castilla-Valdés, Y., González-Vega, M. E., Espinosa-Torres, L. (2020). Conservación *in vitro* de cafeto (*Coffea arabica* L.) mediante la disminución de sales minerales en el medio de cultivo. *Cultivos Tropicales*, vol. 41, núm. 1, e04, 2020. https://www.redalyc.org/journal/1932/ 193263199004/html/

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, ONU. (2024). *Perspectivas poblacionales y cambios demográficos acelerados en el primer cuarto del siglo XXI en América Latina y el Caribe,* 97p. https://hdl.handle.net/11362/81020

Debouk, G. D. (1981). *Proyectos de Recolección de Germoplasma de Phaseolus en México.* Informe CIAT-INIA, 1978-1979, 1981.

Durán, R. y Méndez M. (eds). (2010). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán.* CICY, PNUD, PPD, FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496p. https://www.cicy.mx/sitios/biodiversidad-y- desarrollohumano-en-Yucatán.

Frankel, O. H. (1984). Genetic perspective of germplasm conservation. In: Arber, W., Llimensee, K., Peacock, W. J. y Starlinger, P. (ed). *Genetic Manipulation: Impact on Man and Society.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Flores-Hernández, L. A., Lobato-Ortiz, R., Sangerman-Jarquín, D. M., García-Zavala, J. J., Molina-Galán, J. D., Velasco-Alvarado, M., & Marín-Montes, I. (2018). Diversidad genética dentro de especies silvestres de Solanum. *Revista Chapingo*. Serie horticultura, 24(2), 85-96. https://doi.org/0.5154 r.rchsh. 2017.08.030.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *The Third Report on The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture.* FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. https://doi.org/10.4060/cd4711en

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Agricultural land use per capita FAO [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, "Land, Inputs and Sustainability: Land Use"* [original data]. Retrieved May 13, 2025 from https://ourworldindata.org/grapher/agricultural-area-per-capita

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The State of the World's Aquatic Genetic Resources for Food and Agriculture.* Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture assessments. Rome. 290p. http://www.fao.org/3/CA5256EN/CA5256 EN.pdf,

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012). *Segundo Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura.* 104 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Cómo alimentar al mundo en 2050*. https://www.fao.org/ fileadmin/ templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%C3%B3 comoalimentaralmundo_en_2050.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1996). *Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura y la Declaración de Leipzig.* 64 p.

Garay, C. C. (2022). *¿Cuál fue el origen de la agricultura?* National Geographic. https://www.nationalgeographic.es/historia/2022/01/cual-fue-el-origen-de-la-agricultura

García, M. (1979). La conservación de los recursos genéticos: algunos apuntes sobre la importancia del germoplasma cubano en Viandas Tropicales, En: CEMSA, Ministerio de la Agricultura. *Centro de Mejoramiento de Semillas Agámicas "Fructuoso Rodríguez"* Memorias 1969-1975, 282 p. Santo Domingo, Villa Clara, Cuba.

Kudovic, B.S., Rep'ev, S.I., Petrova, M.V., Buravtseva, T., Kartuzova, T. and Voluznev, T. A. (2000). The significance of Vavilov's scientific expeditions and ideas for development and use of legume genetic resources. *Plant Genetic Resources Newsletter* No, 124: pp: 23- 32. file:///C:/Users/victo/Downloads/Plant_Genetic_Resources_Newsletter_No_124.pdf

Khoury, C. K., Brush, S., Costich, E., Curry, H. A., Haan, S., et al. (2022). Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. *New Phytologist* (2022) 233: 84–118. https://doi.org/10.1111/nph.17733

Hens, L. y Quynh, L.X. (2016). *Environmental Space, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier*. Pages 1356-1363. ISBN 9780124095489. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09739-6.

López, B. O., Sandoval, G. A. y Soto, R. J. (1988). *Sistemas de Producción en Cacao (Theobroma cacao L.), en la Región del Soconusco, Chiapas*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D.F. Folleto Técnico No. 70. 169p.

López, G. L., López, B. O., Ramírez, G. S. I., Espinosa, Z. S. y Villarreal, F. J. M. (2021). Diagnostico tecnológico del proceso de producción de cacao en el municipio de Juárez, Chiapas. En: Sánchez-Gutiérrez, F., Monroy-Hernández, R., SolSánchez, A., Guevara-Hernández, F., Valdivia-Alcalá, R., Gómez-Vázquez, A., y Bautista-Gálvez, A. (Ed). *La investigación agropecuaria como aporte al uso de tecnologías sustentables.* (2021). Facultad Maya de Estudios Agropecuarios De La Universidad Autónoma de Chiapas. Catazajá, Chiapas, México. pp: 43 – 47.

López-Báez, O., Ramírez-González, S. I., Espinosa-Zaragoza, S., Villarreal-Fuentes, J. M. y Wong-Villarreal, A. (2015). Diversidad vegetal y sustentabilidad del sistema agroforestal de cacao en la región de la selva de Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(2): 56-63. ,

Linares M. E. y Boettler, R. (2015). Las especies subutilizadas de la milpa. *Revista Digital Universitaria UNAM* Vol 16(5). https://www.revista.unam.mx/ojs/index.php/rdu/article/view/545

Martín, I. (2001). *Conservación de recursos fitogenéticos*. España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación«b». Secretaría General Técnica. Hojas Divulgadoras Num. 2114 HD. https://www.mapa.gob.es/app/biblioteca/hojas-divulgadoras/lista.asp Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Martínez, I. M. (2001). *Conservación de recursos fitogenéticos*. Hojas divulgadoras, Centro de Publicaciones, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España. https://www.mapa. gob. es/app/biblioteca/hojas-divulgadoras/hojas_autor.asp?autorid= ZZ0024736&autor=Mart%EDn%20Mart%EDnez,%20Isaura

México. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA). (1996). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas SNICS.

México. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (1996). *Ley Federal de variedades vegetales*. http://snics.sagarpa.gob.mx/dov/Documents/Ley%20Federal%20de%20 Variedades %20Vegetales.pdf.

México. Fideicomiso de Riesgo Compartido. (2017). *Cacao, de la época prehispánica para el mundo.* https://www.gob.mx/firco/articulos/cacao-de-la-epoca-prehispanica-para-el-mundo ?idiom=es

México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Milpa, un regalo y tesoro mesoamericano.* https://www.gob.mx/agricultura/articulos/milpa-un-regalo-y-tesoro-mesoameri cano?idiom=es

México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020). *Quelites* https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/ quelites. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México.

Mijangos, C. O. J., Santana B. N. y Latournerie M. L. (2010). La conservación de recursos genéticos vegetales *in vitro*. In: Durán, R. y Méndez M. (eds). 2010. *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán.* CICY, PNUD, PPD, FMAM, CONABIO, SEDUMA. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap8/02%20Los%20recursos%20geneticos.pdf pp: 402- 405.

Milián, M., Sánchez, I., Beovides, Y.; Rodríguez, S.; Morales, A; García, A; Ruiz, Y. J.; Ramos, L. (2003). *Descripción de germoplasma de especies de importancia económica.* Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales, INIVIT, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. 15p.

Milián, M. (2002). *Manejo sostenible de los recursos genéticos de las raíces y tubérculos tropicales en Cuba.* Informe final Proyecto 01500028 del Programa Nacional de Mejoramiento y Recursos Fitogenéticos, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente CITMA.

Milián-Jiménez, M.; Sánchez, I.; Morales, A.; Beovides, Y.; Xiques, X.; Román, M. I.; González, C. T.; Rodríguez, S.; Espinosa, E.; Rodríguez, K.; Molina, O.; Cabrera M. y Guerra, D. (2004). *Tecnología para el manejo sostenible de los recursos fitogenéticos de especies de importancia económica en Cuba. Programa y resúmenes*. XIV Congreso Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba. p. 178. Premio Ministerio de la Agricultura y Propuesta a Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba.

Navarrete-Frías C; Umaharan P; Debouck D; García S; Fuller C; Gibson N; Jarvis A; Castañeda-Álvarez N; Nowak A. (2012). Recursos fitogenéticos: Bases para un futuro resiliente al clima y libre de hambre en el Caribe. *CIAT Políticas en Síntesis* No. 10. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 6 p.

Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convenio Sobre la diversidad biológica.* https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf

Ozer-Ami H.; R. Suárez y T. Abadie. (2004). Elaboración de una colección núcleo para la colección de germoplasma de maíz de la raza blanco dentado. *Agrociencia*. 8(1): 1-10,

Priyanka, V.; Kumar, R.; Dhaliwal, I.; Kaushik, P. (2021). Germplasm Conservation: Instrumental in Agricultural Biodiversity—A Review. *Sustainability* 2021, 13, 6743. https:// doi.org/10.3390/su13126743

Ramírez-Meneses, A., García-López, E., Obrador-Olán, J. J., Ruiz-Rosado, O., Camacho-Chiu, W. (2013). *Diversidad florística en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas, Tabasco, México*. Universidad y Ciencia 29(3): 215-230.

Roca, M. W. y Mroginski, L. A. (1993). *Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones.* Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. Publicación CIAT No. 151, 1a. Reimpresión. 970 p.

Rojo, G. E., López, M. L. X. y Baeza, J. R. (2013). *De la dieta tradicional mesoamericana a la alimentación funcional.* CIAD, Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, Gobierno de México. https://www.ciad.mx/de-la-dieta-tradicional-mesoamericana-a-la-alimentacion-funcional/.

Rojas, M. y Ardilla, J. & Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2000). *Valorización económica de recursos fitogenéticos en Mesoamérica*. https://hdl.handle.net/11324/8987.

Rodríguez-Morales, S.; García-García, M.; Milián-Jiménez, M. y **Sánchez**-Ramos, I. (1996). Establishment, maintenance and use under field conditions of Cuban germplasm of tropical root and tuber crops and banana and plantain. p. 25 - 29. *In*: Engelman, Florent (editor). *Management of field and in vitro germplasm collections. Proceedings of a Consultation Meeting*, 15-20 January 1996, CIAT, Cali, Colombia. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 162p. 1999.

Salgado-Mora, M., Ibarra-Núñez, G., Macías-Sámano, J., López-Báez, O. (2007). Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia* (Venezuela) 32(11): 763-768.

Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Portal Académico. Mesoamérica. (2025) https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/historiademexico1/unidad2/areasculturales/mesoamerica

Vera, S., González, R. y Aragón, F. (2016). Bancos comunitarios de semillas en México: Una estrategia de conservación In Situ In: *Bancos Comunitarios de Semillas: Orígenes, Evolución y Perspectivas. In*: Vernooy, R., Shrestha, P., Sthapit, B. Ramírez, M. 2016 (eds). Lima, Perú. 1ª. Ed., 2016. Biodiversity International. Pp: 248-253.

Vernooy, R., Shrestha, P., Sthapit, B. Ramírez, M. editores. (2016). Bancos Comunitarios de Semillas: Orígenes, Evolución y Perspectivas. *Bioversity International*, Lima, Perú. 1ª. ed. 300p.

Zizumbo V. D. y García C. M. P. (2008). El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológico-culturales en Mesoamérica. *Revista de Geografía Agrícola* [en línea]. 2008, (41), 85-113[fecha de Consulta 28 de Mayo de 2025]. ISSN: 0186-4394. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75711472007

Zizumbo, V., Colunga, D., García-Marín, P., May Pat F., Martínez, C. J. y Mijangos, C., J.O. (2010). Recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. In: Durán, R. y Méndez M. (eds). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PNUD, PPD, FMAM, CONABIO, SEDUMA pp: 334- 339.



CAPÍTULO IV
ASPECTOS AGRONÓMICOS Y USO POTENCIAL DE ESPECIES DEL GÉNERO *RUBUS*, CASO COLOMBIA

Brigitte Liliana Moreno Medina y Yuli Alexandra Deaquiz Oyola[1]

INTRODUCCIÓN

El género *Rubus* comprende especies como moras, zarzamoras y frambuesas, las cuales han tenido una relevancia significativa en las culturas tradicionales y en la economía de diversos países latinoamericanos. En el caso de Colombia, *Rubus glaucus* Benth. se destaca por su alto valor nutricional y funcional, así como por su potencial agroindustrial, desempeñando un papel importante en la seguridad alimentaria de comunidades rurales (Franco et al., 2020).

Esta especie ha sido domesticada a través de un proceso de selección de genotipos silvestres adaptados a condiciones específicas de altitud, suelo y clima (Roa et al., 2014). En Colombia, este proceso ha sido impulsado por la alta demanda nacional e internacional, lo que ha incentivado su establecimiento en distintas regiones del país, especialmente en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño (González-Castro et al., 2019). Además, la distribución natural del género *Rubus* en América Latina es amplia, esta diversidad ofrece oportunidades para la conservación de los recursos genéticos y el mejoramiento varietal con fines comerciales y ecológicos.

La ecofisiología de la mora cultivada en el trópico alto colombiano evidencia una notable capacidad de adaptación a condiciones variables de humedad, altitud, temperatura, radiación solar y características edáficas. Sin embargo, su productividad depende en gran medida del

1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

manejo agronómico, que abarca prácticas como la poda, fertilización, control fitosanitario (enfermedades y plagas) y el uso adecuado de sistemas de conducción (Acosta-Ruales et al., 2020). Estas estrategias están orientadas a optimizar el rendimiento y la calidad del fruto, al tiempo que contribuyen a la sostenibilidad del sistema productivo (Franco et al., 2020).

A nivel tradicional, las especies del género *Rubus* han sido utilizadas en medicina natural, gastronomía y rituales culturales por comunidades indígenas y campesinas. Paralelamente, la investigación científica ha identificado compuestos bioactivos en sus frutos y hojas, con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Díaz et al., 2022; Joshi et al., 2024, Grande-Tovar et al., 2020). Esto ha impulsado su uso en ingredientes funcionales en la industria alimentaria y farmacéutica.

Finalmente, el potencial agroindustrial de *Rubus* en Colombia está ligado a su riqueza en fitoquímicos como antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos, lo que las convierte en una especie ideal para el desarrollo de productos de alto valor agregado, como jugos, vinos, mermeladas y nutracéuticos (Foito et al., 2018). El aprovechamiento integral de este potencial requiere de una articulación entre productores, investigadores, empresas y entidades gubernamentales, orientada a fortalecer la cadena de valor de *Rubus* en el país. Este capítulo del libro busca dar una mirada desde el ámbito científico de los aspectos agronómicos y el uso potencial de especies del género *Rubus* en particular para Colombia.

HISTORIA Y ACTUALIDAD DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *RUBUS*

Aproximadamente en el año 8000 a. C, las zarzas fueron utilizadas como medicina y alimento por parte de comunidades indígenas (Connolly, 1999). Entre los años 500 y 370 a. C., Hipócrates refería el uso medicinal de cataplasmas de hojas y tallos (Littre, 1979), sólo hasta el 370 a. C., las frambuesas fueron cosechadas por los antiguos griegos (Handley y Pritts, 1989) y en la actualidad se encuentran alrededor del mundo de forma silvestre o cultivadas y se estudian por el gran valor fitoquímico que presentan en sus frutos (Hummer, 2010) . El género *Rubus*, perteneciente a la familia Rosaceae, es una planta de porte arbustivo, semirrecta y de naturaleza trepadora, con alrededor de 900 a 1500 especies distribuidas en todo el mundo, siendo comúnmente reconocidas como moras o zarzamoras (Huang et al, 2023).

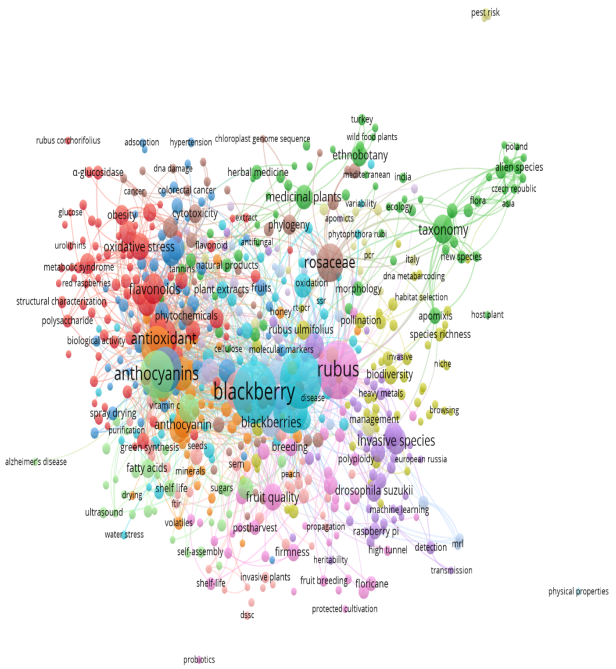
Es importante mencionar que existen especies nativas en la mayoría de las regiones templadas, también se encuentran desde las regiones subtropicales hasta las árticas, y pueden crecer desde el nivel del mar hasta los 4500 m (Hummer, 1996). Asimismo, Espinel et al., (2024) indican que se tienen registradas en Sudamérica 46 especies de *Rubus*. Según su diversidad fenotípica, se cree que *Rubus* se originó en el suroeste de China (Gu et al., 1993).

La taxonomía a nivel de especie es un desafío debido a la diversidad morfológica, la hibridación, la poliploidía y la apomixis (Sochor et al., 2022), por lo que se ha estudiado desde su morfología, fisiología, bioquímica y su interacción con el medio ambiente, reportando más de 4728 estudios de carácter científico en todo el mundo

(Clarivate, 2025). Además, dentro de los temas que más resaltan están la alta capacidad antioxidante, el contenido de polifenoles, flavonoides, la expresión genética de la especie, la taxonomía, su biodiversidad, su potencial como planta medicinal y la calidad de frutos, entre los más importantes, además de sus usos a nivel nutracéutico y fines cosméticos (Figura 1).

En Latinoamérica, y particularmente en Colombia, *Rubus glaucus* Benth. (mora de castilla) es una de las especies más cultivadas y comercializadas por su versatilidad agrícola. Es un cultivo clave para pequeños productores generando ingresos y empleo rural, tiene una gran demanda tanto para el consumo nacional como para la exportación porque puede consumirse en fresco o procesada por su valor nutricional y presenta potencial terapéutico y cosmético (Álvarez et al., 2023).

Figura 1.
Estudios de *Rubus* en América.



DOMESTICACIÓN DE *RUBUS* EN LATINOAMÉRICA

Antes de su domesticación, el uso principal del *Rubus*, especialmente la mora, era medicinal y las comunidades indígenas lo recolectaban. Existen registros del uso de la raíz, las hojas, el tallo y los frutos para tratar diversas dolencias (Verma et al., 2014). Su introducción y posterior adaptación y domesticación en América Latina se dan en los procesos de colonización europea. En Colombia, al género *Rubus* es posible encontrarla de forma silvestre y cultivada, desde el departamento del Putumayo en la región de la Amazonía, hasta el Valle del Magdalena en la zona Caribe, siendo posible de cultivar en altitudes entre los 2000 y los 3200 m.s.n.m. (Cancino-Escalante et al., 2015).

Durante el siglo XX, el cultivo de mora adquirió importancia económica como alternativa frutícola en climas templados y fríos, se constituyó como una fuente de ingresos directos e indirectos para familias rurales y forma parte de los programas de agricultura familiar y asociativa (Quevedo García et al., 2023). En América los países representativos en términos de producción son: Ecuador, Colombia, Brasil, Panamá, El Salvador, Honduras, Guatemala, México y Estados Unidos (González-Castro et al., 2019). Sin embargo, un problema es el escaso material de siembra certificado y en algunos casos, tiene baja calidad genética debido a la falta de mejoramiento actual (Sánchez-Betancourt, 2020) por lo que muchas de las investigaciones se dirigen a buscar alternativas para obtener material vegetal viable en el establecimiento del cultivo.

En los últimos años, en Colombia, *Rubus alpinus* Macfad, procedente de Boyacá, se ha extendido a Santander y Cundinamarca como cultivo comercial. En el país existen moras de diferentes tipos y sabores en varias zonas de la región andina, desde Nariño hasta la Sierra Nevada de Santa Marta, de oriente a occidente. En este sentido, Moreno-Medina et al. (2020) reportan los detalles botánicos de *Rubus alutaceus,* una especie que se encuentra en el departamento de Boyacá-Colombia, y que presenta potencial para fortalecer la cadena productiva de las *berries,* debido a la coloración blanca amarillenta de sus frutos y su considerable contenido de (SST) sólidos solubles totales (superior a 8.5° Brix), demostrando que existe una poco explorada diversidad morfológica en las especies del género *Rubus* distribuidas en Colombia y por tanto, existe gran variabilidad en términos de germoplasma silvestre con gran potencial para ser utilizado en procesos de mejoramiento genético (Zarantes et al., 2021).

DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *RUBUS* EN LATINOAMÉRICA

La producción de las frutillas, en los últimos años, ha tenido un crecimiento significativo favorecido por la demanda progresiva de frutas frescas, nutritivas y con beneficios para la salud (*Global Growth Insights*, 2014). En distintas partes del mundo, especies del género *Rubus* se han establecido como cultivo y se caracterizan por presentar enorme diversidad morfológica, frutos con propiedades fisicoquímicas interesantes para la transformación o agroindustria y algunos distintivos nutracéuticos, entre los cuales se encuentra la capacidad antioxidante de sus frutos y su efecto en el tratamiento de enfermedades cancerígenas, gastrointestinales, respiratorias, entre otros (Moreno-Medina et al., 2018).

El cuadro 1 reporta la existencia de aproximadamente 50 especies cultivadas y silvestres (Flores Mora et al., 2012; Espinel et al., 2024) del género *Rubus,* las cuales proporcionan un punto de partida claro para futuras investigaciones sobre el género, en países como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, México, Argentina, Paraguay, Brasil, Chile, Guyana, Jamaica y Costa Rica. Lo anterior, tiene un valor científico invaluable, teniendo en cuenta la diversidad morfológica de estas plantas y por ende el desafío que presenta su clasificación taxonómica.

Figura 2.
Presencia de especies de mora cultivadas y silvestres en Latinoamérica.



Cuadro 1.
Especies de *Rubus* reportadas en países Latinoamericanos.

Especie	Distribución
Rubus acanthophyllos	Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú
Rubus adenothallus	Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus adenotrichos	Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Costa Rica y México
Rubus alutaceus	Colombia
Rubus azuayensis	Ecuador y Perú
Rubus compactus	
Rubus bogotensis	Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus boliviensis	Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus bozae	Perú
Rubus chloropetalus	
Rubus briareus	Bolivia
Rubus conchyliatus	
Rubus bullatus	Perú y Bolivia

Continúa...

Rubus choachiensis	Colombia
Rubus coriaceus	Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia
Rubus erythroclados	Argentina, Paraguay y Brasil
Rubus floribundus	Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus geoides	Argentina y Chile
Rubus glabratus	Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia
Rubus glaucophyllus	Perú
Rubus glaucus Benth	Colombia, Ecuador, México
Rubus guyanensis	Venezuela, Colombia, Brasil y Guyana
Rubus imperialis	Argentina y Brasil
Rubus jamaicensis	Venezuela, Colombia, Guyana y Jamaica
Rubus killipii	Colombia y Ecuador
Rubus laegaardii	Ecuador y Perú
Rubus longistipularis	Ecuador
Rubus maquipucunensis	
Rubus loxensis	Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus mandonii	Bolivia
Rubus megalococcus	Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus mollifrons	Venezuela y Colombia
Rubus neobrasiliensis	Paraguay y Brasil
Rubus novogranatensis	Colombia
Rubus nubigenus	Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus paraguariensis	Paraguay
Rubus pendulus	Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú
Rubus peruvianus	Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia
Rubus radicans	Bolivia, Argentina y Chile.
Rubus roseus	Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.
Rubus ruizii	Perú y Bolivia
Rubus rusbyi	
Rubus organensis	Brasil
Rubus schottii	

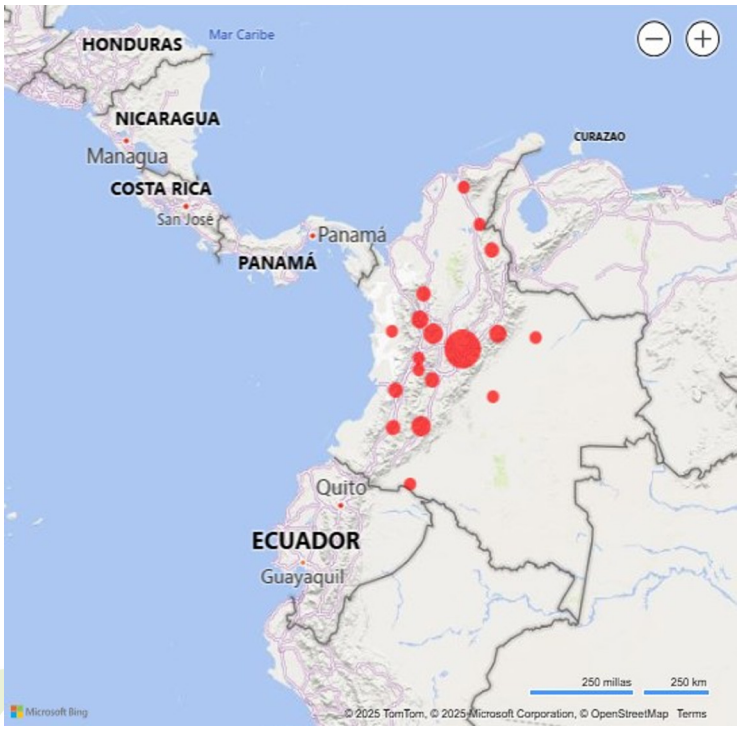
Continúa...

Rubus sellowii	Argentina, Paraguay y Brasil
Rubus urticifolius	Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Argentina, Paraguay y Brasil
Rubus pumilus Focke	México
Rubus liebmannii Focke	
Rubus coriifolius Weihe	

Fuente: Flores et al., 2012; Rodríguez-Bautista et al., 2021; Espinel et al., 2024.

PRODUCCIÓN DE MORA EN COLOMBIA

Figura 3.
Distribución de especies de mora cultivadas y silvestres en Colombia.



En el 60% del territorio colombiano (Figura 3) se encuentran cultivos del género *Rubus*, con rendimientos de 14 t ha^{-1}. En el año 2023, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Colombiano y la oficina asesora de planeación y prospectiva a través de las evaluaciones agropecuarias municipales reportaron cerca de 17.000 ha sembradas con mora, con una producción de 170.000 t aproximadamente y rendimientos de 9 t ha^{-1} en promedio. Además, se describe a Cundinamarca, Santander y Boyacá (Cuadro 2), como los departamentos que presentan mayor producción y se reconoce a la mora de castilla (*R. glaucus*) como la más cultivada por productores.

Cuadro 2.
Área sembrada, producción y rendimiento del cultivo de mora en Colombia para el año 2023.

Departamento	Área (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t. ha^{-1})
Antioquia	802,3	7.916,6	9,8
Boyacá	1.226,8	15.083,2	12,3
Caldas	896,5	14.773,3	16,4
Casanare	11,5	79	6,8
Cauca	478,0	3.544,1	7,4
Cesar	244,0	1.320	5,4
Chocó	5,0	25	5
Cundinamarca	4.349,8	45.671,8	10,5
Huila	1.694,2	11.510,9	6,8
Magdalena	4,5	40,50	9
Meta	30,5	521,50	17,1
Nariño	1.712,0	14.562,10	8,5
Norte De Santander	708,5	6.679,52	9,4
Putumayo	207,8	2.309,24	11,1
Quindío	36,5	227,00	6,2
Risaralda	152,1	1.209,42	7,9
Santander	3.315,3	36.354,00	10,9
Tolima	571,0	4.401,00	7,7
Valle Del Cauca	526,5	3.896,99	7,4

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias Municipales-EVA-Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva-MADR-2023.

ECOFISIOLOGÍA Y ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL CULTIVO DE MORA EN TRÓPICO ALTO

Zonificación y aptitud agrícola

Bajo las condiciones del trópico alto andino donde se encuentran países como Colombia, Ecuador y Perú, se puede encontrar condiciones agroclimáticas ideales para el establecimiento del cultivo de *Rubus glaucus* Benth., teniendo en cuenta que es uno de los más importantes a nivel económico y de agricultura familiar. Es por lo que en el Cuadro 3, se pueden encontrar los rangos óptimos y la aptitud agrícola para mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth).

Cuadro 3.
Zonificación y aptitud agrícola para *Rubus glaucus* Benth. en el trópico alto andino.

Factor	Rango Óptimo	Aptitud Alta	Aptitud Media	Aptitud Baja
Altitud (msnm)	2.000 - 2.800	Dentro del rango óptimo	1.800-2.000 y 2.800- 3.000	<1.800 ó >3.000
Temperatura (°C)	13 – 18	13-18	10-13 o 18-20	<10 ó >20
Precipitación anual (mm)	1.200 - 2.000	1.200-2.000	800-1.200 o 2.000-2.500	<800 ó >2.500
Suelo-Textura	Franco a franco-arenoso	Textura franco o franco-arenosa	Franco-arcillosa o arenosa	Arcillosa pesada o pedregosa
pH del suelo	5.5 - 6.5	Dentro del rango óptimo	5.0-5.5 o 6.5-7.0	<5.0 ó >7.0
Materia orgánica (%)	>3.5	>3.5	2.5–3.5	<2.5
Pendiente (%)	5 – 15	5-15	15-30	>30
Drenaje del suelo	Bien drenado	Bien drenado	Moderadamente drenado	Mal drenado o encharcable
Exposición solar	Plena luz	Exposición directa >6 h/día	Sombra parcial (4–6 h/día)	Sombra densa (<4 h/día)
Riesgo de heladas	Bajo o nulo	Inexistente o esporádico	Moderado	Frecuente

Fuente: Franco et al., 2020; Jinés y Eitzinger, 2021.

Se puede indicar que las condiciones ideales a nivel del trópico alto para el establecimiento del cultivo de mora de castilla están entre los 2000 y 2800 m.s.n.m., la temperatura óptima debe oscilar entre 13 y 18 ° C, buena cantidad de lluvia (alrededor de 1200 a 2000 mm anuales) y suelos con buena estructura y drenaje (textura franco-arenosa y pH entre 5.5 y 6.5) (Franco et al., 2020; Jinés y Eitzinger, 2021).

Para Colombia, las condiciones agroclimáticas en términos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, altitud (entre los 1600 y 2600 m.s.n.m.), suelo y drenaje influyen en el rendimiento del cultivo. Además, las prácticas de manejo también afectan significativamente la productividad, incluso bajo las mismas condiciones ambientales (SIOC, 2021). El cultivo de mora, especialmente de la especie *Rubus glaucus*, representa una importante fuente de ingresos para la agricultura familiar y ha mostrado un crecimiento significativo en las últimas décadas, tanto en producción como en potencial de exportación (Galindo, 2019). En 2023 se reportaron más de 16,972 hectáreas dedicadas a su producción, generando empleo para miles de familias (Agronet, 2025).

Sin embargo, persisten retos como:

- Enfermedades fúngicas
- Pérdidas poscosecha por mala manipulación
- Falta de estandarización en los procesos de agroindustria y de extracción de compuestos bioactivos.

La tecnificación y la asociatividad han surgido como elementos diferenciadores claves para la competitividad, aunque muchos productores aún emplean técnicas tradicionales, manteniendo la rentabilidad gracias a bajos costos y uso de mano de obra familiar, por lo que es importante comenzar a tecnificar el sistema productivo (Galindo, 2019). Para abordar estos retos, se han implementado programas de investigación enfocados en el mejoramiento genético de cultivares, el desarrollo de técnicas de cultivo agroecológicas y la validación científica de las propiedades terapéuticas de la mora (Sánchez-Betancourt et al., 2020).

MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE MORA

Propagación

Según Miranda Barrios et al. (2022) y Vásquez (2019), la propagación de las plantas de mora se puede realizar por métodos sexuales o asexuales, sin embargo, los más utilizados por los productores son los asexuales, teniendo en cuenta aspectos de manejo y eficiencia para la obtención de material vegetal de buena calidad. En este sentido, se vienen generando experiencias de propagación a través del uso de esquejes y estacas de raíz, siendo este último más eficiente (Miranda Barrios et al., 2022). Por su parte Vásquez et al. (2019) describen que el uso de semillas con la aplicación de diferentes labores de escarificación química tiene efecto positivo en la germinación (80%) de algunos cultivares de mora.

Tutorado y poda de plantas de mora

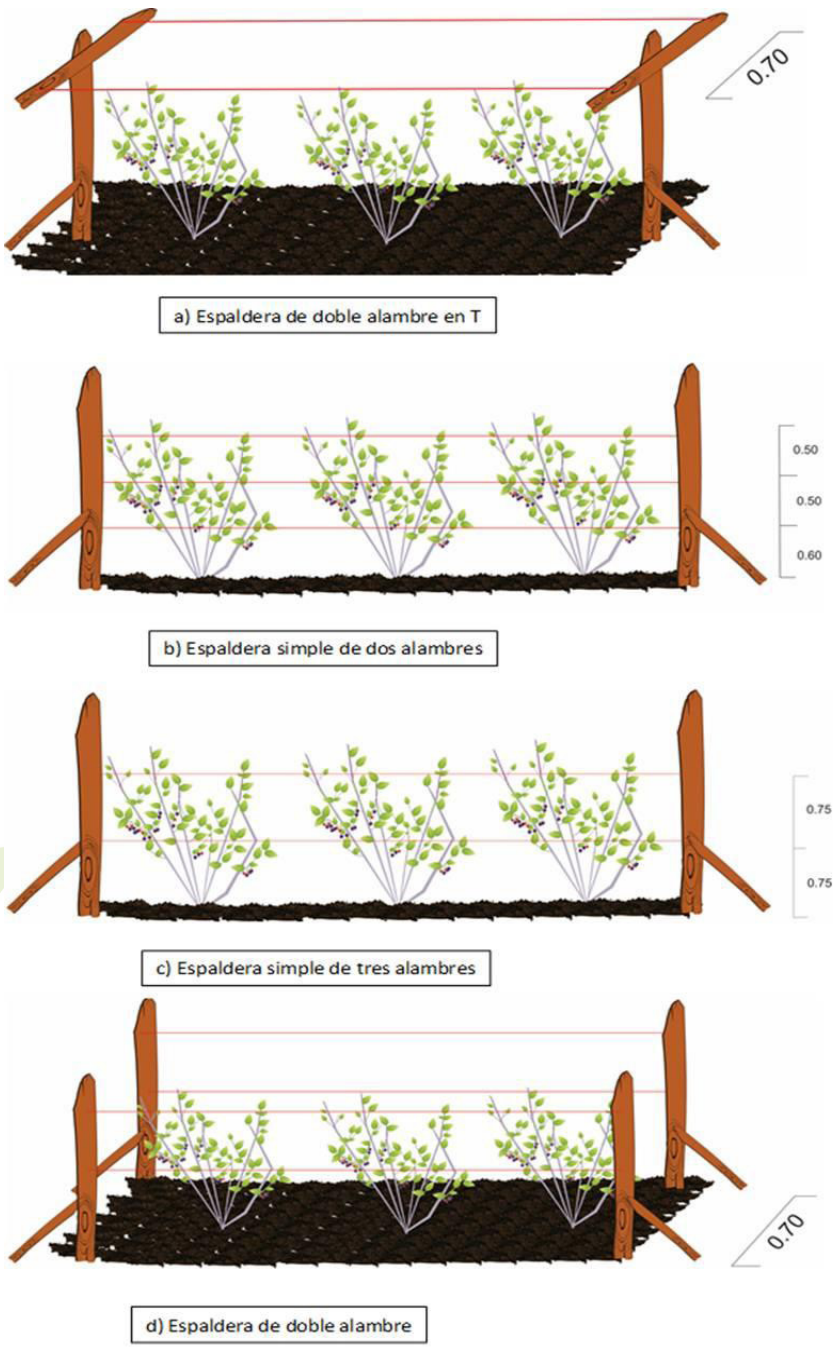
El tutorado o estructura artificial de apoyo en el cultivo de mora (*Rubus* sp), facilita labores como la poda, fertilización, riego, cosecha, manejo de plagas y enfermedades, aunado a esto los soportes (Figura 4) crean el espacio para el ingreso de luz y aireación y con ello se puede generar efecto sobre el rendimiento en términos de sólidos solubles totales (°Brix), volumen y peso de la fruta (Quevedo, 2015).

En la Figura 4 se describen los sistemas de tutorado más usados para el cultivo de mora (*R. alpinus)*:

- Espaldera de doble alambre en T
- Espaldera simple de dos alambres
- Espaldera simple de tres alambres
- Espaldera de doble alambre

En el caso de la poda, Moreno-Medina et al. (2016) mencionan que la longitud, el número de hojas y las estructuras florales, se ven afectadas de manera positiva por las labores de poda. Sin embargo, esta actividad agronómica no tiene efecto significativo sobre el adelanto de la floración y por esta razón en especies del género *Rubus* es adecuado recomendar las actividades de poda acompañadas de adecuada nutrición, lo cual permitirá expresar el potencial agronómico en diferentes zonas edafoclimáticas.

Figura 4.
Sistemas de tutorado más frecuentes para el cultivo de mora *(R. alpinus).*



Principales problemas fitosanitarios en el cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth)

La propagación in vitro y el manejo adecuado de la nutrición mineral son herramientas prometedoras para mejorar la calidad y tolerancia a enfermedades (Bautista-Montealegre et al., 2022). Estos esfuerzos integrados buscan fortalecer la cadena productiva de la mora en Colombia, mejorar la calidad del producto final y ampliar su presencia en mercados tanto nacionales como internacionales.

Las enfermedades y plagas relacionadas en el cuadro 4 con sus respectivos agentes causales limitan los rendimientos del cultivo de mora en las zonas productoras de Colombia (Leiva et al., 2011). No obstante, de forma permanente se adelantan estrategias que involucran el manejo integral de estas condiciones fitosanitarias, atendiendo la implementación de buenas prácticas agrícolas con el fin de reducir la aplicación de pesticidas sintéticos (Acosta-Ruales et al., 2020).

Cuadro 4.
Plagas y enfermedades del cultivo de mora *(Rubus glaucus)*

ENFERMEDADES	Agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*)	PLAGAS	Babosas (*Milax gagates* Draparnaud)
	Antracnosis o tuna negra (*Colletotrichum gloesporioides*)		Burrita de la virgen (*Compsus* sp)
	Roya (*Gerwasia lagerheimii*)		Perla de tierra (*Eurhizococcus colombianus*)
	Marchitez y pudrición de las raíces (*Verticillium* sp., *Fusarium* sp. y *Rosellinia* sp.)		Barrenador del cuello de la planta (*Zascelis* sp.)
	Mildeo velloso (*Peronospora sparsa* Berk)		Mosca de la fruta (*Anastrepha* sp.)
	Mildeo polvoso (*Oidium* sp)		
	Pudrición del fruto o moho gris (*Botritys cinerea*)		Pasador de tallos y rama (*Hepialus* sp)

Fuente: Leiva et al., 2011.

USOS TRADICIONALES Y CIENTÍFICOS DEL GÉNERO *RUBUS*

Usos alimentarios y nutricionales

La mora es valorada por su sabor, contenido en azúcares naturales, y propiedades antioxidantes derivadas de su alto contenido en antocianinas, flavonoides y vitamina C (Álvarez et al., 2023). El fruto se consume en fresco o procesado agroindustrialmente en productos como mermeladas, jugos, vinos y postres. Díaz et al. (2022) han destacado la capacidad antioxidante del fruto, superando a otras bayas tropicales. En Colombia, se han impulsado proyectos en cuanto a la integración en el mercado en fresco, con un modelo campesino que tiene en cuenta el manejo del medio ambiente. Aproximadamente el 55% de la mora producida en Colombia se consume fresca, mientras que el 10% se destina a la agroindustria (Álvarez et al., 2023).

Usos terapéuticos

El uso medicinal de las plantas del género *Rubus*, como la mora (*Rubus glaucus* Benth.), tiene una larga tradición en comunidades indígenas y rurales de América Latina. En Colombia, por ejemplo, las hojas y raíces de esta planta se han utilizado en infusiones para aliviar afecciones respiratorias, trastornos gastrointestinales, fiebre y dolor de garganta, entre otros malestares.

Más allá de su uso tradicional, investigaciones recientes han comenzado a validar científicamente sus propiedades terapéuticas. Por ejemplo, un estudio realizado en especies silvestres de mora andina identificó una marcada actividad antimicrobiana frente a bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, lo que se atribuye a su riqueza en compuestos fenólicos (Lapiz-Culqui et al., 2024). En otro estudio, Joshi et al. (2024) revisaron el potencial antidiabético de varias especies del género *Rubus*, destacando la acción de flavonoides y otros metabolitos secundarios que favorecen el control de la glucemia y mejoran la respuesta a la insulina. Por lo que, las antocianinas de las bayas de la especie *Rubus* poseen potentes actividades biológicas que podrían aprovecharse para obtener beneficios para la salud en aplicaciones farmacéuticas y nutracéuticas (Barba-Ostria et al., 2024).

Usos cosméticos

Las propiedades antioxidantes y regeneradoras de *Rubus glaucus* Benth. han despertado un creciente interés en la industria cosmética, especialmente por su potencial en el desarrollo de productos naturales y funcionales, en particular por su riqueza en compuestos bioactivos como ácidos grasos insaturados, tocoferoles y esteroles, que contribuyen a la salud cutánea (Grande-Tovar et al., 2020).

Además, estudios han demostrado que los extractos de mora tienen alta capacidad antioxidante y pueden reducir el daño celular inducido por la radiación ultravioleta en queratinocitos humanos, gracias a su capacidad para inhibir la producción de radicales libres y la inflamación (Heinrich et al., 2011). Este efecto fotoprotector natural permite que la mora se convierta en un ingrediente estratégico en productos cosmecéuticos, particularmente aquellos orientados a mercados que valoran ingredientes botánicos latinoamericanos.

POTENCIAL AGROINDUSTRIAL Y FITOQUÍMICOS EN CULTIVARES COLOMBIANOS DEL GÉNERO *RUBUS*

La composición química y nutricional de las frutas depende de la madurez, el tipo de suelo, la temporada, las variantes en los genotipos y las observaciones poscosecha. El sabor, el color y el aroma del fruto dependen de la concentración de compuestos fenólicos como flavonas, isoflavonoles, lignanos, taninos, antocianinas, catequinas y flavonoles (Foito et al., 2018). Así mismo, más del 70% del peso del fruto es agua y es rico en nutrientes y antioxidantes (Memete et al., 2023).

Las especies de *Rubus* presentan alto potencial agroindustrial debido a las cualidades fisicoquímicas y fitoquímicas de sus frutos como SST (superior a 8 °Brix),

colores (rojo, púrpura, amarillo-blanquecino), contenido de agua, entre otros. En Colombia, la cadena de valor de la mora ha permitido la organización de productores y el desarrollo de agroindustrias que procesan la fruta para el mercado nacional, aunque los mayores beneficios económicos se concentran en la etapa de transformación industrial, mientras que los beneficios sociales se observan principalmente en la producción agrícola (Jinés y Eitzinger, 2021). Además, se debe tener en cuenta que la mora es altamente perecedera, lo que incrementa la transformación y el uso industrial en la elaboración de productos de confitería y licores. Por otra parte, los residuos del procesamiento y cosecha, como las semillas, tallos y hojas (entre 120 y 150 mg GA g^{-1} PS) contienen compuestos bioactivos con alta capacidad antioxidante, lo que abre oportunidades para su aprovechamiento en la industria alimentaria y nutracéutica (Foito et al., 2018; Moreno- Medina et al., 2024).

Las moras presentan gran variedad de metabolitos secundarios en frutos, flores, tallos, hojas y raíces; para los cuales, se describen usos medicinales, y una posible acción en la vía de los profármacos (Seeram, 2008: Moreno-Medina et al., 2018). En este sentido, Toshima et al., (2021) reportan antocianinas, pinocembrina, luteolina, florizina (Wu et al., 2021), ácidos fenólicos como el ácido hidroxicinamico, vanilico y clorogenico, catequinas, taninos condensados y trans-resveratrol (Moraes et al., 2020; Zorzi et al., 2020; Schulz et al., 2019; Amidži´c Klari´c et al., 2020), los cuales tienen efecto a nivel molecular y celular si se incluyen frutos en la dieta humana.

Cuadro 5.
Presencia de antocianinas en frutos de cultivares colombianos de mora.

Cultivar	**Antocianinas (mg. g^{1})** Método pH diferencial	Antocianinas Análisis UHPLC				
		Quercetina-3-glucósido	Cianidina	Cianidina -3-Rutinosido	Pelargonidina	Kaempferol-3- glucosido
R. glaucus	264,39 ±4.82a	8,3±0,454b	0,9±0,1[a]	302±3[a]	1,6±0,05b	0,5±0,02b
R. alpinus	257,16 ±7.65a	13,2±0,2a	0,5±0,06b	22,7±2,35b	46,8±0,15a	0,5±0,03b
R. alutaceus	ND	0,5±0,06c	0,5±0,03b	0,5±0,26c	0,50±0,03c	5,8±0,1a

Fuente: Moreno-Medina et al., 2023.
ND: No detectado. mg g^{-1}: mg de ciaidina-3-O-glicosido equivalente en 100 g de materia seca. Letras diferentes muestran diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis (P< 0.05) ± indica desviación estándar.

El cuadro 5 presenta el contenido de antocianinas obtenido a través del método de pH diferencial en tres cultivares de mora establecidos en el departamento de Boyacá. Además, presenta los cinco tipos de antocianinas detectadas a través del análisis de UHPLC (cromatografía líquida de ultra alta resolución) en frutos de mora. Es importante resaltar que la mora que presenta coloración blanca amarillenta en los frutos (*Rubus alutaceus*), presenta el menor contenido de antocianinas. No obstante, el único cultivar que reporta Kaempferol-3-glucosido es *R. alutaceus* y éste

se puede considerar como un marcador de orden quimiotaxonómico para la especie (Moreno-Medina, 2023).

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista socioeconómico, el cultivo de mora representa una fuente relevante de ingresos para pequeños productores, aunque enfrenta restricciones estructurales como el limitado acceso a tecnologías, mercados y asistencia técnica. Con relación a la productividad y calidad de los frutos, se encuentra suficientemente documentado que, dependen del manejo agronómico y las condiciones edafoclimáticas de las zonas donde se encuentran los cultivos. Además, se puede inferir que la diversidad morfológica de *Rubus* se encuentra estrechamente relacionada con la riqueza fitoquímica de los frutos y hojas y con ello desarrollar productos funcionales y nutracéuticos. Finalmente, las especies de este género cultivadas en Colombia presentan un potencial agroindustrial, ambiental y social.

REFERENCIAS

Agronet (2025, 1 mayo). R*eporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo, mora*. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1

Amidžić Klarić, D., Klarić, I., Mornar, A., Velić, N. & Velić D. (2020) Assessment of bioactive phenolic compounds and antioxidant activity of blackberry wines. *Foods, 9(11), 1623*. https://doi: 10.3390/foods9111623

Acosta-Ruales, M., Viera, W. F., Jackson, T., y Vásquez-Castillo, W. (2020). Alternativas tecnológicas para el control de Botrytis sp. en mora de castilla (*Rubus glaucus*). *Enfoque UTE*, *11*(2), 11-20. https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.521

Álvarez, G.E., Arias, S.M., & Colorado, G.A. (2023). Vitamin C content, anthocyanins and antioxidant capacity of fruits of *Rubus glaucus* Benth. (mora de Castilla) with and without prickles grown in Risaralda, Colombia. *Revista Brasileira de Fruticultura. v.45, e-509*. https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452023509

Barba-Ostria, C., Carrera-Pacheco, S. E., González-Pastor, R., Zúñiga-Miranda, J., Mayorga-Ramos, A., Tejera, E., & Guamán, L. P. (2024). Exploring the Multifaceted Biological Activities of Anthocyanins Isolated from Two Andean Berries. *Foods,* 13(16), 2625. https://doi.org/10.3390/foods13162625

Bautista-Montealegre, L. G., DEantonio-Florido, L. Y., Cardona, W. A., Bolaños-Benavides, M. M., & Fischer, G. (2022). Mineral nutrition and tolerance to Colletotrichum spp. of Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) in nursery. *Agronomía Mesoamericana*, *33*(3), 48655. https://doi.org/10.15517/am.v33i3.48655

Cancino-Escalante G.O., Quevedo-García, E., Villamizar, C.E. y Díaz-Carvajal, C. (2015). Propagación *in vitro* de materiales seleccionados de *Rubus glaucus* Benth (mora de Castilla) en la provincia de Pamplona, región nororiental de Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología* 17(2):7-15. doi:10.15446/rev.colomb.biote.v17n2.54262

Connolly, TJ. (1999). Cráter Newberry: Un registro de diez mil años de ocupación humana y cambio ambiental en las zonas fronterizas entre la cuenca y la meseta. *Documentos antropológicos,* núm. 121, Universidad de Utah, Salt Lake City, UT.

Clarivate (2025). *Resultados de búsqueda sobre el género Rubus en Science Citation Index Expanded (Web of Science)*. https://www.webofscience.com

Díaz, A., Ochoa Martínez, C., Vélez Pasos, C., Ayala Aponte, A., Fernández Quintero, A., Delgado Solarte, D., Plaza Cortés, C., Terán Llorente, D., González Torres, V., González Hoyos, L., Benítez Franco, J., Vargas Serna, C., Escobar Espinal, P., Castellanos Espinosa, D., Moncayo Martínez, D., Barón Cangrejo, O., Posada Rubiano, N., Rada Bula, A., Cortés Jaimes, L. & Lopera Sepúlveda, A. (2022). *Procesos agroindustriales en mora de Castilla.* Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/82855

Espinel, D.A, Romoleroux, K., Böhnert, T. & Weigend, M. (2024). Annotated checklist of *Rubus* L. (Rosaceae) from South America. *PhytoKeys,* 247: 75-110. https://doi.org/10.3897/phytokeys.247.127527

Foito, A., McDougall, G. J., & Stewart, D. (2018). Evidence for Health Benefits of Berries. En *Annual Plant Reviews online* (pp. 105-148). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0600

Flores, D., Chacón Cerdas, R., Jiménez Bonilla, V., y Ortiz Sancho, F. (2012). Enraizamiento de mora (*Rubus adenotrichus*) en medio líquido en el sistema de inmersión temporal y su aclimatación en invernadero. *Tecnología en marcha*, 25(2), 3-9. https://doi.org/10.18845/tm.v25i2.300

Franco, G., Bernal Estrada, J. A., Díaz Díez, C. A., Tamayo Vélez, Á., Tamayo Molano, P. J., Orrego, C. E., y Cotes Prada, A. M. (2020). *Tecnología para el cultivo de la mora* (*Rubus glaucus* Benth.). Corporación colombiana de investigación agropecuaria–AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403251

Galindo, M. C. (2019). *Elementos de competitividad de los productores de mora de Castilla en la Inspección de La Victoria municipio de El Colegio, Cundinamarca* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.47036

García, A. S., Flores Rodríguez, L. A., García Nima, E. J., y Sánchez Pacheco, L. (2023). Sustentabilidad del cultivo de vid en la agricultura familiar peruana, *Revista Venezolana De Gerencia*, 28 (No. Especial 9), 700-717. https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.e9.43

González-Castro, Y., Manzano-Durán, O. y García-Hoya, O. (2019). Puntos críticos de la cadena productiva de la mora (*Rubus glaucus* Benth), en el municipio de Pamplona, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, *10* (1), 9-22. https://doi.org/10.19053/20278306.v10.n1.2019.10008

Global Growth Insights. (2024). Principales empresas de frambuesas y moras en 2024. https://www.globalgrowthinsights.com/es/blog/raspberries-and-blackberries-companies-265

Grande-Tovar, C., Aranaga-Arias, C., Flórez-López, E. y Araujo-Pabón, L. (2020). Determinación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de residuos de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Informador Técnico,* 85(1), 64-82. https://doi.org/10.23850/22565035.2932

Gu, Y., Zhao, C. M., Jin, W., & Li, W. L. (1993). Evaluation of *Rubus* germplasm resources in China. In VI International Symposium on Rubus and Ribes, 352 (pp. 317-324).

Heinrich, U., Moore, C. E., De Spirt, S., Tronnier, H., & Stahl, W. (2011). Anthocyanin-rich fractions of blackberry extracts reduce UV-induced free radicals and oxidative damage in keratinocytes. *Phytotherapy Research*, 25(6), 820–824. https://doi.org/10.1002/ptr.3510

Huang T, Chen J, Hummer KE, Alice LA, Wang W, He Y, Yu S, Yang M, Chai T, Zhu X, Ma L, Wang H. (2023). Filogenia de *Rubus* (Rosaceae): integración de evidencia molecular y morfológica en una revisión infragenérica. *Taxón* 72 (2): 278–306. https://doi.org/10.1002/tax.12885

Handley D. y Pritts M. (1989). Guía de producción de zarzas, Servicio Regional de Ingeniería Agrícola del Noreste, NRAES-35, Ithaca, NY.

Hummer, Kim E. (1996). Diversidad de Rubus. *HortScience* 31 (2), 182–183 10.21273/HORTSCI.31.2.182.

Hummer, KE. (2010). Farmacología del Rubus: Desde la Antigüedad hasta la actualidad. *HortScience horts*, *45* (11), 1587-1591 https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.11.1587

Jinés León, A. y Eitzinger, A. (2021). *Identificación de las zonas de ladera aptas para el cultivo de mora en el territorio del Valle del Cauca*. —Bogotá (Colombia): Editorial Universidad Nacional de Colombia; Palmira. (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. Proyecto Incremento de la Competitividad Sostenible. 72 p. ISBN: 978-958-794-582-9.

Joshi, A., Kumar, V., Naik, B., Shikha, D., Rustagi, S. & Gupta, A. (2024). Anti-diabetic potential of *Rubus* species: linking conventional knowledge with scientific developments: a review. *Food Production, Processing and Nutrition,* 6, 87. https://doi.org/10.1186/s43014-024-00263-3

Lapiz-Culqui, Y. K., Meléndez-Mori, J. B., Tejada-Alvarado, J. J. (2024). Study of the physicochemical characteristics, antimicrobial activity, and in vitro multiplication of wild blackberry species from the Peruvian highlands. *Scientific Reports*, 14, 3863. https://doi.org/10.1038/s41598-024-54058-0

Leiva, L. C., Arévalo Peñaranda, E., Díaz Jiménez, A. L., Galindo Álvarez, J. R., y Rivero Cruz, M. R. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (Rubus glaucus benth): Medidas para la temporada invernal*. Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia. http://hdl.handle.net/20.500.12324/2279

Littre, E. (1979). Oeuvres complètes d'Hippocrate *Traduction Nouvelle avec le texte Grec en respect* Adolf M. HakkertAmsterdam, Países Bajos *10*777.

Memete, A. R., Sărac, I., Teusdea, A. C., Budău, R., Bei, M., & Vicas, S. I. (2023). Bioactive compounds and antioxidant capacity of several blackberry (Rubus spp.) fruits cultivars grown in Romania. *Horticulturae*, *9*(5), 556. https://doi.org/10.3390/horticulturae9050556

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). *Evaluaciones agropecuarias municipales–EVA*. Oficina Asesora de Planeación y Prospectiva. https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/about_data

Miranda Barrios, E. A., Cervantes Vilca, L., & Meza Huamani, O. (2022). Efecto de dos enraizantes naturales y uno sintético en la propagación de zarzamora (Rubus robustus C. Presl). Aporte Santiaguino, 15(1), Pág. 72–86. https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.894

Moraes, D. P., Lozano-Sánchez, J., Machado, M. L., Vizzotto, M., Lazzaretti, M., Leyva-Jimenez, F. J. J., Silveira, T. L. da, Ries, E. F., & Barcia, M. T. (2020). Characterization of a new blackberry cultivar BRS Xingu: Chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Food Chemistry*, *322*, 126783. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126783

Moreno-Medina, B. L., Casierra-Posada, F., y Blanke, Michael. (2016). Índices de crecimiento en plantas de mora (*Rubus alpinus* Macfad) bajo diferentes sistemas de poda. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *10* (1), 28-39. https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4457

Moreno-Medina, B. L., Casierra-Posada, F., & Cutler, J. (2018). Phytochemical Composition and Potential Use of *Rubus* Species. *Gesunde Pflanzen, 70(2), 65–74.* doi:10.1007/s10343-018-0416-1

Moreno Medina, B, Casierra-Posada, F & Albesiano, S. (2020). *Rubus alutaceus* (Rosaceae), a new species for Colombia with agronomic potential. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 42. 10.1590/0100-29452020542.

Moreno-Medina, B.L., Casierra-Posada, F. & Medina-Vargas, O.J. (2023). Phenolic Profile and Antioxidant Capacity of Blackberry Fruits (*Rubus* spp) Grown in Colombia. *Erwerbs-Obstbau* 65, 1047–1056. https://doi.org/10.1007/s10341-022-00793-5

Moreno-Medina, B. L., Casierra-Posada, F., & García-Parra, M. Á. (2024). Chlorophyll a fluorescence and phytochemical response in blackberry species (*Rubus* sp) cultivated in the high tropics. *Journal of Berry Research*, *14*(2), 73-87. https://doi.org/10.3233/JBR-230043

Quevedo García, E., Sánchez García, O., y Veloza Sandoval, C. E. (2015). Efecto del tutorado y distancias de siembra sobre el rendimiento de *Physalis peruviana* L. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *18* (1), 91–99. https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.457

Roa, Sara, Fernández, Hilda, Castro, Luís, y Useche, Nora. (2014). Diversidad genética de especies de Rubus determinada mediante RAPD. *Agronomía Tropical*, *64*(3-4), 227-235. Recuperado el 1 de junio de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2014000200009&lng=es&tlng=es.

Sánchez-Betancourt, E., García-Muñoz, M. C., Argüelles-Cárdenas, J., Franco-Flórez, V., & Núñez-Zarantes, V. (2020). Fruit quality attributes of ten Colombian blackberry (Ftubus glaucus Benth.) genotypes. *Agronomía Colombiana*, *38*(1), 9-18. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v38n1.80559

Seeram NP. (2008). Berry fruits for cancer prevention: current status and future prospects. J. Agr. Food Chem 56:630–635.

Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas SIOC. (2021). *Cadena productiva de la mora*. https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Sochor M, Hroneš M, Manning JC. (2022). Guía del género *Rubus* L. (Rosaceae) en Sudáfrica: desenredar un nudo gordiano taxonómico con la ayuda de datos de ploidía y reproducción. *Revista Sudafricana de Botánica* 147: 511–567. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.01.044

Schulz M, Freitas J. (2019) Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries, *Food Biosci* 31:100438. https//doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438

Toshima S, Hirano T, Kunitake H. (2021). Comparison of anthocyanins, polyphenols, and antioxidant capacities among raspberry, blackberry, and Japanese wild *Rubus* species. *Sci Hortic* 285: 110204. https//doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110204

Vásquez, W, Pupiales, P, Viteri, P, Sotomayor, A, Feican, C, Campaña, D, y Viera-Arroyo, William. (2019). Escarificación química y aplicación de ácido giberelico para la germinación de semillas de cultivares de mora (*Rubus glaucus* Benth). *Interciencia*. 44. 159-164. https://www.redalyc.org/journal/339/33958848009/html/

Verma, R., Gangrade, T., Punasiya, R. & Ghulaxe, C. (2014). *Rubus fruticosus* (blackberry) use as an herbal medicine. *Pharmacognosy reviews*, *8*(16), 101.

Wu, Y., Zhang, C., Huang, Z., Lyu, L., Li, J., Li, W. & Wu, W. (2021). The color difference of *Rubus* fruits is closely related to the composition of flavonoids including anthocyanins, *LWT*, 149: 111825. https//doi:10.1016/j.lwt.2021111825

Zarantes, V. M. N., Cubillos, F. G. M., Arias, F. L. G, Sánchez-Betancourt, E. (2021). Perspectivas del mejoramiento genético de mora en Rubus spp en Colombia. *Temas Agrarios*, *26*.

Zorzi, M., Gai, F., Medana, C., Aigotti, R., Morello, S., Peiretti, P.G. (2020). Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Small Berries. *Foods,* 9:2304-8158. https//doi:10.3390/foods9050623

CAPÍTULO V

CARBONO AZUL EN SEDIMENTOS DE ECOSISTEMAS PRODUCTIVOS DE MANGLAR EN GUATEMALA[1]

Pedro Julio García Chacón, Irene Franco Arenales, Jorge Antonio Morales y Daniel Paiz González

INTRODUCCIÓN

Las zonas marino-costeras son estratégicas para la biodiversidad ya que proporciona una serie de servicios ecosistémicos de los que dependen las comunidades costeras para su sobrevivencia, entre estos servicios están la provisión de alimentos, refugio para la vida silvestre, zonas de cría para especies comerciales, reciclaje de nutrientes, protección contra tormentas, entre otros. Los ecosistemas marino-costeros son de los más amenazados a nivel mundial, algunos autores han estimado que se pierden entre 340,000 y 980,000 ha cada año (Sifleet et al., 2011). En general se considera una pérdida de hasta del 67% de la distribución histórica mundial de los manglares (Pendleton et al., 2012).

Según Gálvez (2011), los manglares en Guatemala son refugio para fauna íctica que constituye sustento para la seguridad alimentaria de alta calidad proteica ya que los peces y otros organismos asociados a los manglares en parte o todo su ciclo, contienen altos contenidos de ácidos grasos poliinsaturados. De acuerdo con Arceo (2016), los manglares son ecosistemas que revisten importancia por proveer servicios ambientales para la reproducción de especies de peces y otros que constituyen sustento para las familias que dependen de estas especies.

1 Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad de San Carlos de Guatemala

En tal sentido conservar el ecosistema manglar valorando sus servicios ambientales es vital, principalmente en lo relativo a la seguridad alimentaria y nutricional que proveen, así como otros servicios vitales como lo es la captura de carbono. El concepto de carbono azul se refiere al carbono acumulado en el suelo, la biomasa aérea viviente (hojas, ramas y tallos), la biomasa subterránea viviente (raíces) y la biomasa no viviente (hojarasca y madera seca) de manglares, marismas y pastos marinos (McLeod et al., 2011). Se ha estimado que el carbono azul queda secuestrado en la biomasa vegetal viviente por periodos relativamente cortos, por años, hasta décadas, sin embargo, en los suelos queda atrapado por periodos muy largo, hasta miles de años, lo que da lugar a grandes sumideros de carbono (Duarte et al., 2005; Lo Iacono et al., 2008).

El carbono C, secuestrado especialmente por lo manglares y otros ecosistemas costeros, es mucho mayor que en los ecosistemas terrestres, en parte debido a su eficiencia en la captura de materia suspendida y compuestos orgánicos asociados, los cuales se producen durante la descomposición, por lo tanto, es un argumento suficiente para su conservación, protección y restauración, pero se hace necesario generar conocimiento para comprender los mecanismos subyacentes del secuestro de C en estos ambientes (McLeod et al., 2011).

Para Guatemala una de las áreas más emblemáticas de este ecosistema es el humedal Las Lisas-La Barrona, que ha sido propuesta como área de conservación con categoría de usos múltiples, a través del Proyecto de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y está ubicada en los municipios de Chiquimulilla, departamento de Santa Rosa y Pasaco, del Departamento de Jutiapa (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018). El proyecto de investigación fue desarrollado en el área denominada Las Lisas-La Barrona, ubicada en el Pacífico sur oriental de Guatemala y los resultados generados contribuyen al conocimiento de las reservas de carbono azul almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar para lo cual se establecieron sitios de muestreo, de acuerdo con criterios relacionados principalmente con la dominancia de especies de manglar. La finalidad de este proyecto de investigación fue generar información que se traduzca en un aporte a las estrategias de protección, conservación y restauración de este importante ecosistema.

ESTADO DEL ARTE

En Guatemala, los manglares se ubican en las costas del Caribe, el Pacífico y en el Departamento de Petén (zona interna del continente). Estos bosques se caracterizan por crecer en áreas inundadas por las aguas que aportan los océanos y ríos. Se contabilizan aproximadamente 25,089 hectáreas (ha), 90.73% de las cuales se encuentran frente al Océano Pacífico, distribuidas en los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa; en el Atlántico el único departamento con cobertura de manglar es Izabal, con 2,324 ha que representan el 9.26% restante (Zacarías, 2019).

En el país, el bosque de manglar está compuesto por seis especies: *Avicennia bicolor* Standl, *Avicennia germinans* (L.) L., *Conocarpus erectus* L., *Laguncularia racemosa* (L.) CFGaertn., *Rhizophora mangle* L., *Rhizophora* racemosa G. Mey (Zacarías, 2019). La principal es el mangle rojo *Rhizophora mangle* L., mientras que el mangle blanco *Laguncularia racemosa* L. Gaertn.f. es el segundo más común. Siguen los manglares negros *Avicennia germinans* L. y botoncillo *Conocarpus erectus* L. que ocupan áreas menores (INAB & PNUD, 2018).

Los manglares en Guatemala constituyen un ecosistema vital para la seguridad alimentaria ya que según Gálvez (2011), los manglares en Guatemala son refugio para fauna íctica que constituye sustento para la seguridad alimentaria de alta calidad proteica, ya que los peces y otros organismos asociados a los manglares en parte o todo su ciclo, contienen altos contenidos de ácidos grasos poliinsaturados. El autor encontró que existen 14 familias y 22 especies de peces, siendo la familia Cichlidae la que presentó mayor número de especies representantes, estableciendo que la mojarra *Vieja maculicauda* es la especie con mayor abundancia relativa dentro de la zona de influencia del manglar, demostrando que este es un recurso de importancia como hábitat de especies ícticas que a su vez constituyen sustento para las familias y fuente de ingresos para suplir necesidades. Otras especies importantes fueron *Eugerres plumieri*, *Ictalurus furcatus* y *Caranx latus*.

De acuerdo con Arceo (2016), los manglares son ecosistemas que revisten importancia por proveer servicios ambientales para la reproducción de especies de peces y otros que constituyen sustento para las familias que dependen de estas especies. Gracias a los servicios ecosistémicos de refugio y alimento disponibles, así como la protección contra la depredación, los manglares se constituyen en hábitats que son ideales para la reproducción y crecimiento de muchas especies de fauna que son vitales para la alimentación de comunidades humanas que dependen del manglar y sus productos (Nagelkerken, 2008).

En relación con la captura de carbono, en los suelos orgánicos de manglares, los promedios de descomposición son bajos y tienen un alto potencial de almacenamiento de carbono, por lo que representan una alternativa para el secuestro de este elemento. Un estudio realizado en la Península de Yucatán cuantificó el C de humedales costeros en la Reserva de la Biósfera Sian Ka´an en nueve sitios dentro de la Reserva, además de los stocks de C en el ecosistema, en el componente aéreo y subterráneo, así como en la biomasa aérea muerta y el suelo. Los resultados reflejaron que los manglares altos tuvieron las mayores reservas de C (987±338 Mg ha^{-1}) seguidos por manglares medianos (623±41 Mg ha^{-1}), manglares enanos (381±52 Mg ha^{-1}) y pantanos (177±73 Mg ha^{-1}). En todos los sitios, el suelo comprendió el mayor stock de C del ecosistema del 78 al 99% (Adame, 2013).

Según estudios realizados en México, los mayores almacenes de CO total se localizan en el Golfo de México y en los manglares tipo ribereño (>1200 Mg C ha-1). Existe menos información sobre flujos de CO, dominando los relacionados con la caída de hojarasca. Observándose los valores más altos en la zona del Pacífico Sur y

en el manglar ribereño (Herrera, 2016). En Guatemala han sido pocos los estudios documentados y publicados respecto a las reservas de carbono en los ecosistemas marino-costeros, en particular en el manglar. En el año 2017 se realizó un estudio en el área de conservación Sipacate-Naranjo, en el Pacífico de Guatemala, que representa el 9.52% del área total de manglares en el Pacífico. Este trabajo consistió en estimar el carbono en el componente aéreo (biomasa de árboles vivos, madera caída y regeneración) y subterráneo (sedimento) del ecosistema de manglar. Los principales resultados estiman que la cantidad de carbono aéreo fue de 66.08 ± 3.39 $MgC{\cdot}ha^{-1}$, mientras que la existencia subterránea hasta 200 cm de profundidad fue de 422.1 ± 68.51 $MgC{\cdot}ha^{-1}$. A nivel de ecosistema, en el área de conservación Sipacate-Naranjo, las existencias de carbono son de 488.1 ± 71.90 $MgC{\cdot}ha^{-1}$ (Rodríguez, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque de la investigación

Esta propuesta de investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que se estimó la cantidad de carbono orgánico almacenado en el componente suelo del ecosistema de manglar. Además, se describen las características del suelo y se establece la relación que existe entre los sitios de muestreo debido a la predominancia de las diferentes especies de manglar en relación con el almacenamiento de carbono en el área de estudio.

Método

El método que se aplicó fue el de estratificación y sondeo de perfiles a profundidad para la determinación de la captura de carbono azul y otras variables fisicoquímicas en suelos de manglares, mediante la utilización de nucleadores (barrenas tubo tipo Hoffer). Para la cuantificación de COS (Carbono Orgánico del Suelo) se utilizó el método de Combustión Húmeda de Walkley & Black modificado (Suraj, 2020). Para nitrógeno y carbono se utilizó un test normalizado para spectroquant.

Subdivisión del área de estudio

El área de estudio abarcó aproximadamente 2235.52 ha de manglar, por lo tanto, fue necesario dividir el área en subáreas de acuerdo con la homogeneidad o heterogeneidad en términos de cobertura de mangle, las que pasaron a ser los tres sitios de muestreo de acuerdo con la dominancia de las especies de manglar presentes en el área (Figura 1), extrayendo 5 núcleos por cada sitio de muestreo ubicados al azar de acuerdo con los siguientes criterios: influencia de la marea y dominancia de las especies de manglar del área. La frecuencia del muestreo fue de dos muestreos por sitio, debido a la dinámica propia de la captura de carbono en estos ecosistemas. Para la recolección de la información se realizó un análisis geoespacial de tipo analítico-cuantitativo basándose en los datos levantados en campo por sensores remotos con tecnología de DRON, acompañado de otros sensores de alta resolución espacial como lo son imágenes Planet, datos de campo con tecnología GPS, que sirvieron para ubicar los sitios de muestreos de suelos y generar los mapas necesarios para la interpretación espacial (Cifuentes, 2018).

El primer sitio de muestreo, conocido como La Barrona, presenta dominancia de más del 90% de mangle rojo *Rhizophora mangle* L., además de tener influencia de la barra del mismo nombre, localizada en las coordenadas geográficas 13°46´46.04" N – 90°12´7.81" W. El Sitio Mangle Blanco, con más del 90% de dominancia de *Laguncularia racemosa* (L.), corresponde a un pequeño parche de esta especie ubicado en el área de playa. Localizado en las coordenadas 13°46´39.40" N – 90°12´25.55" W. El Sitio Los Macizos, con dominancia del 95% mangle negro *Avicennia germinans* (L.) L., y tiene influencia de asentamientos humanos y actividad agropecuaria. Localizado en las coordenadas 13°49´36.34" N – 90°18´42.74" W.

Con los datos e imágenes de los sitios, se generó un mapa de cobertura del bosque de manglar para la zona de estudio, que correspondió a 3 km hacia adentro de la costa y 20 km lineales desde el sitio Los Macizos a La Barrona, para correlacionar el potencial de carbono almacenado en el suelo por la cobertura de las especies de mangle presentes en el área de estudio. Para la colecta de muestras de suelo, se utilizaron nucleadores (barrenas tubo tipo Hoffer) elaborados con acero inoxidable para evitar la alteración de la muestra. Por cada sitio de muestreo se extrajeron de 3 a 5 núcleos localizados al azar, cumpliendo con las siguientes condicionantes: que se ubicaran dentro del área de manglar, áreas no inundadas en el momento de la toma de los núcleos y libres de raíces en lo posible, para hacer la extracción completa de los núcleos.

De estos últimos se extrajeron submuestras a distintas profundidades de acuerdo con lo recomendado por Kauffman y colaboradores (2011) y Donato y colaboradores (2011), obteniendo muestras de suelos a rangos de profundidad de 0–15 cm, 15–30 cm, 30–50 cm, 50–100 cm y >100 cm si fuera el caso y dependiendo de las condiciones del sitio. Para manglares estos intervalos de muestreo se consideran adecuados ya que el contenido de carbono por lo general cambia lentamente con la profundidad (Cifuentes, 2028). Cada muestra fue etiquetada identificando el sitio, el número de núcleo y la profundidad de la misma. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 1.
Área de estudio con sitios de muestreo.



Fuente: Google maps.

Análisis de laboratorio

En el presente trabajo para la determinación de Carbono Orgánico se aplicó Combustión Húmeda de Walkley & Black modificado que es el utilizado en los protocolos de laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Procesamiento y análisis de la información

El método general de análisis fue de tipo descriptivo, procediendo para ello a aplicar análisis estadístico en el siguiente orden.

Codificación de las variables: Sitio-núcleo-muestra-carbono orgánico de suelo, código S1N1M1COS (SITIO1-NÚCLEO1-MUESTRA1-CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO).

Corrida de las pruebas estadísticas: Análisis de tendencia central y dispersión, Análisis de correlación entre variables, Análisis de similaridad de sitios o análisis clúster aplicando el índice euclidiano de distancias. Para la generación de salidas de interpretación, tablas y figuras se utilizaron los programas past 4.03, Excel, Quantum GIS y ArcGis.

RESULTADOS

Descripción y cuantificación del área de estudio por sitio y por especie de mangle

- El área general de estudio: 5499.16 ha.
- Área ocupada por manglares: 2235.52 ha
- Área por sitio de muestreo

Sitio Los Macizos: Área del sitio, cubierta por el ortomosaico: 13.38 ha, especie predominante: *Avicennia germinans (L.) L.* (mangle negro).

Sitio Mangle Blanco: *Ortomosaico del sitio Mangle Blanco, dominado por mangle blanco***.** Área del sitio, cubierta por el ortomosaico: 2.47 ha. especie predominante: *Laguncularia racemosa (L.) Gaertn. F.* (mangle blanco)

Sitio La Barrona: *Ortomosaico del sitio La Barrona, dominado por mangle rojo. Á*rea del sitio, cubierta por el ortomosaico: 11.83ha. especie predominante: *Rhizophora mangle L.* (mangle rojo.

Figura 2.
Procesamiento de las muestras en el laboratorio.



Análisis de suelos

Luego de extraídas las muestras en campo, como se puede ver en la figura 2, se procesaron siguiendo las metodologías correspondientes con el secado, desagregado con mortero, tamizado y pesado.

Aspecto de las muestras de sedimento

Las muestras en su mayoría con texturas francas y francoarenosas expresan el típico comportamiento de suelos inundados, como puede apreciarse en la figura 3.

Figura 3.
Aspecto de las muestras de suelo, obtenidas con nucleadores de acero inoxidable.



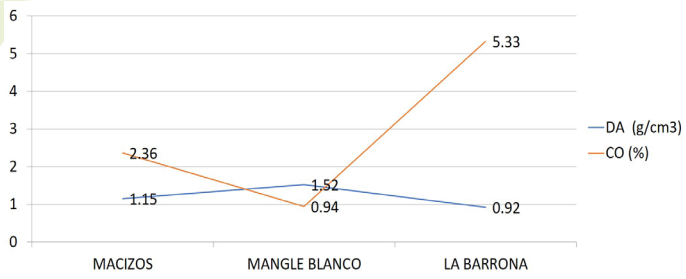
Fuente: elaboración propia.

Características fisicoquímicas del sedimento

Densidad del sedimento

La densidad del sedimento es una característica relevante, ya que permite dimensionar la relación peso/volumen. Esta propiedad es la base para el cálculo total del Carbono Orgánico del Suelo y en el presente caso del sedimento. Como puede apreciarse en la figura 4, la mayor densidad se encontró en el sitio conocido como Mangle Blanco 1.52 g/cm3 y la menor densidad en La Barrona con 0.92g/cm^3.

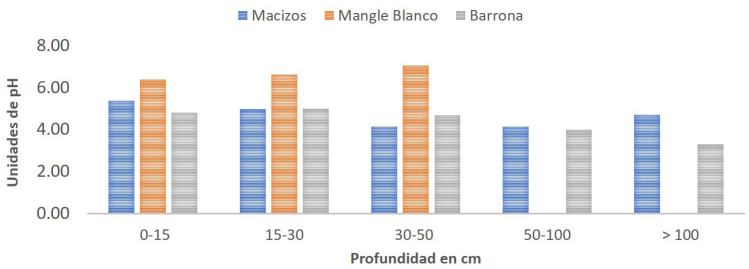
Figura 4.
Densidad del suelo de los sitios de muestreo para determinación de COS.



pH suelo seco

Como se observa en la figura 5, el pH del suelo estuvo en rangos de 3.84 hasta 6.82 en algunos casos, observándose una disminución de éste en todos los sitios con la profundidad del perfil.

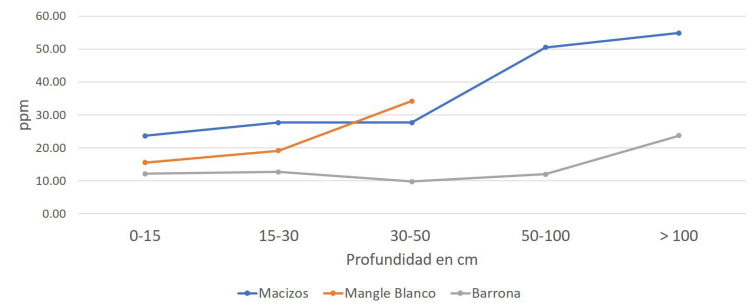
Figura 5.
Comparación del pH del suelo entre sitios y a diferentes profundidades.



Fósforo (P)

El fósforo que es un elemento muy importante en los suelos y en los sedimentos, y que además juega un papel importante en el transporte activo de la planta, tuvo valores que van desde las 9 ppm, hasta las 54 ppm en el caso del horizonte mayor de 100 cm en el sitio Los Macizos.

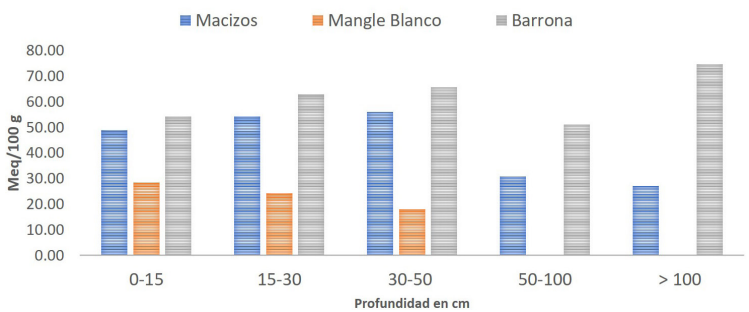
Figura 6.
Tendencia del fósforo entre sitios y profundidad.



Sodio (Na)

Como se aprecia en la figura siguiente, el sodio estuvo más alto en el sitio La Barrona en el cual hay predominancia de mangle rojo, principalmente después de los 100 cm, sin embargo, es el sitio que tiene mayor dinámica mareal.

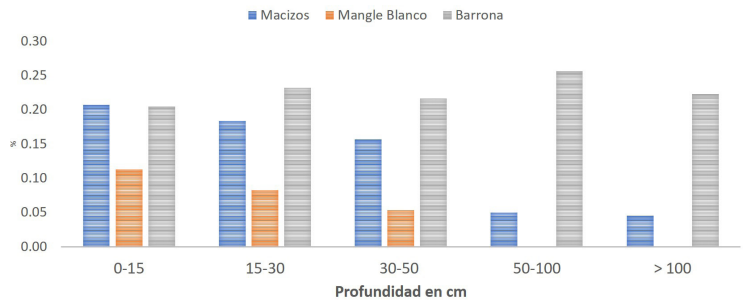
Figura 7.
Comparación de la concentración de sodio entre profundidad y sitios.



Nitrógeno (N)

El nitrógeno, importante para el desarrollo de la planta, se mantuvo constante de 0.20 a 0.26% con la profundidad en el sitio la Barrona, que como se dijo anteriormente es el sitio con mayor dinámica mareal, por estar cerca de la bocabarra del mismo nombre. Similar situación se observa en el sitio Barra del Jiote (figura 8).

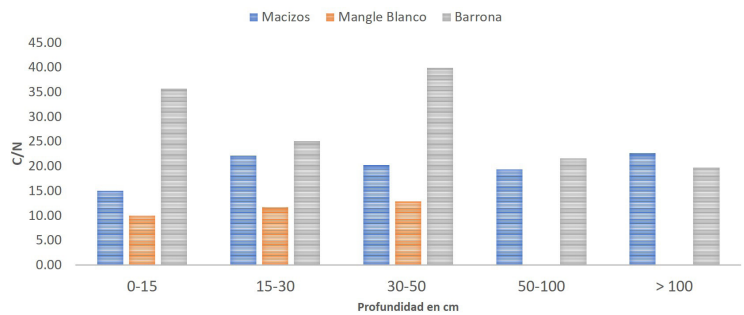
Figura 8.
Comparación de la concentración de Nitrógeno entre sitios.



Relación C/N

La relación C/N fue mayor en el sitio La Barrona, desde 19.68 a 39.9 y se mantuvo constante en todos los sitios (figura 9).

Figura 9.
Comparación de la relación Carbono/Nitrógeno.



Parámetros promedio de características del suelo

El sitio con mayores concentraciones de fósforo P, es el conocido como macizos. Estas altas concentraciones pueden deberse a la mayor actividad agropecuaria en ese lugar. Por otro lado, el sitio La Barrona presentó mayores porcentajes de materia orgánica, lo cual era de esperarse por tener predominancia de mangle rojo, el que mayor desarrollo vegetativo presenta. Por otra parte, sus mayores concentraciones de calcio (Ca) y nitrógeno (N), también favorecen un mejor desarrollo y ciclos más cortos de renovación del bosque. En relación con los valores de carbono orgánico es evidente que el sitio La Barrona también presenta los valores más altos de captura.

Tabla 1.
Parámetros promedio de propiedades del suelo entre sitios.

Sitio	CO (%)	MO (%)	pH	P	Ca	Na	N	C/N
Macizos	2.36	4.61	4.66	36.87	4.87	43.48	0.13	19.87
Mangle Blanco	0.94	6.35	6.67	22.94	2.86	23.70	0.08	11.50
La Barrona	5.33	9.19	4.35	14.07	7.88	61.80	0.23	28.37

Análisis de correlación entre parámetros del suelo

Al realizar el análisis de correlación entre las propiedades del sedimento en cuatros sitios de muestreo, se encontraron los siguientes coeficientes de correlación.

Se pudo establecer que existe alta relación positiva en los siguientes casos, CO, MO, Ca, Na, N y relación C/N. por otra parte existe correlación negativa entre el CO y el pH, así como del pH con la MO. También se estableció que el pH tiene una correlación negativa con N y C/N. Por otra parte, el C obtuvo alta correlación positiva con N y C/N (tabla 2).

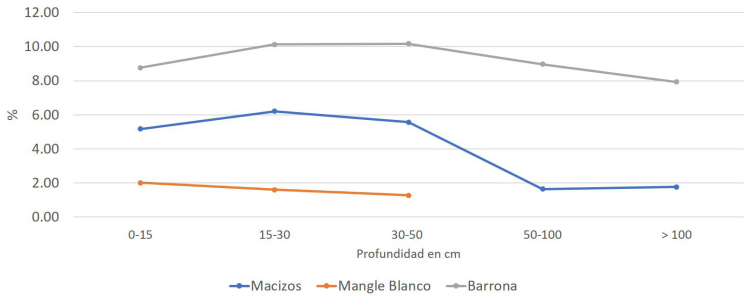
Tabla 2.
Análisis de correlación entre propiedades del suelo.

	CO	MO	pH	P	Ca	Na	N	C/N
CO	1							
MO	0,99912747	1						
pH	-0,74380996	-0,72557176	1					
P	-0,55680705	-0,54058842	0,18857632	1				
Ca	0,97605364	0,98343942	-0,6876629	-0,40551213	1			
Na	0,78606983	0,80882893	-0,48074986	-0,03708113	0,89861911	1		
N	0,99156562	0,9945941	-0,72408548	-0,47985068	0,9881321	0,84767032	1	
C/N	0,97950567	0,98009243	-0,79193326	-0,42183978	0,97987889	0,82210725	0,97218424	1

Materia orgánica del suelo

Como puede apreciarse en la figura 10, la materia orgánica tuvo un comportamiento muy distante entre sitios, lo cual se corresponde con mayores aportes en el sitio La Barrona donde hay predominancia de mangle rojo, disminuyendo hacia el sitio Los Macizos donde tenemos predominancia de mangle negro y, finalmente, porcentajes muy bajos en el sitio mangle blanco donde predomina esta especie.

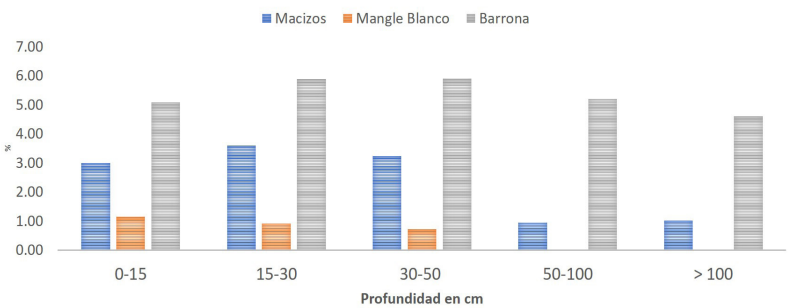
Figura 10.
Comparación de la materia orgánica MO en %, entre sitios a diferentes profundidades.



Carbono Orgánico del Suelo

Como era de esperarse, el sitio La Barrona presentó los más altos porcentajes de Carbono Orgánico CO con valores entre 4.6 y 5.9%, mientras que el sitio Los Macizos estuvo más bajo que el primero con valores desde 0.94 hasta 3.6%, con porcentajes más bajos tenemos al sitio Mangle Blanco con valores desde 0.73 a 1.16% y a poca profundidad (figura 11).

Figura 11.
Comparación del CO en %, entre sitios a diferentes profundidades.



Correlación CO, MO y pH

Tabla 3.
Análisis de correlación entre propiedades del suelo.

	CO (%)	*MO (%)*	*pH 0 15*
CO (%)	1		
MO (%)	0,999999205	1	
pH	-0,824590821	-0,823876958	1

$r^2 = 0.67$

Análisis de varianza de un factor para porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento de los tres sitios evaluados

En la tabla 4 se puede observar que, al realizar el respectivo análisis de varianza para un factor, con un nivel de confiabilidad del 94% y una significancia del 5%, el valor F calculada es mayor que el valor crítico de F, en tal sentido existe diferencia en el porcentaje de Carbono Orgánico CO, entre los sitios.

Tabla 4.
Valores promedio en porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados.

	Macizos	Mangle Blanco	La Barrona
r1	3.38	1.77	2.93
r2	2.47	0.57	7.70
r3	3.12	1.06	7.51
r4	4.39	0.80	3.12
r5	2.99	0.50	6.34
r6	3.43	0.99	8.71
Promedio	3.30	0.95	6.05

Tabla 5.
Análisis de varianza de un factor para porcentaje de Carbono Orgánico en el suelo de los tres sitios evaluados.

Origen de las variables	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	78.29741111	2	39.14870556	17.572652	0.000117208	3.682320344
Error	33.4173	15	2.22782			
Total	111.7147111	17				

Prueba de medias de Tukey para porcentaje de Carbono Orgánico en el sedimento de los tres sitios evaluados

Al realizar la prueba de medias de Tukey para establecer la diferencia entre las medias de los sitios evaluados en relación con captura de carbono, se encontró que los tres sitios son diferentes, con valores de 3.3% para el sitio Macizos, 0.95% para el sitio Mangle Blanco, 6.95% para el sitio La Barrona. Basado en estos promedios y la prueba realizada, se estableció que los tres sitios son diferentes (Tabla 6).

Tabla 6.
Prueba de medias de Tukey.

Tabla Tukey	3.67			
Error	2.22782			
N	6.00			
	gl			
Para tabla de Tukey	3	para tratamientos	en fila	
	15	para el error	en columna	
	Comparador			
Resultados Tukey	2.236			
Diferencias		Sitio Macizos	Sitio Mangle Blanco	Sitio La Barrona
		3.3	0.95	6.05
Sitio Macizos	3.3	0	2.35	-2.75
Sitio Mangle Blanco	0.95		0	-5.1
Sitio La Barrona	6.05			0

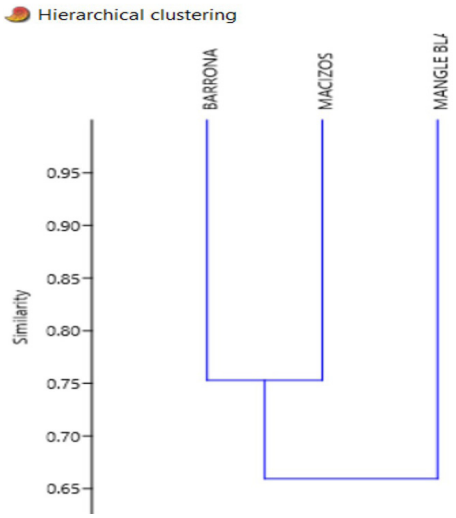
Análisis de similaridad de sitios para captura de COS y los parámetros de calidad del sedimento

Luego de haber realizado el análisis de similaridad de sitios, siguiendo el algoritmo de grupos pareados con índice de similaridad euclidiana, se encontró que el sitio Mangle Blanco se separa totalmente como grupo, dejando al sitio La Barrona y el sitio Macizos en un grupo un tanto distante entre sí (tabla 7).

Tabla 7.
Análisis de similaridad de sitios para captura de COS.

Sitio	CO (%)	MO (%)	pH	P	Ca	Na	N	C/N
Macizos	2.360000	4.060000	4.660000	36.870000	4.870000	43.480000	0.130000	19.850000
Mangle Blanco	0.940000	1.620000	6.670000	22.940000	2.860000	23.700000	0.080000	11.500000
La Barrona	5.330000	9.190000	4.350000	14.070000	7.880000	61.800000	0.230000	28.370000

Figura 12.
Análisis de similaridad de sitios basado en los parámetros de calidad del suelo.



Captura de COS

La captura de CO (Tabla 8) en el sedimento tuvo su mayor valor en el sitio La Barrona, el cual tiene predominancia de mangle rojo *Rizophora mangle* con 490.36 Mg h-1, seguido de Macizos, el cual tiene predominancia de mangle negro *Avicennia germinans* con 271.4 Mg h-1 y el sitio con el menor valor fue el Mangle Blanco en el cual predomina *Laguncularia* racemosa, con un valor de 142.88 Mg h-1.

Los Mg h-1 de COS, se catalogan entre alto y muy alto, de acuerdo con Vela (2009) citado por Cifuentes (2018). Dicho resultado muestra que el sitio La Barrona con presencia de mangle rojo tiene mayores capturas en los primeros 30 cm de sedimento disminuyendo hacia el interior del núcleo.

Tabla 8.
Captura de Carbono Orgánico o Carbono Azul, en tres sitios de muestreo diferenciados por la especie de mangle presente.

Sitio	COS (Mg ha-1)	Nivel
Macizos	271.40	Muy alto
Mangle Blanco	142.88	Alto
La Barrona	490.36	Muy alto

Luego de los análisis y de obtener los promedios de COS y el área ocupada por las diferentes especies dentro de la cobertura total de mangle, las cuales fueron de 2,235.52 ha se determinó un total de 675,392.16 Mg, en relación con el COS total por especie. En el caso mangle rojo el total de COS fue de 569,220.60 Mg, en el de mangle negro un total de COS de 104,081.84 Mg y, por último, de mangle blanco el cual ocupa la menor captura, la cual fue de 2,089.72 Mg.

DISCUSIÓN

El área de estudio ubicada en el sur oriente del Pacífico de Guatemala presenta variaciones en especies de cobertura monoespecífica de mangle, regularmente asociada a la presencia de sodio y a la dinámica mareal. De esa cuenta encontramos las especies de mangle negro *Avicennia germinans,* en el sitio Los Macizos, el cual se encuentra en suelos más secos y con concentraciones de Na en Meq/100g. En el núcleo de 1 metro de sedimento fue menor 43.47 ± 19.25Meq/100g. Por otro lado, en Mangle Blanco cuya especie dominante es la que ostenta su nombre, situado en zona de playa con deposiciones de arena y concentraciones de sodio, menores que las otras dos especies 23.34 ±13.33 Meq/100g y, La Barrona, 61.975 ± 11.185 Meq/100g en relación con Na que presenta una mayor dinámica de mareas.

Uno de los parámetros de gran importancia en la cuantificación del carbono azul, es la densidad aparente del sedimento, la cual fue mayor en el sitio Mangle Blanco, situado en zona de playa, y menor en el sitio La Barrona, el cual se encuentra al interior del canal mareal de Chiquimulilla. Esta propiedad está relacionada con el contenido de carbono en el sedimento, ya que se pudo demostrar que, a menor densidad, el porcentaje de Carbono Orgánico aumenta $r^2 = 0.89$.

Por otro lado, en la medida que se profundizó en el sedimento, el pH descendió, condición que se manifestó en todos los sitios y que tiene relación negativa con la concentración de materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO), $r^2 = 0.67$.

Para efectos del objetivo principal del estudio se determinó que la materia orgánica (MO) en porcentaje fue mayor en el sitio La Barrona 10.135 ± 2.715%, mientras que el sitio con menor porcentaje fue en Mangle blanco 1.795± 0.615%, esto coincide con el mayor desarrollo vegetativo que tiene el sitio La Barrona, donde predomina el mangle rojo, con una densidad aparente menor y con una mayor dinámica mareal.

De esta manera, el carbono orgánico o carbono azul, al igual que la materia orgánica del sedimento en 30 cm de profundidad, mostró mayor captura en el sitio La Barrona con 5.87 ± 1.59% y el sitio con menor captura fue Mangle Blanco con 1.04 ± 0.33%, el cual se encuentra en zona de playa con árboles poco desarrollados y con una alta densidad aparente.

Finalmente, veremos el comportamiento de la captura de carbono orgánico total del sedimento el cual mantiene estrecha relación con la especie de mangle en el sitio, las propiedades del suelo y la dinámica vegetativa y mareal. En el sentido anterior observamos que al comparar los sitios por especie, el bosque de mangle rojo captura más carbono orgánico del suelo, encontrándose valores de 490.36 Mg ha-1 en el sitio La Barrona, lo cual de acuerdo con Vela (2009), citado por Cifuentes y otros (2018) se considera muy alto y mayor que los 271.40 Mg ha-1 encontrados en Los Macizos dominado por mangle negro, quedando en tercer lugar el sitio Mangle Blanco con 142.88 Mg/ha en un bosque poco desarrollado, con alta densidad aparente y presencia de arenas de playa. Estos valores coinciden con los encontrados por Herrera-Silveira, et al. (2018) para sedimentos de manglares del

Área Nacional Protegida La Encrucijada, donde se encontraron valores en estuario inferior de 537–115 Mg ha-1. Los datos también coinciden con los encontrados por Adame y colaboradores (2013), quienes encontraron capturas de Carbono en suelos de manglares altos con valores de 987 ± 338 Mg ha-1, manglares medianos 623 ± 41 Mg h-1 y manglares bajos o achaparrados de 381 ± 52 Mg ha-1.

Los datos encontrados en el presente estudio están por debajo de los reportados por Donato y colaboradores (2011), en suelos de manglares en el Indo Pacífico, cuyas profundidades oscilaron de los 0.5 m hasta los 3 metros y donde se reportaron valores de 1,023 Mg ha-1, representando del 49 al 98% del Carbono Orgánico almacenado. En este sentido, los datos encontrados en el presente estudio son mayores que los reportados por Paz Pellat y colaboradores (2016). 88.58 Mg ha-1para manglares tipo de vegetación primaria y 99.00 Mg ha-1 para vegetación secundaria. De cualquier manera, las estimaciones de COS realizadas en la presente investigación dan valor a un recurso natural que hoy por hoy es significativo en el secuestro de Carbono, el cual se perdería si llegara a ser removido aumentando los aportes de gases de efecto invernadero.

CONCLUSIONES

La especie con mayor captura de Carbono Azul en la región sur oriental de Guatemala es mangle rojo *Rizophora mangle,* ubicado en el sitio La Barrona, cercano a la frontera con El Salvador y cuya dinámica mareal es alta e influenciada por bocabarras en el Departamento de Jutiapa.

La especie con menor captura de Carbono Azul en la región sur oriental de Guatemala es Mangle Blanco en el cual predomina *Laguncularia racemosa,* ubicado en sistema de playa arenosa en contacto directo con el sistema de oleaje procedente de la bocabarra El Jiote, en el Departamento de Jutiapa.

El sitio con niveles medios en relación con La Barrona con predominancia de mangle rojo y el sitio Mangle blanco con predominancia de *Laguncularia racemosa,* fue Los Macizos con predominancia de mangle negro o ixtaten *Avicennia germinans.* cuyos sedimentos presentaron mayor salinidad e inferior dinámica mareal.

El hallazgo más importante fue que los manglares de la región sur oriental de Guatemala presentan capturas de altas a muy altas en Mg ha-1, comparadas con estándares internacionales.

REFERENCIAS

Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I, Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J.P., Reza, M., Herrera-Silveira, J.A. (2013). *Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the mexican Caribbean*. *PLoS ONE*, *8*(2), Artículo e56569. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056569

Adame, M. F., Santini, N. S., Tovilla, C., Vázquez-Lule, A., & Castro, L. (2015). *Carbon stocks and soil sequestration rates of riverine mangroves and freshwater wetlands. Biogeosciences Discussions, 12*(2), 1015-1045. https://doi.org/10.5194/bgd-12-1015-2015

Adame, M. F., Wright, S. F., Grinham, A., Lobb, K., Reymond, C. E., & Lovelock, C. E. (2012). *Terrestrail-marine connectivity: Patterns of terrestrial soil carbon deposition in coastal sediments determined by analysis of glomalin related soil protein*. *Limnology and Oceanography*, *57*, 1492.

Agráz-Hernández, C., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., Flores-Verdugo, F. J., & Jiménez-Zacarías, J. J. (2006). *Guía de campo: Identificación de los manglares en México*. Universidad Autónoma de Campeche.

Arceo C., Gamboa., Teutli H., Badillo A., & Herrera S. (2016). *Los peces como indicador de restauración de áreas de manglar en la costa norte de Yucatàn.* Rev. Mex. Biodiv. vol.87 no.2 México.

Bouillon, S., Dahdouh-Guebas, F., Rao, A., Koedam, N., & Dehairs, F. (2003). *Sources of organic carbon in mangrove sediments: Variability and possible ecological implications. Hydrobiologia*, *495*, 33-39. https://doi.org/10.1023/A:1025411506526

Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R., & Lynch, J. C. (2003). *Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. Global Biogeochemical Cycles*, *17*(4), Artículo 1111.

Cifuentes-Jara, M., Brenes, C., Leandro, P., Molina, O., Romero, T. E., Torres, D., & Velásquez, S. (2018). *Manual centroamericano para la medición de carbono azul en manglares* (Serie Técnica / Informe Técnico No. 141). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Donato, D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). *Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. Nature Geoscience*, *4*, 293-294. https://doi.org/0.1038/NGEO1123

Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). *Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. Biogeosciences*, *2*, 1-8. https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005, 2005.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1994). *Mangrove forest management guidelines* (FAO forestry paper 117).

Gálvez G. (2011). *Diversidad íctica asociada al ecosistema manglar del rio Sarstún Guatemala*. Tesis de grado, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2002). *Cambio Climático y Biodiversidad* (Documento Técnico No. 5).

Herrera Silveira, J. A., Camacho R, A., Caamal S, J., Cinco C, S., Morales O, S.M., Ramírez R, J., Zenteno D, K., Pech P, E., Pech C, M., Carrillo B, L., Erosa A, J., Pérez M, O., & Teutli H, C. (2018). *Base de datos de almacenamiento de carbono en los manglares de México*. *Elementos para Políticas Públicas, 1*(4), 1-12

Herrera Silveira, J. A., Camacho R., A., Pech, E., Pech, M., Ramírez R., J., & Teutli H., C. (2016). Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, *34*(1), 61-72.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. (Eds). (2014). *Carbono azul: Métodos para evaluar las reservas de carbono y los factores de emisión en manglares, marismas de marea y praderas de pastos marinos*. Conservation International; Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Instituto Nacional de Bosques, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Sistematización de prácticas de restauración y lineamientos técnicos para el uso sostenible del ecosistema manglar en el litoral del Pacífico de Guatemala: 3. Manual de lineamientos técnicos para el manejo sostenible del recurso forestal del ecosistema manglar de Guatemala*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Kauffman, J. B., Donato, D. C., & Adame, M. F. (2013). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares* (Documento de Trabajo 117). Centro para la Investigación Forestal Internacional.

Kauffman, J. B., Heider, C., Cole, T. G., Dwire, K. A., & Donato, D. C. (2011). *Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests*. *Wetlands*, *31*, 343-352. https://doi.org/10.1007/s13157-011-0148-9.

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, C. M., Fourqurean, J. W., Holmer, M., Marba, N., Middelburg, J.J. (2010). Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints. *Global Biogeochemical Cycles*, *24*(4), Artículo GB4026. https://doi.org/10.1029 / 2010GB003848.

Lo Iacono, C., Mateo, M. A., Gracia, E., Guasch, L., Carbonell, R., Serrano, L., Serrano, O., Dañobeitia, J. (2008). Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): *Implications for carbon sink estimates*. *Geophysical Research Letters*, *35*(18), Artículo L18601. https://doi.org/10.1029/2008GL034773.

McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. (2011). *A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO_2. Frontiers In Ecology and the Environment*, *9*(10), 552-560. https://doi.org/10.1890/110004.

Middleton, B., & McKee, K. (2001). *Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests. Journal of Ecology*, *89*, 818-828.

Middelburg, J., Nieuwenhuize, J., Lubberts, R., & van de Plassche, O. (1997). *Organic carbon isotope systematics of coastal marshes. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *45*(5), 681–687.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala*.

Moreno Cáliz, E., Guerrero Peña, A., Gutiérrez Castorena, M. del C., Ortiz Solorio, C. A., & Palma López, D. J. (2002). *Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono*. *Madera y Bosques*, *8*(Número Especial), 115-128. https://doi.org/10.21829/myb.2002.801295

Moreno-Casasola, P., & Infante Mata, D. M. (2016). *Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos*. Instituto de Ecología, Organización Internacional de Maderas Tropicalesy Comisión Nacional Forestal.

Nagelkerken A, *, S.J.M. Blaber B , S. Bouillon C,D , P. Green E , M. Haywood F , L.G. Kirton G , J.-O. Meynecke H , J. Pawlik I , H.M (2008). *The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna.*

Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Siqueira Neto, M., Mendonça, E. de S., Romero, R. E., & Otero, X. L. (2019). *The importance of blue carbon soil stocks in tropical semiarid mangroves: A case study in Northeastern Brazil*. *Environmental Earth Sciences*, *78*(12), Artículo 369. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8368-z

Otero, X. L., Méndez, A., Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Meléndez, W., & Macías, F. (2017). *High heterogeneity in soil composition and quality in different mangrove forests of Venezuela*. *Environmental Monitoring and Assessment*, *189*(10), 511. https://doi.org/10.1007/s10661-017-6228-4

Paz Pellat, F., Argumedo Espinoza, J., Cruz Gaistardo, C., Etchevers, J. D., & de Jong, B. (2016). *Distribución espacial y temporal del carbono orgánico del suelo en los ecosistemas terrestres de México*. *Terra Latinoamericana, 34*(3), 289-310.

Pendleton, L., Donato, D. C., Murray, B. C., Crooks, S., Jenkins, W. A., Sifleet, S., Craft, C., Fourqurean, J.W., Kauffman, J.B., Marba, N., Megonigal, P., Pidgeon, E., Herr, D., Gordon, D., Baldera, A. (2012). Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and

degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLoS ONE*, *7*(9), Artículo e43542. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Estudio técnico para el área de uso múltiple marino-costera Las Lisas – La Barrona*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional de Áreas Protegidas; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Asociación de Rescate y Conservación de Vida Silvestre.

Rodríguez Hernández, C. H. (2017). *Existencias de carbono azul y la dinámica histórica de la cobertura del bosque manglar en el área conservación Sipacate Naranjo, Guatemala, Centroamérica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. https://icc.org.gt/es/existencias-de-carbono-azul-y-la-dinamica-historica-de-la-cobertura-del-bosque-manglar-en-el-area-conservacion-sipacate-naranjo-guatemala-centroamerica/

Romero-Berny, E. I., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B., & Gómez-Ortega, R. (2016). *Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México*, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, *1*(54), 153-169. https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.7

Sifleet, S., Pendleton, L., & Murray, B.C. (2011). *State of the science on coastal blue carbon: A summary for policy makers*. *Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions Report NIR*.

Suraj P. (2020). *Determinaciòn de materia orgànica (Wlkley Black-Method).*

Yáñez-Arancibia, A., & Lara-Domínguez, A. L. (Eds.). (1999). *Ecosistemas de manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología.

Yepes, A., Zapata, M., Bolívar, J., Monsalve, A., Espinosa, S. M., Sierra-Correa, P. C., & Sierra, A. (2016). *Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para la estimación de los contenidos de carbono en manglares del Caribe Colombiano*. *Revista de Biología Tropical*, *64*(2), 913-926.

Zacarías-Coxic, C. J., Sánchez Cruz, M. S., Cifuentes Barrientos, J. G. (2019). *Especies arbóreas en el ecosistema de manglar en Guatemala: Serie Técnica GT-025.* Instituto Nacional de Bosques, Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.









CAPÍTULO VI

LOS POLINIZADORES SOCIALES (Apidae: Apini; Meliponini) Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Macario Melitón Fierro Martínez, Alberto Barrios Escobar, Claudia Ordóñez Zarate y Rafael Pimentel Segura[1]

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria, definida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2008; Staatz et al., 1990), hace referencia a una situación en la que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias y llevar una vida activa y saludable. La seguridad alimentaria mundial constituye uno de los desafíos más críticos del siglo XXI, estrechamente vinculada con aspectos fundamentales como la sostenibilidad ambiental, el desarrollo económico, la equidad social y la estabilidad política. La producción sostenible de alimentos depende, en gran medida, de procesos ecológicos esenciales que garantizan la sustentabilidad y una producción agroalimentaria exitosa.

Uno de estos procesos clave es la polinización, un servicio ecosistémico fundamental para la reproducción de numerosas especies vegetales, incluidas muchas de alto valor nutricional y económico. Entre los organismos que desempeñan esta función vital, los polinizadores sociales (Apidae), como las abejas melíferas (*Apis mellifera*), las abejas nativas (Meliponini) y otras especies de abejas sociales (Bombini y Euglossini) como los abejorros (*Bombus spp*.) y las abejas de las orquídeas (Apidae:Euglossini), destacan por su eficacia, su organización eusocial y su antigua relación con la agricultura humana (FAO, 2018). Sin estos insectos polinizadores, una proporción significativa de la producción alimentaria mundial estaría en riesgo, lo que

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

afectaría la biodiversidad, así como la disponibilidad y calidad de los alimentos, con consecuencias directas en la nutrición humana (Eilers et al., 2011).

A pesar de los avances científicos y tecnológicos, y de los tratados internacionales en materia política y comercial establecidos en las últimas décadas, la seguridad alimentaria sigue siendo inalcanzable para millones de personas en todo el mundo. El presente capítulo resalta la importancia de los polinizadores sociales principalmente de las abejas *eusociales Apis mellifera* (Apini) y las abejas meliponas (Meliponini) en la producción de alimentos de origen agrícola en México y países altamente desarrollados.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y ECOLÓGICOS

Desde tiempos prehistóricos, los seres humanos han mantenido una estrecha relación con ciertos grupos de polinizadores, especialmente con las abejas del género *Apis* (abejas melíferas) y las abejas nativas sin aguijón (tribu Meliponini), cuya domesticación y manejo datan de hace más de nueve mil años en Egipto y Mesopotamia, centrados principalmente en la producción de miel (Crane, 1999: Fig. 1-5).

Figura 1.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 1 podemos ver a la abeja melífera (*Apis mellifera*, izquierda) realizando labores de polinización, aunque su origen es europeo y africano, el hibrido se ha adaptado eficientemente en América con excepción de Canadá y realiza importantes servicios ambientales en la polinización de una gran variedad de plantas tanto silvestres como de cultivos agroalimentarios. Al centro se observa una reina de *Apis mellifera* marcada en verde lo que permite a los apicultores (derecha) llevar un eficiente control de sus apiarios y preparar sus colmenas para una gran cosecha de miel u otros productos de la colmena o mejor aún recibir importantes ingresos por servicios ambientales en la polinización de diversas plantaciones, principalmente de frutas y hortalizas.

En la figura 2 podemos apreciar un nido silvestre de *Tetragonisca angustula* (izquierda), siendo extraído mediante técnica de sustentabilidad. Al centro del nido de cría se distingue, por su gran tamaño, al menos dos veces de la cría normal, una

celda real en la parte media. A la derecha se observa el manejo "domesticado" de *T. angustula* en plena producción de miel y polen.

Figura 2.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3, a la izquierda se observa la entrada al nido de *Melipona beecheii* vigilada permanentemente por una sola guardiana, esta especie nativa sin aguijón está en peligro de extinción. A la derecha observamos la aplicación de un método para la reproducción de *M. beecheii* para lograr su conservación, nótese la presencia de la reina sobre el primer panal de cría.

En la figura 4 podemos apreciar las tres especies de meliponinos más abundantes de México, dos de ellas de importancia comercial por sus mieles muy apreciadas y cotizadas por sus características organolépticas únicas y sus propiedades medicinales. En la figura de la izquierda destacan dos nidos, el superior de *Tetragonisca angustula (Ta)* o doncellita y el inferior de *Scaptotrigona mexicaba (Smex),* denominada comúnmente como abeja Congo. La figura del centro muestra la entrada típica de *Scaptotrigona pectoralis* o abeja marrona, debido a su color. A la derecha se observa el proceso inicial de reproducción de *T. angustula* mediante la formación de una congregación de zánganos sobre una caja racional.

Figura 4.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 5 podemos observar que las abejas nativas y *Apis mellifera* son insectos altamente sociales y suelen polinizar una gran variedad de cultivos. A la izquierda se puede observar la presencia significativa de estos insectos colectando principalmente polen de las flores masculina de la palma africana (*Elaies guineenses*), y trasladarlo durante su forrajeo a las flores femeninas, el resultado de esta labor se puede observar en la imagen del centro y de la derecha con una producción de frutos abundante y de alta calidad. Esta labor de polinización de la palma africana suele ser muy especializada y la realiza un curculiónido (*Elaeidobius kamerunicos*), sin embargo, no podrá negarse que el trabajo conjunto con los polinizadores sociales, además de otros factores como el viento, aseguran una gran producción.

En el pasado, las crisis alimentarias estaban asociadas principalmente a causas naturales, como sequías, plagas o fenómenos climáticos extremos. Actualmente, en pleno desarrollo científico y tecnológico del siglo XXl, factores como la globalización de los sistemas agroalimentarios, la urbanización acelerada, la concentración del mercado en manos de grandes corporaciones, la creciente dependencia de combustibles fósiles, así como la aplicación de nuevos pesticidas en la producción agrícola, han enrarecido y complicado el panorama, generando nuevas formas de

vulnerabilidad. A ello se suman los conflictos armados, las crisis económicas y, más recientemente, la pandemia de COVID-19, que han evidenciado la fragilidad de las cadenas de producción y suministro, así como la profunda desigualdad en el acceso a alimentos, afectando particularmente a las poblaciones vulnerables, sobre todo en los denominados países en desarrollo.

La relación entre las abejas y la seguridad alimentaria es profunda y científicamente comprobada. A saber: La polinización entomófila (realizada por insectos) es necesaria para la reproducción sexual de más del 75% de los cultivos alimentarios del mundo. Las abejas son los polinizadores más eficientes debido a su morfología adaptada para recolectar polen y néctar, su comportamiento social, que les permite visitar muchas flores por jornada y su fidelidad floral, que mejora la polinización cruzada (FAO 2008). Asimismo, las abejas contribuyen en las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria con la disponibilidad de los alimentos al aumentar el rendimiento y calidad de los cultivos, incrementando la producción total, favoreciendo el acceso y calidad nutricional de los alimentos (IPBES 2016). En consecuencia, proteger a las abejas es esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 2: "Hambre Cero" (ONU 2015).

Actualmente, se estima que más de 700 millones de personas padecen hambre crónica y más de dos mil millones enfrentan algún tipo de inseguridad alimentaria de moderada a grave, según datos recientes de la FAO (2023) y otras agencias internacionales (FIDA, OMS, PMA y UNICEF). Al mismo tiempo, el sistema alimentario mundial enfrenta presiones cada vez mayores debido al cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo, la escasez de agua dulce y el aumento sostenido de la población mundial, que podría superar los nueve mil millones de personas para 2050.

Este escenario plantea un reto monumental: producir más alimentos de manera sostenible, distribuirlos equitativamente y garantizar el derecho de todas las personas a una alimentación adecuada. Desde el siglo XIX, la apicultura y el manejo de polinizadores sociales también han evolucionado de la simple recolección de miel a convertirse en componentes estratégicos de producción en los sistemas agrícolas modernos. Hoy se reconoce que los polinizadores no solo aumentan el rendimiento, sino también mejoran la calidad nutricional de numerosos cultivos, gracias a su capacidad de polinizar de forma eficiente productos como manzanas, almendras, fresas, tomates, melones, entre otros (FAO, 2018). Se estima que aproximadamente el 75 % de los cultivos alimentarios del mundo dependen, al menos en parte, de la polinización animal (en contraposición a la polinización abiótica). Dentro de este grupo, los polinizadores sociales se destacan por su comportamiento cooperativo, su fidelidad floral, su alta capacidad de visita a flores y su notable adaptabilidad ecológica a diversos entornos agrícolas.

No obstante, en las últimas décadas, las poblaciones de polinizadores sociales han sufrido un marcado descenso a nivel global, especialmente en América del Norte (Estados Unidos y parte de Canadá), lo que ha generado gran preocupación entre

científicos, agricultores y responsables de políticas públicas (FAO, 2019a). Factores como el uso intensivo de pesticidas, la pérdida de hábitats naturales, la aparición de enfermedades, el cambio climático y la agricultura industrializada están erosionando las bases ecológicas que sostienen a estos insectos. El fenómeno conocido como el colapso de la colonia por desorientación (Colony Collapse Disorder o CCD), observado especialmente en abejas melíferas, ha tenido un impacto significativo en regiones agrícolas clave como Estados Unidos, Europa y algunas zonas de América Latina (Potts et al., 2010). Este declive amenaza la estabilidad de los sistemas alimentarios, especialmente aquellos sustentados en cultivos fundamentales para una dieta equilibrada como frutas, verduras, semillas y frutos secos.

Las causas de esta crisis no solo son de índole biológica o ambiental, sino también estructurales, derivadas de un modelo de producción agroindustrial que ha ignorado con frecuencia los límites ecológicos del entorno. La fragmentación del paisaje, la homogeneización de cultivos (monocultivos) y la disminución de fuentes florales diversas han reducido la resiliencia y capacidad reproductiva de los polinizadores sociales.

Frente a esta situación, organismos internacionales como la FAO, la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) y diversas organizaciones ambientales han advertido que la protección de los polinizadores sociales es esencial no solo para mantener los rendimientos agrícolas, sino también para conservar la biodiversidad y asegurar dietas saludables en el futuro. A nivel global, las Naciones Unidas establecieron el 20 de mayo como el Día Mundial de las Abejas en 2017, con el propósito de concienciar sobre la importancia de los polinizadores y los desafíos que enfrentan.

En la misma línea, el Earthwatch Institute presentó en 2018, durante la Royal Geographical Society de Londres, un informe que concluye que las abejas son vitales para la supervivencia de la biodiversidad y los cultivos humanos. En México, el 25 de marzo de 2021, se promulgó la Ley Federal Apícola, la cual reconoce a las abejas como especie de protección prioritaria en todo el país, promoviendo su conservación y fomentando mecanismos de apoyo para quienes alojen o protejan especies en peligro, así como campañas educativas sobre su cuidado y preservación.

IMPACTO DE LOS POLINIZADORES SOCIALES EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019b), las abejas y otros polinizadores influyen directamente en el 35 % de la producción mundial de cultivos, aumentando el rendimiento de 87 de los aproximadamente 130 cultivos alimentarios más consumidos en el mundo.

En Estados Unidos, se estima que el beneficio anual proporcionado por las abejas melíferas a los consumidores alcanza los 17 mil millones de dólares (Calderoni, 2012; Klein et al., 2007). En México, el valor de los servicios ecosistémicos prestados por las abejas se ha estimado en 71.6 mil millones de pesos (Ramírez & Reyes, 2023; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022).

PRODUCCIÓN DE MIEL Y OTROS PRODUCTOS APÍCOLAS

Adicional a los beneficios obtenidos por los servicios ambientales de las abejas (polinización), en México y países de Centro y Sudamérica, la apicultura es una actividad económica relevante: La producción apícola en México, con más de 2 millones de colmenas y 45 mil apicultores, es una actividad de gran relevancia tanto económica como ecológica. En los últimos años, el país ha mantenido una producción promedio anual de aproximadamente 57,995 toneladas de miel, ubicándose entre los principales productores a nivel mundial (SADER 2022),

En términos económicos, las exportaciones de miel han generado ingresos significativos. Por ejemplo, en 2021, México exportó miel por un valor de 118.6 millones de dólares, lo que representó un incremento del 81.54% respecto al año anterior. Este crecimiento refleja la creciente demanda internacional y la calidad reconocida de la miel mexicana.

Cabe destacar que aproximadamente el 50% de la producción nacional se destina a la exportación, siendo Alemania, Reino Unido, Arabia Saudita, Estados Unidos y Suiza los principales destinos. El precio promedio internacional de la miel se sitúa en torno a los 1,500 dólares por tonelada, lo que equivale a aproximadamente 15 pesos mexicanos por kilogramo (Legiscomex 2023).

En resumen, la apicultura mexicana no solo contribuye significativamente a la economía nacional mediante la generación de divisas, sino que también desempeña un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la polinización de cultivos, aspectos fundamentales para la seguridad alimentaria y el equilibrio ecológico.

No hay que perder de vista que la producción de cera, jalea real, propóleos y polen también genera ingresos en las comunidades rurales y que no se ven reflejados porque no se reportan como producción sistematizada y menos organizada, adicionalmente, en México y otros países como Guatemala, Argentina, Brasil, y Cuba, la meliponicultura (crianza de abejas sin aguijón) tiene importancia tanto económica como cultural principalmente por el uso medicinal que se le atribuyen a sus mieles con propiedades organolépticas muy distintas a las de *Apis mellifera.*

AMENAZAS ACTUALES

Diversos estudios han identificado múltiples factores que contribuyen al declive de los polinizadores sociales a nivel mundial (Baron et al., 2017; Potts et al., 2010). A continuación, se describen las amenazas más significativas:

Uso de pesticidas. El empleo de neonicotinoides —insecticidas con estructura química similar a la nicotina— y otros productos fitosanitarios afecta gravemente la salud de las abejas, en particular su sistema nervioso. Esto reduce su capacidad de orientación y navegación, y debilita su sistema inmunológico, haciéndolas más susceptibles a enfermedades.

Cambio climático. El aumento de las temperaturas y la alteración de los patrones climáticos afectan la disponibilidad floral y la sincronización entre la floración y la actividad de los polinizadores. Esto disminuye la eficiencia polínica y reduce tanto

la producción agroalimentaria como los productos derivados de la colmena, con repercusiones directas en la producción de alimentos y la biodiversidad en general.

Pérdida de hábitats. La urbanización y la expansión de la agricultura intensiva han reducido considerablemente los hábitats naturales de los polinizadores, disminuyendo su diversidad y abundancia. Este factor es decisivo para su conservación y reproducción. Muchas especies de abejas nativas, como *Melipona beecheii* y otras del género *Melipona*, están en peligro de extinción debido a la pérdida de sitios adecuados de nidificación. Estas especies utilizan cavidades arbóreas (generalmente mayores a 30 centímetros de diámetro a la altura del pecho, DAP) para establecer sus nidos. Sin embargo, la deforestación indiscriminada, impulsada por la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento urbano, está destruyendo sus hábitats naturales.

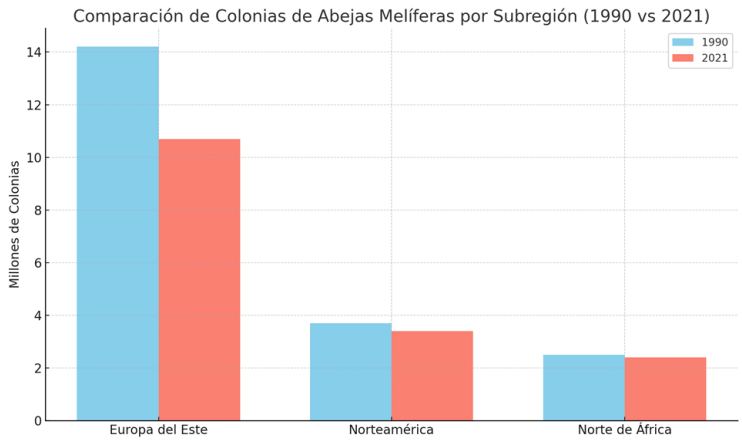
La figura 6 muestra el porcentaje de algunos cultivos alimentarios de México que dependen de la polinización por insectos.

Figura 6.
Contribución de los polinizadores sociales a la producción de cultivos

Cultivo	*Polinización biótica (%)*	*Polinizador principal*
Manzanas	90	Abejas melíferas y silvestres
Almendras	100	Abejas melíferas
Cacao	100	Abejas pequeñas y moscas
Café	20-25	Abejas meliferas y silvestres
Fresas	90	Abejas y abejorros
Aguacate	90	Abejas meliferas y silvestres
Tomate (invernadero)	100	Abejorros
Sandia	60-90	Abejas melíferas
Fuente: IPBES (2016), FAO, USDA		

DECLIVE DE LAS POBLACIONES DE POLINIZADORES

Figura 7.
Comparación de Colonias de Abejas Melíferas por subregión (1990 vs 2021)



Fuente: Potts, et al. (2010).

Ilustra la disminución de las poblaciones de abejas melíferas en diversas regiones del mundo, obsérvese que, en los últimos treinta años, los polinizadores sociales, en este caso reflejado por las poblaciones de las abejas *Apis* están disminuyendo alarmantemente en tres regiones del mundo principalmente en Europa del Este y los Estados Unidos.

ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LOS POLINIZADORES SOCIALES

La conservación de los polinizadores sociales debe constituir una prioridad global para garantizar sistemas alimentarios sostenibles. A continuación, se presentan algunas estrategias clave:

- Promoción de la agroecología y de prácticas agrícolas biodiversas que integren flores silvestres, setos y cultivos rotativos.
- Regulación estricta del uso de pesticidas y fomento de alternativas biológicas seguras.
- Educación y sensibilización pública sobre el papel fundamental de los polinizadores en la seguridad alimentaria y la biodiversidad.
- Apoyo a la apicultura sostenible, especialmente a la cría y manejo de especies nativas.
- Desarrollo de políticas públicas integradas, que incluyan incentivos económicos para agricultores que protejan hábitats de polinizadores.

Entre los cultivos que se benefician directamente de la polinización por estos organismos se encuentran:

- Frutas: manzanas, arándanos, fresas, mangos y cítricos.
- Hortalizas: calabazas, melones, pepinos, tomates y pimientos.
- Frutos secos: almendras y nueces.
- Cultivos industriales: café, cacao, vainilla y algodón, entre otros.

La ausencia de polinizadores sociales puede disminuir significativamente la calidad y cantidad de estas cosechas, afectando directamente la disponibilidad de nutrientes esenciales como vitaminas, antioxidantes y minerales.

APORTACIONES DE LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS POLINIZADORES SOCIALES

Desde el 2007, la B. UNACH decidió invertir en proyectos de investigación destinados a conservar y proteger a los polinizadores sociales de México. Dentro de las acciones realizadas se encuentran: la vinculación con productores, su capacitación y organización, pasando por gestión hasta la investigación científica y aplicada. A continuación, exponemos algunas de las aportaciones más relevantes:

- Levantamiento de un inventario api-faunístico y florístico de la región Soconusco y selva Lacandona de Chiapas (Fierro et al., 2012). En el que se describe la abundancia y riqueza de especies de las abejas sin aguijón (abejas nativas) en la región del Soconusco, Chiapas., Mex., sus preferencias florísticas de nidificación así como la abundancia y riqueza de las mismas.

- Estudio de la comunicación química y áreas de apareamiento de *Tetragonisca angustula* un polinizador nativo generalista (Fierro et al., 2011). *T. angustula* es un polinizador generalista altamente distribuido no solo en todo el sureste mexicano sino en toda Latinoamérica, Se analizaron los volátiles de las reinas de *T. angustula*, y se identificaron sus componentes y estructuras químicas de los compuestos más abundantes, esta mezcla de sustancias se usaron como atrayentes, observándose un fuerte impacto en la atracción de los zánganos y en la formación de las congregaciones para el apareamiento.

- Libro técnico trilingüe (Español-Tsotsil-Chól): "Explotación sustentable de las abejas sin aguijón en la región Selva Lacandona de Chiapas" (Fierro et al., 2014). Este libro pretende ser una guía para el manejo de las abejas nativas para su conservación y explotación comercial, principalmente para los pobladores de los Altos de Chiapas y región Selva Lacandona. Se indica paso a paso el procedimiento a seguir para poder "domesticar" las colonias silvestres de estos meliponinos y trasladarlos a cajas racionales, las cuales permiten la fácil manipulación de las colonias de abejas sin destruir los árboles y sitios de nidificación.

- Libro académico y de consulta general: *Conservación y restauración de los polinizadores sociales de México. Su evolución, comunicación química y reproducción* (Fierro 2022). Libro dirigido a estudiantes y maestros y sobre todo a los amantes de la naturaleza que narra el proceso evolutivo de los meliponinos, sus sistemas de comunicación, que es principalmente por emisiones químicas, y los mecanismos que utilizan para su reproducción. Asimismo, presenta la descripción detallada de las 47 especies de meliponinos identificados para México, de las cuales 34 especies se encuentran en Chiapas.

- Patente ante el IMPI (#MX/a/2014/012828) denominada: "Método y sistema que utiliza una caja reversible Api-Mel para la fecundación de reinas Apis o para la cría de abejas meliponas"

SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL

La seguridad alimentaria no depende únicamente del volumen de alimentos disponibles, sino también de su diversidad y calidad nutricional. Los cultivos dependientes de polinizadores suelen ser fuentes clave de micronutrientes esenciales. Por ejemplo:

- La vitamina A, crucial para la visión y el sistema inmunológico, se encuentra en frutas y verduras polinizadas.

- El calcio y el hierro, fundamentales para la salud ósea y la prevención de la anemia, están presentes en frutos secos y legumbres que también se benefician de la polinización.

Un declive en los polinizadores sociales podría derivar en dietas más pobres, basadas en cereales y almidones, lo que aumentaría el riesgo de malnutrición, especialmente en poblaciones vulnerables (Eilers et al., 2011).

PRINCIPALES POLINIZADORES DE CULTIVOS AGROALIMENTARIOS POR REGIÓN SEGÚN KLEIN ET AL. (2007) Y SSYMANK ET AL. (2008).

1. Norteamérica (Estados Unidos y Canadá)

Especies clave:

- Abeja melífera (*Apis mellifera*): principal polinizador comercial.
- Abejorros (*Bombus spp.*): polinizadores naturales de tomates, moras, arándanos y alfalfa.

Abejas nativas solitarias:

- *Osmia lignaria* (abeja albañil): polinizadora de manzanos, cerezos y perales.
- *Megachile rotundata*: importante para la polinización de alfalfa.
- Otros: moscas sírfidas, mariposas y escarabajos.

Cultivos clave:

- Almendra, manzana, arándano, calabaza, alfalfa, tomate.

2. Europa

Especies clave:

- *Apis mellifera*: ampliamente utilizada en la apicultura.
- Abejorros europeos (*Bombus terrestris, Bombus pascuorum*): esenciales en invernaderos.
- Abejas silvestres (*Andrena spp., Halictus spp.*).
- Polinizadores complementarios: mariposas, sírfidos, escarabajos.

Cultivos clave:

- Manzana, pera, cereza, girasol, frambuesa, colza (canola).

3. Asia

Especies clave:

- Abeja asiática (*Apis cerana*): polinizador social nativo.
- *Apis mellifera*: introducida con fines comerciales.
- Abejas sin aguijón (*Trigona spp.*).
- Abejorros asiáticos (*Bombus spp.*).
- Abejas carpinteras (*Xylocopa spp.*), mariposas y murciélagos.

Cultivos clave:

- Té, mango, lichi, manzana, verduras, tomate, pepino.

4. América Latina

Especies clave:

- *Apis mellifera*: polinizador generalista.
- Abejas sin aguijón (*Melipona, Trigona, Scaptotrigona).*
- Abejorros (*Bombus atratus, Bombus ephippiatus*).
- Abejas solitarias (*Centris, Euglossa, Xylocopa*).

Cultivos clave:
- Café, cacao, mango, maracuyá, guayaba, aguacate, papaya, chile, tomate, frijol.

DISCUSIÓN

Las abejas son los principales agentes polinizadores de las plantas con flores, incluso de aquellas que pueden autopolinizarse, ya que la intervención de estos insectos mejora su producción (Manrique & Thimann, 2002). Aunque es difícil cuantificar los beneficios ecológicos, los servicios de polinización se valoran en aproximadamente 40 mil millones de dólares anuales (Biesmeijer et al., 2006).

En el Neotrópico, las abejas sin aguijón son los polinizadores más importantes, al estar adaptadas a los bosques tropicales húmedos (Schwarz, 1949; Moure, 1951). Se estima que la mitad de las más de mil especies de plantas cultivadas en los trópicos dependen de la polinización por abejas, y muchas están especialmente adaptadas a las abejas sin aguijón (Roubik, 1995).

La utilización comercial de estas abejas ha sido escasa, aunque presentan ventajas respecto a *Apis mellifera*: ausencia de aguijón, diversidad de especies y tamaños, y adaptabilidad a cultivos protegidos (Slaa et al., 2000; Macías et al., 2001). Diversos países han iniciado usos experimentales exitosos de estas especies en cultivos de fresa, macadamia y cucurbitáceas (Quezada-Euán, 2005). En Yucatán, por ejemplo, se utilizan *Melipona beecheii, Trigona nigra* y *Nannotrigona perilampoides* como alternativa a los costosos abejorros importados. La selección del polinizador adecuado depende de los requerimientos específicos del cultivo.

Avances científicos en la polinización de cultivos para la Seguridad Alimentaria

A pesar de su importancia, se ha investigado poco sobre el uso eficiente de polinizadores sociales en la agricultura tropical (Roubik, 1995; Sing, 1989; Simão & Maranhão, 1959). Sin embargo, se han desarrollado técnicas con feromonas sintéticas (por ejemplo, de la glándula de Nasanov o mandibular de la reina) que aumentan las visitas de *A. mellifera* y mejoran la producción en diversos cultivos (Pardo & Nates-Parra, 1994; Ellis & Delaplane, 2009; Currie et al., 1992a, 1992b). También se han sintetizado feromonas de meliponinos para dirigir la polinización en áreas específicas (Fierro et al., 2011).

Técnicas de manejo con fines de polinización

El uso de invernaderos para la producción hortícola se ha incrementado. Muchos cultivos requieren polinización para una producción adecuada (Quezada-Euán, 2005). Aunque los abejorros son comúnmente empleados (Velthuis & Van Doorn, 2006; Bohart, 1972), el uso de abejas sin aguijón es una alternativa viable por su fácil manejo, bajo costo y adaptabilidad en climas tropicales.

CONCLUSIONES

Las abejas son agentes clave en la producción de alimentos. La polinización que realizan las abejas es fundamental para más del 75% de los cultivos alimentarios a nivel mundial. Este servicio ecosistémico incrementa el rendimiento, la calidad y la diversidad de los alimentos disponibles, fortaleciendo directamente la disponibilidad alimentaria. Contribuyen a la calidad nutricional de la dieta humana a través de los cultivos polinizados por abejas (frutas, hortalizas, semillas oleaginosas y frutos secos), ricos en micronutrientes esenciales como vitaminas, antioxidantes y minerales. Sin la acción de estos polinizadores, la dieta humana se volvería menos variada y menos nutritiva, lo que aumentaría el riesgo de desnutrición y enfermedades crónicas. Son insectos fundamentales para la estabilidad y resiliencia de los sistemas agroalimentarios. La diversidad de cultivos promovida por la polinización contribuye a sistemas agrícolas más resilientes al cambio climático, a plagas y enfermedades. Esta diversidad fortalece la seguridad alimentaria al reducir la dependencia de monocultivos vulnerables. El declive de las abejas representa una amenaza directa para la seguridad alimentaria global. Factores como el uso intensivo de plaguicidas, la pérdida de hábitats naturales, el cambio climático y las enfermedades están provocando una disminución alarmante de las poblaciones de abejas. Esta situación compromete el acceso, la disponibilidad y la estabilidad de alimentos esenciales para millones de personas. La protección de las abejas es una estrategia clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sustentable. La conservación de los polinizadores es indispensable para garantizar sistemas alimentarios sostenibles, mejorar los medios de vida rurales y erradicar el hambre. Políticas públicas, prácticas agrícolas sostenibles y marcos normativos deben integrar urgentemente la protección de estos insectos pues hasta el día de hoy no hay tecnología que pueda sustituir eficientemente los servicios ambientales de éstos polinizadores sociales.

REFERENCIAS

Baron, G. L., Jansen, V. A. A., Brown, M. J. F. & Raine, N. E. (2017). Pesticide reduces bumblebee colony initiation and increases probability of population extinction. Nat*ure Ecology & Evolution,* 1(9), 1308–1316. DOI: 10.1038/s41559-017-0260-1

Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., ... & Kunin, W. E. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785), 351–354. https://doi.org/10.1126/science.1127863

Bohart, G. E. (1972). Management of wild bees for the pollination of crops. *Annual Review of Entomology*, 17, 287–312.

Calderoni, S. (2012). *La importancia de los polinizadores en la agricultura*. SAGARPA.

Crane, E. (1999). The world history of beekeeping and honey hunting. *Routledge*.

Currie, R. W., Winston, M. L., & Slessor, K. N. (1992a). Effect of synthetic queen mandibular gland pheromone sprays on honey bee behavior and berry production in cranberries. *Journal of Economic Entomology,* 85(4), 1300–1306.

Currie, R. W., Winston, M. L., & Slessor, K. N. (1992b). Effect of synthetic queen mandibular gland pheromone on pollination efficiency and fruit quality in apples. *Canadian Entomologist,* 124(6), 935–943.

Eilers, E. J., Kremen, C., Greenleaf, S. S., Garber, A. K., & Klein, A. M. (2011). Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS One*, 6(6), e21363.

Ellis, J. D., & Delaplane, K. S. (2009). Effects of queen mandibular pheromone and brood pheromone on foraging activity of honey bees in a pollination context. *Journal of Apicultural Research*, 48(2), 107–112.

Estrategia Aduanera. (2022, julio 1). *México es el noveno productor de miel a nivel mundial.* https://www.estrategiaaduanera.mx/mexico-es-el-noveno-productor-de-miel-a-nivel-mundial/

Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA], Organización Mundial de la Salud [OMS], Programa Mundial de Alimentos [PMA], & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2023). *Informe anual sobre seguridad alimentaria*.

Fierro, MM. (2022). *Conservación y restauración de los polinizadores sociales de México /Apidae:Meliponi). Su evolución, comunicación química y reproducción*. Universidad Autónoma de Chiapas. 200 pp. ISBN: 978-607-561-121-1

Fierro, MM., Canseco. AM., Marroquín. AF. (2014). *Explotación sustentable de las abejas sin aguijón en la región Selva Lacandona de Chiapas.* Dirección General de Investigación y Posgrado. Unidad de Divulgación Científica. 101 pp. ISBN: 978-607-8363-43-8

Fierro, M.M., Crúz López, L., Sánchez Guille, D., Villanueva Gutierrez, R., Remy Vandame (2011) Queen volatiles as a modulator of Tetragonisca angustula drone behavior. *J. Chem. Ecol.* 37: 1255-1262.

Fierro, M.M., Cruz-López, L., Sánchez, D., Villanueva-Gutiérrez, R., Vandame, R. (2012). Effect of biotic factors on the spatial distribution of stingless bees (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) in fragmented neotropical habitats. *J. Neotrop. Entomol*. 41:91-104.

Fierro, M. M., Quezada-Euán, J. J. G., & Roubik, D. W. (2011). Field applications of stingless bee pheromones to enhance crop pollination. *Apidologie*, 42(6), 747–756.

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274(1608), 303–313.

Legiscomex. (2023). *El futuro de las exportaciones de miel en México.* https://www.legiscomex.com/Documentos/futuro-exportaciones-miel-mexico-virginia-perez-actualizacion.

Macías, M. C., Quezada-Euán, J. J. G., & Medina, L. M. (2001). Use of stingless bees for pollination in greenhouses. *Bee World*, 82(2), 60–70.

Manrique, A. J., & Thimann, K. V. (2002). Pollination biology in coffee (Coffea arabica). *Agronomía Colombiana*, 20(1), 99–110.

Moure, J. S. (1951). A preliminary survey of the stingless bees of Brazil. *Arquivos do Museu Paranaense*, 7, 261–298.

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2008). *An introduction to the basic concepts of food security.* http://www.fao.org

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). *The assessment report on pollinators, pollination and food production*. FAO/IPBES.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019a). *State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019b). *The importance of bees and other pollinators for food and agriculture.*

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. http://www.fao.org

Pardo, M., & Nates-Parra, G. (1994). Atracción de abejas a cultivos por uso de feromonas. *Acta Biológica Colombiana,* 1(1), 55–63.

Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2016). *Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production.* Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.

Quezada-Euán, J. J. G. (2005). La apicultura con abejas sin aguijón: Una alternativa agroecológica para el trópico. *Mundi-Prensa.*

Ramírez, G., & Reyes, A. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de polinización en México. *Revista Mexicana de Agroecología*, 9(1), 23–40.

Roubik, D. W. (1995). Pollination of cultivated plants in the tropics. *FAO Agricultural Services Bulletin* No. 118.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s.f.). *Atlas nacional de las abejas y derivados apícolas: Capítulo 3 - Producción nacional de mie*l. abejas.agricultura.gob.mx/cap3.html

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2022). *Informe sobre polinizadores y su valor económico en México.*

Simão, S., & Maranhão, P. (1959). Estudo sobre a polinização em algumas plantas frutíferas. *Revista Brasileira de Biologia*, 19, 127–134.

Sing, R. (1989). Pollinators of tropical crops. *Tropical Agriculture Journal*, 66(3), 245–251.

Schwarz, H. F. (1949). Stingless bees (Meliponidae) of the Western Hemisphere. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 103(1), 1–104.

Slaa, E. J., Sánchez Chaves, L. A., Malagodi-Braga, K. S., & Hofstede, F. E. (2000). Stingless bees in applied pollination: Practice and perspectives. *Apidologie*, 31(2), 293–315.

Staatz, J. M., Dioné, J., & Dembele, N. N. (1990). *Cereals trade and food security in West Africa: Issues and policy options.* International Food Policy Research Institute.

Ssymank, A., Kearns, C. A., Pape, T., & Thompson, F. C. (2008). Pollinating flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity*, 9(1–2), 86–89.

Velthuis, H. H. W., & Van Doorn, A. (2006). A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie*, 37(4), 421–451.









CAPÍTULO VII

APICULTURA SOSTENIBLE EN COMUNIDADES DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA EL TRIUNFO, CHIAPAS, MÉXICO

Claudia Hernández Escobar y Antonio Mariano Borja Texocotitla[1]

INTRODUCCIÓN

La apicultura representa una actividad económica y productiva de relevancia en México. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2022), el país registró un total de 2.2 millones de colmenas, con una producción anual de 64,317 toneladas de miel. Particularmente, el estado de Chiapas reportó una producción de 5,683 toneladas de miel, lo que destaca su importancia dentro del sector apícola nacional.

Este documento muestra los resultados del proyecto Pago por servicios ambientales de la Comisión Nacional Forestal, implementado en la Comunidad San Antonio y Ejido Buenos Aires, municipio de Pijijiapan, Chiapas. A través del desarrollo de este capítulo podremos conocer los impactos en la sociedad, medio ambiente, economía y seguridad alimentaria, además de las estrategias y recomendaciones para tener mayores impactos y mejorar la calidad de vida de los productores.

Es importante destacar que, aunque los proyectos se llevan cabo fuera de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI), se han cuidado aspectos ambientales para no poner en riesgo las especies de flora y fauna y se busca fortalecer la cadena de valor mediante capacitación, acompañamiento técnico y la creación de redes de comercialización. Además, la integración de principios de sostenibilidad, como la protección de recursos naturales, diversificación de

1 Proyección y Desarrollo Forestal y Ambiental S.A. de C.V.

productos y buenas prácticas apícolas son fundamentales para garantizar la continuidad y el éxito a largo plazo.

También es muy relevante la observación de la necesidad de acompañamiento técnico constante para asegurar el crecimiento y éxito de estos proyectos. El intercambio de experiencias, la difusión de eventos y la colaboración con otros productores y profesionales, son estrategias clave para fortalecer la actividad y mejorar la calidad de vida de los productores.

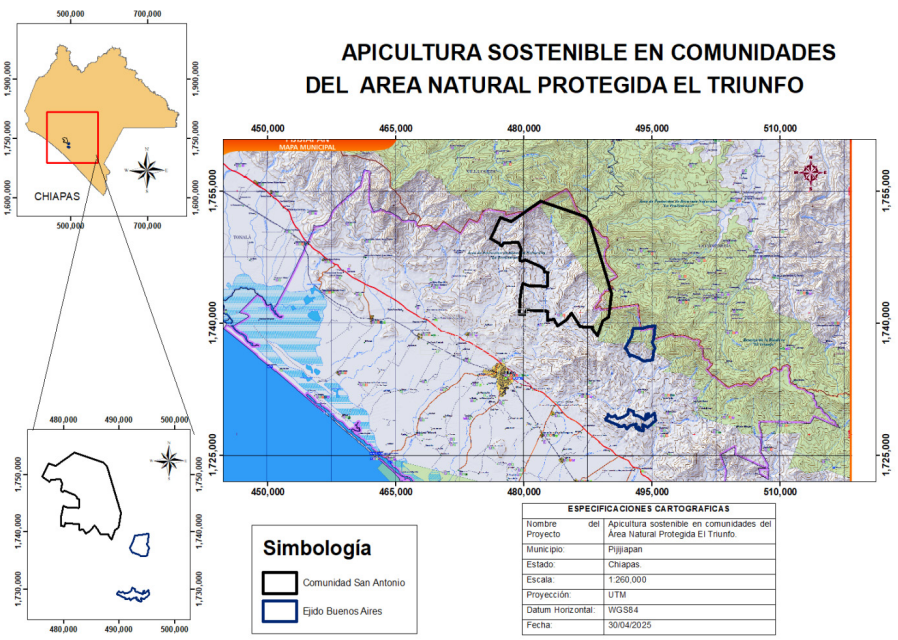
ESTADO DE ARTE

Ubicación del área de estudio

La comunidad San Antonio se localiza en el municipio de Pijijiapan, en la parte Sur del Estado de Chiapas. A la comunidad se llega, partiendo de Tuxtla Gutiérrez, tomando la Carretera Federal No. 200 que se dirige a la ciudad de Arriaga, de ahí continuando por la misma carretera se dirige a Pijijiapan.

El Ejido Buenos Aires, municipio de Pijijiapan, Chiapas, se ubica a 42 km al Norte del poblado de Pijijiapan, de las cuales 35 km se recorren por camino pavimentado y 7 km de terracería, se encuentra sobre las siguientes coordenadas geográficas: Latitud N 15°38'13.57", Longitud W 93°4'20.82"; colinda al Norte con la comunidad Unión Pijijiapan; al Sur con la comunidad El Paraíso, al Este con el Ejido Emiliano Zapata y al Oeste con la comunidad La Nueva Flor Puente Río Coapa. La Figura 1 muestra la ubicación de las comunidades en la carta topográfica del municipio, editada por el Gobierno del Estado.

Figura 1.
Ubicación del área de estudio.



Fuente: elaboración propia

Influencia de la apicultura en un Área Natural Protegida

Existen diversas posturas respecto al impacto que la apicultura puede generar dentro de un Área Natural Protegida (ANP). No obstante, en este caso, las colmenas fueron estratégicamente ubicadas fuera de los límites del ANP, considerando las condiciones ambientales adecuadas para su implementación, con el objetivo de minimizar posibles efectos negativos sobre los ecosistemas protegidos.

La comunidad de San Antonio abarca una superficie total de 11,948 hectáreas. De esta extensión, 3,214.84 hectáreas se encuentran dentro de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, mientras que 1,915 hectáreas son beneficiadas por el Programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), lo que refleja un compromiso activo con la conservación y el manejo sustentable del territorio.

Por otro lado, el ejido Buenos Aires cuenta con una superficie total de 1,466 hectáreas, de las cuales 1,194 hectáreas presentan cobertura forestal. Dentro de esta área, 52.50 hectáreas se localizan en la zona núcleo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo y 535.21 hectáreas han sido beneficiadas por el PSA. Los valores paisajísticos de Buenos Aires destacan su alto potencial para el desarrollo de diversas actividades productivas y de conservación, gracias a la riqueza y composición de sus ecosistemas, que incluyen bosque mesófilo de montaña, selva mediana y distintos cuerpos de agua superficiales.

Aunque las áreas utilizadas para la implementación de los proyectos productivos, como la apicultura, se encuentran fuera de la poligonal del ANP El Triunfo, su ejecución se llevó a cabo cuidando rigurosamente los aspectos ambientales, a fin de no poner en riesgo a las especies de flora y fauna silvestre.

Con el propósito de incrementar el impacto y valor agregado de los productos generados por la apicultura, se busca establecer un acercamiento con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). El objetivo es obtener asesoría técnica y participar en la iniciativa de productos con el sello *El Triunfo*, distintivo que avala el cumplimiento de criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica. Este sello promueve el uso responsable de los recursos naturales y respalda el bienestar y desarrollo de las comunidades locales vinculadas al ANP.

Implementación del Programa de Pagos por Servicios Ambientales en Comunidades Forestales

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) establece lineamientos que deben seguir los beneficiarios del Programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), los cuales deben reinvertir al menos el 50% del monto recibido en actividades de conservación y producción sostenible. En este contexto, las comunidades de Buenos Aires y San Antonio desarrollaron proyectos productivos enfocados en la apicultura, con el acompañamiento técnico de Proyección y Desarrollo Forestal S.A. de C.V.

Fases del Proyecto

1. Diagnóstico Participativo y Elaboración de la Guía de Mejores Prácticas de Manejo (GMPM):

- Talleres con productores y asesores para análisis FODA.
- Recorridos de campo para identificar sitios adecuados.
- Validación comunitaria mediante asambleas.
- Aprobación final por parte de CONAFOR.

2. Implementación de Proyectos Apícolas:
- *Ejido Buenos Aires*: adquisición de 75 colmenas, alimentadores y equipo de manejo (guantes, velos, ahumadores, espátulas).
- *Comunidad San Antonio*: adquisición de 150 colmenas con equipo completo.

3. Capacitación Teórico-Práctica:
- En San Antonio, la capacitación fue proporcionada por Promotores del Autodesarrollo Sustentable de Chiapas SC de RL de CV (PROASUS).
- En Buenos Aires, por la Sociedad Cooperativa de Productores Apícolas de la Sierra de Motozintla.

4. Acompañamiento técnico:
- Visitas de seguimiento por parte del asesor técnico.
- Verificación de la implementación.
- Elaboración de informes periódicos para CONAFOR.

5. Evaluación por CONAFOR:
- Revisión de informes y visitas de campo.
- Entrevistas a productores.
- Caso de éxito destacado en el sitio oficial de la institución Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2018), con el tema de Apicultura, un sistema sostenible.

6. Participación en Eventos de comercialización:
- Feria Ambiental 2021.
- Expo Forestal Guadalajara 2018.
- Eventos en Casa Kolping 2018.

Objetivo: venta de productos y establecimiento de alianzas comerciales

IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE APICULTURA

La comunidad de San Antonio fortaleció su iniciativa apícola mediante la adquisición de 175 colmenas completas. Como parte del equipamiento necesario, se compraron alimentadores de madera y herramientas para el manejo adecuado de las colmenas, incluyendo guantes, velos y ahumadores. Además, los beneficiarios recibieron capacitaciones especializadas y acompañamiento técnico durante el proceso de implementación del

proyecto, lo que garantizó una puesta en marcha adecuada y responsable. En la Figura 2 se presenta el trabajo realizado en la Comunidad San Antonio, Pijijiapan, Chiapas.

Figura 2.
Apicultura en la Comunidad San Antonio, Pijijiapan, Chiapas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.
Apicultura en el ejido Buenos Aires, Pijijiapan, Chiapas.



Fuente: elaboración propia.

La comunidad de Buenos Aires fortaleció su capacidad productiva mediante la adquisición de 75 colmenas completas, así como alimentadores de madera y equipos de manejo como guantes, velos y ahumadores. Además, los participantes del proyecto recibieron capacitación especializada y asesoría técnica para el manejo adecuado de las colmenas, con el objetivo de asegurar una operación eficiente y sostenible. Paralelamente, se llevaron a cabo actividades orientadas a la conservación y protección de los recursos forestales de la comunidad. En la Figura 3 se muestra el trabajo realizado en el marco de estas acciones.

Proceso de planeación, capacitación y asesoría técnica

La planeación, diseño de contenidos y herramientas empleadas en los cursos, talleres y asesorías se estructuraron a través de un enfoque de *diálogo de saberes*, en el que se estableció una relación equitativa entre los conocimientos científicos y los saberes tradicionales de los productores locales.

Como primer paso, se llevó a cabo un diagnóstico participativo para identificar los conocimientos previos que poseían los productores de Pijijiapan sobre el manejo de abejas, así como sus principales necesidades formativas. Este diagnóstico se realizó mediante talleres participativos y encuestas, lo cual permitió orientar adecuadamente las acciones de capacitación.

Las temáticas abordadas en los talleres incluyeron: la importancia de las abejas, tipos de abejas, manejo técnico, uso de equipos, normas de seguridad, instalación de apiarios, así como identificación y control de plagas y enfermedades comunes.

Posteriormente, se brindó asesoría técnica en campo, con énfasis en el manejo directo de colmenas, técnicas de división y extracción de miel. En la Figura 4, se documenta parte del proceso de capacitación recibido por los participantes.

Figura 4.
Curso-talleres apicultura.



Fuente: elaboración propia.

APICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

En la agricultura, las abejas desempeñan un papel crucial al asegurar la producción de una amplia variedad de cultivos frutales, cítricos y hortícolas. Entre ellos se encuentran el aguacate, mango, limón, naranja, mandarina, así como cucurbitáceas como la calabaza, melón de Castilla, sandía y pepino. También son fundamentales en el cultivo de productos como fresa, manzana, durazno, cereza, cebolla, tomate, pimiento, berenjena, frijoles, pera, kiwi, alfalfa, trébol, girasol, algodón, cártamo, soya, especies de palma, ciruelos y cerezos, entre muchos otros (Demedio et al. 2011).

La apicultura, en este sentido, es una actividad estratégica para la agricultura, ya que aproximadamente el 70% de los alimentos que consumimos dependen directa o indirectamente de la polinización. Sin embargo, existen múltiples amenazas que afectan a las abejas y ponen en riesgo su permanencia, como el uso indiscriminado de agroquímicos, el cambio climático y la introducción de especies invasoras.

La seguridad alimentaria, entendida como el acceso físico, social y económico de todas las personas, en todo momento, a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades y preferencias alimenticias, es un concepto directamente vinculado a la función polinizadora de las abejas (Verde, 2014). Muchas veces no se visualiza el papel de las abejas como un componente clave en la producción de alimentos; sin embargo, su declive compromete seriamente la disponibilidad y calidad de diversos cultivos agrícolas.

En el trabajo realizado con las comunidades de San Antonio y Buenos Aires, se identificó, junto con los productores, que ambas cuentan con condiciones ambientales propicias para el desarrollo de actividades apícolas. Esta actividad no solo representa una estrategia para la conservación del ambiente, sino también una vía para generar ingresos económicos y crear empleos a nivel local.

Verde (2014), señala que el vínculo entre apicultura y seguridad alimentaria debe abordarse como un elemento biológico indispensable, ya que mediante la polinización se asegura la calidad y el rendimiento de los cultivos entomófilos. Además, la apicultura contribuye a mantener la biodiversidad, el equilibrio hídrico y, en consecuencia, los procesos ecológicos que garantizan la producción de alimentos.

San Antonio y Buenos Aires poseen una notable diversidad de recursos naturales que pueden ser aprovechados de forma sustentable para producir alimentos sanos e inocuos. Además de abastecer a sus propias familias, pueden contribuir al suministro alimentario de otras comunidades. Por ello, se trabajó con ambas comunidades mediante capacitaciones teóricas y prácticas, para fortalecer el conocimiento sobre la importancia de las abejas en la polinización y su rol en la seguridad alimentaria.

La polinización es un proceso vital para la biodiversidad y la supervivencia de los ecosistemas. Se estima que el 90% de las plantas con flores, el 75% de los cultivos alimentarios y el 35% de las tierras agrícolas del mundo dependen de este proceso para su reproducción (SIAP, 2022). Las abejas, al facilitar la polinización, no solo nos ayudan a producir alimentos, sino que también promueven la regeneración de plantas y cultivos, mantienen el equilibrio ecológico y previenen riesgos

ambientales. Por ello, trabajar con ellas de forma responsable y consciente es una forma efectiva de contribuir a la conservación del medio ambiente.

CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La agricultura intensiva tiene un impacto considerable sobre la biodiversidad, particularmente en la flora apícola, que juega un rol esencial en la actividad apícola. La *flora melífera*, también conocida como flora apícola o apibotánica, comprende el conjunto de especies vegetales que producen o segregan sustancias que las abejas recolectan para su beneficio. Estas sustancias incluyen néctar, polen, propóleos y mielada. Dichas especies vegetales se desarrollan en territorios con condiciones climáticas y geográficas similares, las cuales son ideales para la actividad apícola (Díaz, 2003).

La flora apícola tiene una gran relevancia económica para la apicultura, ya que no todas las especies vegetales son igualmente útiles para las abejas. Conocer las especies de flora que las abejas prefieren es fundamental para un manejo eficiente del apiario, pues influye directamente en la alimentación de las abejas, la producción de miel y otros productos derivados de la colmena (Fernández, 2018).

La interacción entre la flora, las abejas y la intervención del apicultor establece una verdadera cadena de intereses. La flora apícola ofrece los recursos que las abejas necesitan para su alimentación y producción de productos secundarios, como la miel y el polen, que a su vez son aprovechados por el apicultor para su beneficio. Este enfoque, descrito por Silva y Restrepo (2012), subraya la importancia de entender y gestionar estos recursos naturales de manera sostenible.

En las comunidades de Pijijiapan, la riqueza de especies vegetales que producen néctar y polen es crucial para el desarrollo de la apicultura. Estas especies, conocidas como especies melíferas, juegan un papel fundamental en la alimentación de las abejas y en la producción de miel y otros productos apícolas. De acuerdo a Villegas et al. (2000), las especies melíferas que podemos utilizar acorde a las características de Pijijiapan son:

1. Acacia (*Acacia spp*.)

Importancia: Las acacias son una fuente valiosa de néctar y polen para las abejas. En la región de Pijijiapan, las acacias florecen durante la temporada de lluvias, ofreciendo un recurso constante para las colmenas.

Beneficio para las abejas: Su néctar es particularmente apreciado por las abejas, ya que proporciona una alta concentración de azúcares, esencial para la producción de miel.

2. Café (*Coffea spp*.)

Importancia: El café, aunque no es una planta melífera en su totalidad, sus flores atraen a una gran cantidad de polinizadores, incluidas las abejas.

Beneficio para las abejas: Las flores del cafeto ofrecen néctar y polen durante su floración, lo que favorece la actividad de las abejas. Además, la polinización del café mejora el rendimiento de los cultivos de esta planta.

3. Mango (*Mangifera indica*)

Importancia: El mango es una especie frutal tropical ampliamente cultivada en Pijijiapan. Su floración atrae a una variedad de polinizadores, especialmente abejas.

Beneficio para las abejas: Durante la temporada de floración del mango, las abejas se benefician de su néctar, que es una excelente fuente de energía para la colonia.

4. Guayaba (*Psidium guajava)*

Importancia: La guayaba es otra planta melífera importante en Pijijiapan. Sus flores son ricas en néctar y polen, lo que las convierte en una fuente atractiva para las abejas.

Beneficio para las abejas: Las flores de guayaba ofrecen un alto contenido de néctar que favorece la producción de miel. Además, la guayaba contribuye a la biodiversidad en los apiarios, proporcionando una fuente constante de recursos para las abejas.

5. Cilantro (*Coriandrum sativum)*

Importancia: Aunque el cilantro se cultiva principalmente por sus hojas, sus flores también son muy apreciadas por las abejas.

Beneficio para las abejas: Las flores del cilantro son pequeñas pero ricas en néctar, lo que proporciona una fuente adicional de alimento para las abejas durante su floración.

6. Flor de calabaza *(Cucurbita pepo)*

Importancia: Las calabazas y otras cucurbitáceas son esenciales en la dieta de las abejas, especialmente durante las estaciones más cálidas.

Beneficio para las abejas: Las flores de calabaza, ricas en néctar, son un recurso atractivo para las abejas, contribuyendo a la producción de miel y otros productos apícolas.

Consideraciones para la ubicación de los apiarios

Al seleccionar los sitios para la instalación de los apiarios en Pijijiapan, se consideraron varios factores esenciales, entre ellos la disponibilidad de flora melífera durante todo el año. Las especies mencionadas no solo proveen alimentos para las abejas, sino que también juegan un papel importante en la biodiversidad local, apoyando el equilibrio ecológico y favoreciendo la conservación de los ecosistemas circundantes.

La diversidad de plantas melíferas en la región de Pijijiapan proporciona un flujo constante de recursos para las abejas, lo que es esencial para la producción constante de miel y la salud general de las colonias.

De acuerdo al Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2019), debemos considerar que las colmenas se movilizan intensamente para aprovechar las distintas floraciones, por tal razón el apicultor debe de acumular experiencia y conocimientos fenológicos de las especies florales, climatológicos y varios más que le permitan elegir e instalar sus apiarios en una buena zona que le garantice cosecha o sostenimiento de sus colmenas según el objetivo del programa de trabajo.

Por esta razón, la elección de la ubicación de los apiarios en áreas cercanas a estas especies como cafetales, huertos de mango, cultivos de guayaba y áreas con plantas melíferas nativas, es clave para el éxito del proyecto apícola.

APICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático ha alterado los ciclos climáticos tradicionales, provocando temperaturas inusuales, precipitaciones intensas o sequías prolongadas en diferentes épocas del año y en diversas regiones. Este fenómeno tiene un impacto directo en los ecosistemas, afectando los ciclos de las plantas y, particularmente, el período de floración. Esta alteración repercute directamente en la actividad de las abejas y, por ende, en el declive de las poblaciones apícolas (Krupke et al. 2012). Frente a estos desafíos, se han implementado una serie de acciones de mitigación en las comunidades para minimizar los efectos negativos del cambio climático, priorizando la conservación ambiental.

1. Evitar el cambio de uso de suelo:

Desde el inicio del Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA), los comuneros de Pijijiapan decidieron, en Asamblea, no permitir cambios de uso de suelo en las áreas beneficiadas. Esta decisión se ha mantenido hasta el 2025, tanto en las zonas de PSA como en la superficie comunal en general. Gracias a las medidas de prevención acordadas por la comunidad, los terrenos cuentan con la cobertura forestal acordada, sin que haya habido cambios significativos en su uso. Esta acción ha sido crucial para la conservación de los ecosistemas locales, evitando la deforestación y el uso intensivo del suelo para actividades agrícolas o urbanas.

2. Conservar y mantener la cobertura forestal y evitar la degradación:

Uno de los aspectos clave del proyecto ha sido mantener la cobertura forestal en las áreas beneficiadas por el PSA. Gracias a los esfuerzos comunitarios, la cobertura arbórea se mantiene intacta, sin perturbaciones significativas derivadas de causas naturales, como los huracanes, ni de actividades humanas, como la deforestación o la minería. Este esfuerzo de conservación es vital para garantizar la protección de la biodiversidad local y la estabilidad de los ecosistemas, que son esenciales para la supervivencia de las abejas y otros polinizadores.

3. Vigilancia y monitoreo constante:

Las brigadas de vigilancia desempeñan un papel fundamental en la protección de los recursos naturales de las comunidades. Su función principal es realizar recorridos constantes para prevenir la tala clandestina, la caza ilegal, la extracción de flora y fauna silvestre, así como para detectar incendios y brotes de plagas o enfermedades que puedan afectar a los ecosistemas.

Cada comunidad cuenta con una brigada, integrada por 10 personas, encargada de dar cumplimiento a las medidas de vigilancia forestal. Estas brigadas están en

funcionamiento activo y han tenido un impacto positivo al evitar el saqueo de flora y fauna, así como la caza furtiva y la extracción ilegal de madera. Gracias a su trabajo constante, se ha logrado preservar los recursos naturales de la región, evitando que se vean comprometidos por actividades ilegales o por el cambio climático.

Estas acciones son un ejemplo de cómo las comunidades están trabajando para mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la sostenibilidad de sus recursos naturales. Además, contribuyen a la preservación de la biodiversidad y a la protección de las abejas, elementos clave para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria a largo plazo.

APICULTURA SOSTENIBLE

La sostenibilidad se ha convertido en un principio clave dentro de las políticas y estrategias de desarrollo económico y social que buscan asegurar un crecimiento continuo sin dañar el medio ambiente ni los recursos naturales. Según Guerrero et al. (2016), la sostenibilidad no debe comprometer la calidad de los recursos naturales, que son esenciales para la continuidad de las actividades humanas. Este concepto de sostenibilidad fue definido durante las décadas de los años 80 como el equilibrio entre el crecimiento poblacional y la utilización responsable de los recursos naturales.

Wehbe y Tonolli (2015) amplían esta definición al identificar tres nociones de sostenibilidad:

- Biofísica para un recurso natural determinado: Este enfoque se centra en la capacidad de un recurso específico, como el agua o los suelos, para mantenerse disponible a lo largo del tiempo.
- Percepción del medio biofísico utilizado para un grupo de recursos o un ecosistema: Aquí, la sostenibilidad se ve desde una perspectiva más amplia, observando cómo los diferentes recursos interactúan dentro de un ecosistema.
- Concepción biofísica, económica y social: Esta definición aboga por mantener el crecimiento económico de manera indefinida sin comprometer la conservación de los recursos naturales y promoviendo la equidad social. Es un enfoque holístico que integra aspectos ecológicos, económicos y sociales, convirtiendo la sostenibilidad en un "meta concepto".

En el caso de la apicultura sostenible, el concepto se basa en una relación simbiótica entre las actividades apícolas y la agricultura. Según Castro, et al. (2024), la apicultura sostenible implica desarrollar una agricultura que no solo sea beneficiosa para la comunidad, sino que también ayude a mejorar la nutrición y sanidad de las abejas. Esto, a su vez, puede incrementar la productividad de las colmenas, lo que genera mayores ingresos para los productores. Así, la apicultura sostenible no solo promueve la sostenibilidad económica de las comunidades, sino también la sostenibilidad social y ambiental al fortalecer la relación entre la actividad agrícola y la salud de los ecosistemas.

Sostenibilidad en las comunidades de Pijijiapan y Buenos Aires

En las comunidades estudiadas de Pijijiapan, el enfoque hacia la apicultura sostenible está alineado con los principios de sostenibilidad identificados anteriormente. Los proyectos apícolas implementados buscan asegurar un crecimiento económico sostenible, donde la producción de miel y otros productos apícolas no solo depende de la salud de las colmenas, sino también de la preservación de los recursos naturales, como la cobertura forestal, que es vital para la supervivencia de las abejas.

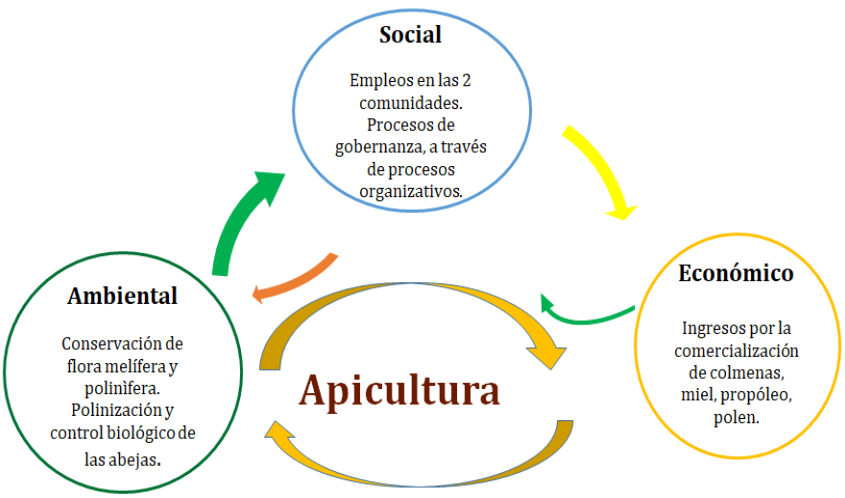
Las actividades apícolas se desarrollan en armonía con la agricultura local y las prácticas de conservación, creando un ciclo de retroalimentación positiva donde las abejas mejoran la productividad de los cultivos agrícolas y los cultivos ofrecen los recursos necesarios para la subsistencia de las abejas. De esta manera, se promueve un desarrollo económico sin comprometer la biodiversidad, conservación de recursos naturales y la equidad social.

Este enfoque de sostenibilidad es fundamental en la creación de una apicultura responsable que beneficie tanto a las abejas como a las comunidades humanas que dependen de ellas. En la Figura 5, se ilustran los principios de sostenibilidad adoptados por las comunidades para implementar prácticas apícolas que beneficien tanto al ambiente como a la economía local.

Otro modelo que también se presenta es la bioeconomía apícola; Torres et al.2022, lo definen como un modelo económico basado en la biodiversidad, el cual representa una alternativa para alcanzar una armonía entre naturaleza y ser humano, ya que genera bio-beneficios extra a los a los productores a través de la venta de subproductos como miel y cera.

Es decir que los ingresos que obtienen los productores en la producción de miel los ayudan a complementar gastos en educación o enfermedades.

Figura 5.
Ejes de la apicultura sostenible



Fuente: elaboración propia.

Estrategias para la Sostenibilidad en la Producción Apícola y Conservación del Medio Ambiente

1. Manejo sostenible de los recursos naturales

Conservación de la *flora melífera*: Identificar y promover especies vegetales que favorezcan la polinización y la producción de miel, polen y propóleos. Esta estrategia debe enfocarse en la conservación de áreas de vegetación nativa que son esenciales para las abejas y que, a su vez, ayudan a conservar la biodiversidad.

Rotación y diversificación de cultivos: Fomentar la diversificación de cultivos que no solo beneficien a las abejas (por ejemplo, cultivos de frutas, hortalizas y legumbres), sino que también reduzcan la presión sobre el medio ambiente. El uso de técnicas agrícolas que respeten el ciclo natural de las plantas y mantengan la salud del suelo es fundamental.

2. Manejo adecuado de los apiarios

Ubicación estratégica de los apiarios: Elegir sitios con acceso a recursos como agua limpia, flora melífera abundante y la mínima intervención humana, lo que también reduce la contaminación y el impacto de actividades industriales en las abejas.

Prácticas de manejo orgánico: Evitar el uso de productos químicos, pesticidas o fertilizantes que puedan afectar a las abejas. Implementar prácticas de apicultura orgánica para mejorar la calidad de la miel y otros productos apícolas, además de proteger la salud de las abejas y el medio ambiente.

3. Capacitación y concientización comunitaria

Programas de educación ambiental: Brindar formación continua a los apicultores sobre prácticas sostenibles y cómo manejar sus apiarios de forma que se minimicen los impactos ambientales. La educación debe abordar no solo las técnicas de apicultura, sino también el impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente.

Fomentar la participación comunitaria: Involucrar a los miembros de la comunidad en actividades de conservación, como la reforestación y la protección de las especies locales. De esta forma, se fortalece el vínculo entre la apicultura y la preservación del entorno.

4. Conservación de la biodiversidad y el hábitat natural de las abejas

Protección de hábitats clave para las abejas: Promover la conservación de los hábitats naturales de las abejas, como bosques y selvas, para asegurar que las abejas tengan acceso a una flora variada para su alimentación.

Restauración de ecosistemas degradados: Invertir en la restauración de áreas que han sufrido degradación debido a actividades humanas, como la deforestación o la agricultura intensiva. Esto puede incluir la plantación de especies *melíferas* nativas y la mejora de la calidad del suelo.

5. Fomento de la polinización cruzada

Creación de corredores de polinización: Establecer corredores ecológicos que conecten las áreas de cultivo y las zonas naturales, permitiendo que las abejas se desplacen libremente

entre ellas. Estos corredores ayudan a mejorar la salud de las abejas y aumentan la productividad de los cultivos al asegurar una polinización adecuada.

Integración de la apicultura en sistemas agroecológicos: Promover la integración de la apicultura en sistemas agrícolas agroecológicos que apoyen tanto la producción agrícola como la salud de las abejas. Esto incluye el uso de cultivos que beneficien a las abejas y la rotación de cultivos para evitar el agotamiento de los recursos naturales.

6. Monitoreo y control de plagas y enfermedades

Prevención y control de enfermedades de las abejas: Implementar estrategias para prevenir y controlar las enfermedades y plagas que afectan a las abejas, como la varroa, la nosema y otras enfermedades que puedan debilitar a las colonias. Esto incluye el uso de tratamientos orgánicos y el monitoreo regular de la salud de las colmenas.

Manejo integrado de plagas: Emplear técnicas de control biológico y otras prácticas sostenibles para reducir el uso de pesticidas químicos en los cultivos cercanos a los apiarios, minimizando los riesgos para las abejas y otros polinizadores.

7. Fortalecimiento del marco normativo y políticas públicas

Promover políticas de apoyo a la apicultura sostenible: Abogar por políticas públicas que apoyen la apicultura sostenible, garantizando que se proporcionen incentivos económicos y recursos técnicos para los apicultores que adopten prácticas responsables con el medio ambiente.

Certificación de productos apícolas sostenibles: Impulsar la certificación de miel y otros productos apícolas con estándares de sostenibilidad, lo que no solo garantiza un producto de alta calidad, sino que también genera una demanda más amplia para los productos responsables con el medio ambiente.

8. Desarrollo de mercados locales y sostenibles

Fomentar el consumo responsable de productos apícolas: Promover el consumo local y responsable de miel, cera, propóleo, jalea real, asegurando que los apicultores reciban un pago justo por sus productos y que los consumidores se beneficien de un producto orgánico y sostenible.

Vincular la apicultura con el ecoturismo: Desarrollar iniciativas de ecoturismo en torno a la apicultura, como visitas a apiarios, talleres de apicultura y actividades educativas, lo que puede generar ingresos adicionales para las comunidades y aumentar la conciencia sobre la importancia de las abejas y su rol en la polinización.

RECOMENDACIONES

Con la experiencia obtenida en materia de apicultura en dos comunidades forestales del estado de Chiapas, pudimos identificar aspectos que deben mejorarse para la permanencia del proyecto a largo plazo:

Fortalecimiento a grupos: Se necesitan más capacitaciones y acompañamiento técnico a los productores en aspectos de transformación y comercialización de productos, gestión de mercado y calidad.

Gestión de proyectos de inversión: Pudimos identificar que se necesitan equipos para aprovechar la apicultura y obtener diversos productos como miel, propóleo, cera, polen, recursos para contar con espacios de trabajo y utensilios que permiten comercializar la miel con valor agregado; en esta primera fase trabajamos la parte productiva y capacitación en producción.

Acompañamiento técnico: es de vital importancia que las comunidades obtengan acompañamiento para mejorar su cadena de comercialización, identificar las debilidades y retos que tienen como grupo para poder avanzar.

Intercambio de experiencias: Es una alternativa para que los productores puedan aprender de otros proyectos exitosos, conocer las estrategias que han implementado, los retos que tienen, los aliados y como pueden mejorar en la comunidad.

Mercado de productos: Es de vital importancia generar redes de comercialización para pasar de un aspecto regional a nacional e internacional. Una de las limitantes que nos encontramos en muchas comunidades es que tenemos la producción, sin embargo, no sabemos hacia donde comercializar, por lo que debemos crear redes de comercialización de nuestros productos, así como mejora en el diseño del producto.

CONCLUSIONES

La apicultura es una actividad productiva importante en comunidades forestales de la Reserva de la Biosfera El Triunfo, elemento clave en la seguridad alimentaria por el papel que juegan las abejas en la producción de alimentos. La apicultura proporciona miel, polen, cera, jalea real, propóleos, aporta grandes beneficios en el agroecosistema por la polinización que hacen las abejas en las plantas y por el control biológico que realizan y es una alternativa para los productores de San Antonio y Buenos Aires del municipio de Pijijiapan.

Las comunidades obtienen ingresos adicionales en la venta de núcleos, colmenas, reinas, convirtiéndose como una alternativa de desarrollo económico para las familias. Se necesitan esfuerzos colectivos (comunidades, técnicos, instituciones), para la permanencia del proyecto de apicultura, cada uno puede establecer acciones que se conjunten para obtener un mayor impacto.

Las acciones que pueden implementarse para favorecer las actividades apícolas son:

- Promover prácticas apícolas sostenibles
- Conservación de la biodiversidad mediante la protección de los hábitats naturales
- Desarrollo de la apicultura en armonía con las comunidades locales
- Fomentar la educación y capacitación continua en apicultura sostenible
- Fortalecimiento de los mercados sostenibles para los productos apícolas
- Protección de la *flora melífera* y la promoción de su cultivo
- Fortalecimiento de las redes de cooperación entre apicultores.

REFERENCIAS

Castro, H. y Otálora, L. (2024). Apicultura sostenible: propuesta de modelo para Apicaldas. *Visión Empresarial*. 2(4), 96– 119. https://doi.org/10.24267/24629898.1370

Comisión Nacional Forestal. (4 de julio de 2018). *Apicultura un sistema sostenible*. https://www.gob.mx/conafor/articulos/apicultura-un-sistema-sostenible

Demedio, J., Sanabria J., Leal, A., Lóriga, W., Fonte, L. (2011). Polinización apícola: una invitación a los agricultores. *Revista CEDAR*. 33-35

Díaz, T. (2003). *Plantas melíferas en Asturias. Importancia de las abejas para las plantas*. 88-104. https://www.mieldemalaga.com/data/Las_abejas_y_la_apicultura.pdf

Fernández, J. (2018). *La apicultura y los ecosistemas forestales.* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca.

Guerrero, F., Yebra, A., Olivares, L., Jiménez R., Wilker, F. (2016). Sostenibilidad 360°: pinceladas para entender el concepto. *Revista de Antropología Experimental*. N.16. 35–57.

Krupke, C. H., Hunt, G. J., Eitzer, B. D., Andino, G., & Given, K. (2012). Multiple routes of pesticide exposure for honey bees living near agricultural fields. *PLoS one*, 7(1), e29268

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Número de colmenas en México*. https://atlasabejas.agricultura.gob.mx/cap5.html#52_N%C3%BAmero_de_colmenas_en_M%C3%A9xico

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). *Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de miel.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859834/Manual_de_BPP_en_la_Producci_n_de_Miel_2019.pdf

Silva, L.M., Restrepo, S. (2012). *Flora apícola. Determinación de la oferta floral apícola como mecanismo para optimizar producción, diferenciar productos de la colmena y mejorar la competitividad.* Bogotá, Instituto Humboldt. 28 p.

Torres, A., Chimbo, J., Vargas, J. (2022). Apicultura y bioeconomía: la miel de abeja como alternativa económica sostenible para pequeños productores. *Revista Semilla Del Este*, 2(2), 48–61.

Verde, M. (2014). Apicultura y seguridad alimentaria. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Vol. 48. N. 1, 2014. 25-31.

Villegas, G., Bolaño, G., Miranda, G., Zenón, A. (2000). *Flora nectífera y polinífera en el estado de Chiapas*. Secretaría de Agricultura y ganadería y Desarrollo rural. https://atlasnacionaldelasabejasmx.github.io/atlas/pdfs/FloraNectarifera%20y%20polinifera%20Chiapas.pdf

Wehbe, M., Tonolli, A (2015). Propuesta conceptual y analítica de la sustentabilidad. In R. Á. Seiler A. M. Vianco (Eds.). *Metodología para generar indicadores de sustentabilidad de sistemas productivos. Región Centro-Oeste de Argentina*. Río Cuarto, Argentina.

CAPÍTULO VIII
NORMAS DE INOCUIDAD ALIMENTARIA: DESAFÍOS PARA LA CALIDAD, LA COMPETITIVIDAD Y SALUD PÚBLICA

Fabio Leonardo Mesa Engativá y Laura Patricia Mesa Engativá[1]

INTRODUCCIÓN

Hablar de seguridad alimentaria y de inocuidad de los alimentos no es sólo referirse a normas, cifras actuales o sistemas técnicos. Es, ante todo, hablar de personas: de empresas dedicadas a la elaboración de productos alimenticios, emprendedores dedicados a la elaboración de alimentos de consumo directo y de pequeños productores que ven en su cosecha la esperanza de sostener a su familia. El siguiente análisis es una invitación a mirar la seguridad e inocuidad alimentaria desde una perspectiva más próxima a la realidad.

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), la inocuidad alimentaria es definida como la garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparan y consumen según el uso previsto, por ello, es un tema de vital importancia a nivel mundial. Su importancia radica en la prevención de las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETAS), ya que estas representan una preocupación significativa para la salud pública en cualquier lugar donde haya población. Esta preocupación se intensifica aún más en comunidades vulnerables, como niños y personas de la tercera edad. Hoy en día, la normatividad y la normalización juegan un papel fundamental para garantizar la inocuidad de los alimentos, ya que ayudan a regular comportamientos y asegurar el cumplimiento legal de los requisitos para productos, procesos y servicios, así como los métodos para evaluarlos con el objetivo de que sean confiables y seguros para el consumidor final. La legislación

1 Synergy Qualified Group Colombia.

alimentaria, que en sus inicios buscaba prevenir la venta de productos fraudulentos y proteger la composición de los alimentos, ha evolucionado para abarcar aspectos cruciales de la salud pública. Esto incluye la prevención de la contaminación química, física y biológica, asegurando así que los alimentos sean seguros para el consumo.

El objetivo de este análisis es acercar al lector a la realidad de algunos países de América Latina, en los que la implementación de la normatividad, la accesibilidad a la información, la capacitación y la disponibilidad de recursos son limitados para dar el cumplimiento a lo exigido.

Sin dejar de resaltar las acciones que han hecho algunos territorios, gremios y comunidades para implementar lo mínimo establecido para la producción y comercialización de los productos alimenticios. El desarrollo del presente capítulo está basado en análisis de resultados realizados por estudios que parten de la Organización Panamericana de la Salud y profesionales investigadores en algunos países de habla hispana, lo cual nos da como resumen la organización de la información de tal manera que se inicia con la importancia de la inocuidad alimentaria desde un enfoque preventivo, la importancia de la participación de los gobiernos, la normatividad como herramienta en casos específicos de México y Colombia, además de los retos para la implementación y el impacto para empresas y consumidores.

LA INOCUIDAD ALIMENTARIA: UN COMPROMISO SOCIAL MÁS ALLÁ DE LA REGULACIÓN

Una problemática que trasciende el ámbito técnico es que la inocuidad alimentaria no es sólo una cuestión de normativas, sino una responsabilidad colectiva que involucra a gobiernos, productores, consumidores y a la sociedad en su conjunto. A través del análisis de las crisis alimentarias de los años 90, se evidencia la fragilidad de los sistemas tradicionales de control sanitario y la necesidad de evolucionar hacia un enfoque preventivo y transversal (Mercado, 2007). Por tanto, más allá de las estructuras y los marcos legales establecidos, surge una pregunta crucial: **¿**Estamos, como sociedad, desarrollando una verdadera cultura enfocada a la inocuidad alimentaria?

La respuesta no es sencilla, más aún si tomamos como ejemplo considerar la realidad que enfrentan algunos estados en México, donde la venta de aguas saborizadas embotelladas, sin etiqueta ni garantía de inocuidad, ha aumentado notablemente. Esta situación se debe a que representa una alternativa rápida y accesible para generar ingresos económicos. Este fenómeno se ha convertido en un problema persistente que afecta la salud pública. A pesar de que existen marcas establecidas que cumplen con altos estándares de calidad, la informalidad en el mercado ha dado lugar a un incremento de productos que no respetan las regulaciones necesarias, poniendo así en riesgo a los consumidores. El anterior es un ejemplo de un alimento que se comercializa sin regulación controlada y que se convierte en un peligro con el que se transmiten ETA'S, además de mencionar la comercialización de productos cárnicos crudos sin cadena de frío.

Es fundamental promover la educación sobre la importancia de consumir productos que cumplan con los estándares de calidad y seguridad, así como respaldar

a las marcas que se adhieren a estas normativas. Con lo anterior podría decirse que, si el consumidor se enfocara en ser más selectivo, buscaría adquirir sus productos alimenticios en sitios seguros, con etiqueta, regulados y normalizados, la venta de productos no seguros descendería y los vendedores buscarían entonces cumplir con los requisitos para permanecer en el mercado y poder suplir la demanda.

Además, es imprescindible un esfuerzo conjunto entre el gobierno, las empresas y la comunidad para abordar esta problemática y garantizar que todos tengan acceso a opciones seguras y saludables. En el caso del consumidor, este juega un papel fundamental en la regulación, ya que establece los requisitos que un producto debe cumplir para ser considerado de calidad. Cuando este consumidor tiene claros y bien definidos sus criterios, buscará en el mercado aquellos productos que más se acerquen a su satisfacción. Es en este escenario donde la industria implementa los controles necesarios para garantizar la calidad de sus productos y, estar en posibilidades de responder a las expectativas del consumidor, en cuanto a inocuidad y calidad.

Sólo se requiere un consumidor consciente, un gobierno que esté al día con la normatividad internacional para garantizar la protección de los productos nacionales e importados, y una comunicación efectiva entre la industria, la ciencia y el público. Esto permitirá aportar información e ideas que contribuyan al establecimiento de normas de inocuidad alcanzables, aplicables y que cuenten con credibilidad ante los consumidores y la industria, garantizando así que los sistemas de control de alimentos proporcionan una protección efectiva contra riesgos reales e importantes.

EL DESAFÍO DE LA PREVENCIÓN

Históricamente, la seguridad alimentaria ha sido abordada desde una lógica reactiva y punitiva: controlar, inspeccionar y retirar productos peligrosos del mercado. Sin embargo, este enfoque ha demostrado ser insuficiente ante un sistema alimentario globalizado, donde los alimentos cruzan fronteras y los riesgos de contaminación pueden surgir en cualquier eslabón de la cadena. Por lo cual debe ser imperioso integrar la prevención en cada etapa del proceso, desde la producción hasta el consumo, con un marco normativo sólido y consecuente con las restricciones de cada país pero que permanezca alineado con el *Codex Alimentarius*.

Sin embargo, la implementación de este modelo enfrenta una barrera cultural: la resistencia de los actores del sector agroalimentario a modificar sus prácticas de manera proactiva en lugar de reactiva; lo anterior se evidencia en estudios como el realizado en una empresa salvadoreña, (Lima et al., 2024), donde a pesar del alto conocimiento sobre riesgos, la dimensión de adaptabilidad (capacidad real hacia prácticas preventivas) fue la más baja. De igual manera para el consumidor final es esencial un enfoque integral que combine educación, participación y regulación efectiva.

La sensibilización a través de campañas informativas y etiquetado accesible permite que los consumidores tomen decisiones informadas sobre la calidad y seguridad de los alimentos. Al mismo tiempo, la educación sobre manipulación, almacenamiento y preparación adecuada de los alimentos fomenta prácticas responsables en el hogar y en

la industria procesadora de alimentos (haciendo referencia a industrias y restaurantes). En última instancia, la combinación de estos factores permitirá una transformación cultural en la que la inocuidad alimentaria no sea sólo una exigencia normativa, sino un compromiso compartido entre productores, consumidores y autoridades.

EL ROL DEL GOBIERNO: ¿REGULACIÓN O FACILITACIÓN?

Hay que reconocer que el gobierno juega un papel fundamental en garantizar alimentos inocuos no sólo regulando, sino también permitiendo la educación y el fomento del compromiso de los productores. El éxito en la inocuidad alimentaria no depende únicamente de leyes más estrictas, sino de una gestión integrada participativa que permita la capacitación, certificación y supervisión efectiva.

No obstante, en la actualidad el desafío sigue vigente, en muchos países de América Latina las normativas pueden considerarse obsoletas, con falta de claridad y coherencia, desactualizadas, con baja inspección y vigilancia, cumplimiento limitado por la falta de infraestructura y voluntad política. Lo anterior, acorde a la evaluación de los sistemas de inocuidad de los alimentos, desarrollada por la Organización Panamericana de la Salud y la OMS en el año 2000, que dejó en evidencia una realidad preocupante: en 29 de los 33 países analizados, los sistemas legales relacionados con la inocuidad de los alimentos alcanzaban un nivel de desarrollo entre 45% y 59%. Entonces surge la siguiente pregunta: ¿Puede una regulación alimentaria desarrollarse con una estructura institucional débil que no permita su cumplimiento o convertirse simplemente en una declaración de intenciones? Aunque pueda estar bien estructurada y alineada con estándares internacionales, sin seguimiento y control, educación y recursos adecuados, se convierte en letra muerta, dejando a los ciudadanos expuestos a adquirir enfermedades transmitidas por alimentos, sectores productivos sin verdadera protección y con alto riesgo de tener pérdidas económicas, así como generar desconfianza en el sistema alimentario.

Cuando las normas no se ejecutan, se genera un ambiente de impunidad y desigualdad, donde sólo quienes tienen el poder o los recursos pueden beneficiarse de su cumplimiento. Esto no perjudica el desarrollo social y económico, también desmotiva a los ciudadanos a respetar las normativas, creando una cultura de incumplimiento.

EL CONSUMIDOR: UN ACTOR CLAVE EN LA CADENA DE RESPONSABILIDAD

Uno de los aspectos más reveladores es reconocer al consumidor como agente de cambio. A menudo, la seguridad alimentaria se percibe como una tarea exclusiva de productores y autoridades sanitarias, cuando en realidad, cada persona que compra, manipula y consume alimentos tiene un papel fundamental en la prevención de enfermedades transmitidas por éstos.

Con base en lo anterior hay un gran trabajo para resaltar la importancia de la educación y la sensibilización de los consumidores. En la práctica, la desinformación sigue siendo un obstáculo ya que muchos consumidores desconocen los riesgos

de una mala manipulación de los alimentos y las consecuencias de no exigir productos seguros; de igual manera existe un desconocimiento generalizado y una falta de aplicación de prácticas higiénicas adecuadas.

Es importante destacar que la educación y la sensibilización conducen a mejorar la conciencia de los consumidores, quienes llegan a comprender los peligros asociados con la mala manipulación de los alimentos, convirtiéndose así en consumidores conscientes y exigentes en su elección de productos alimenticios. Fomentar la demanda de productos seguros, ya que la exigencia de la calidad y la inocuidad por parte del consumidor se convierte en uno de los pilares más importantes en la comercialización y abastecimiento de alimentos. Promover prácticas seguras en el hogar durante la elaboración de alimentos. La inocuidad no depende de los procesos que se llevan a cabo durante la producción del alimento, también deriva del almacenamiento, transporte, manejo y cocción que se realiza en casa.

LA NORMATIVIDAD COMO HERRAMIENTA FUNDAMENTAL

A nivel internacional, instituciones como la OMS y la FAO son piedras angulares en la promoción de la higiene e inocuidad de los alimentos. Estas organizaciones fomentan la seguridad alimentaria y nutricional (SAN), un concepto que está estrechamente vinculado con la higiene e inocuidad de los alimentos. El *Codex Alimentarius*, armonizado por el comité de la FAO/OMS, es fundamental para el establecimiento de normas, directrices y códigos de prácticas internacionales que salvaguardan la salud de los consumidores y promueven buenas prácticas comerciales. Los principios del Codex identifican prácticas básicas de higiene a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción primaria hasta el consumidor final, con el objetivo de asegurar la calidad de los alimentos y fomentar la correcta implementación de estos principios. Sin embargo, es importante destacar que las normas del *Codex* no reemplazan ni son una alternativa a la legislación nacional en cada país, la cual debe ser cumplida rigurosamente.

Estas normas son elaboradas por especialistas, principalmente de países industrializados, basados en aspectos técnicos y a veces dejando de lado aspectos sociales y culturales importantes en la alimentación. La objetividad científica de estas normas ha sido cuestionada, sugiriendo la influencia de grupos económicos relacionados con la industria.

El *sistema HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control)* es una herramienta crucial reconocida internacionalmente. Proporciona un enfoque específico y sistemático para el control de la calidad en los alimentos, permitiendo la identificación de riesgos. El HACCP es un instrumento que asegura la calidad y la inocuidad, constituye la base para los sistemas de gestión de seguridad alimentaria. La forma más efectiva de garantizar la inocuidad es combinando criterios microbiológicos con un sistema moderno como tal. La implementación de HACCP permite identificar criterios específicos para cumplir estándares de organismos internacionales y participar en mercados competitivos.

La norma ISO 22000 es un estándar internacional certificable que especifica los requisitos para un sistema de gestión de seguridad alimentaria. Integra elementos de Buenas Prácticas de Fabricación (GMP/BPM), el sistema HACCP y un sistema de gestión para asegurar que los productos cumplen con los requisitos de los clientes y los requisitos reglamentarios de seguridad alimentaria. ISO 22000 se basa y complementa con la norma ISO 9001 (sistema de gestión de calidad).

La inocuidad es un requisito básico e implícito de la norma ISO 22000, refiriéndose a la ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas o cualquier sustancia nociva. Los elementos clave para garantizar la inocuidad bajo la norma en mención incluyen comunicación interactiva, gestión del sistema, programas de prerrequisitos y los principios HACCP. La comunicación a lo largo de la cadena alimentaria (interna y externa) es esencial para su implementación. Un sistema de gestión sólido y la implementación de HACCP son necesarios para evitar la propagación de riesgos químicos, físicos y biológicos en los alimentos. Las empresas deben ser capaces de demostrar altos estándares de calidad e inocuidad para ser competitivas.

NORMATIVIDAD EN MÉXICO

En México, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización promueve la participación de diversos sectores en la elaboración y observancia de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX). El objetivo principal es unificar criterios, facilitar la producción y comercialización, homologar normas con las internacionales y definir calidad y métodos de prueba.

La NOM-251-SSA1-2009: Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios es una norma oficial obligatoria decretada por el Sistema Federal de Salud en coordinación con la Cofepris. Entró en vigor en septiembre de 2010 y establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene en el procesamiento de alimentos y bebidas a fin de evitar la contaminación y mejorar la transparencia y seguridad a lo largo de la cadena alimentaria. Esta norma aplica a todas las personas físicas o morales dedicadas a este proceso en territorio nacional. Invita a la implementación de un sistema HACCP y requiere un procedimiento de retiro de producto. Su objetivo es evitar la contaminación mediante limpieza, desinfección, control de plagas, manejo de residuos, salud, capacitación e higiene del personal, y adecuado almacenamiento/transporte.

Para el sector de hostelería y restauración, existe la NMX-F-605-NORMEX-2016: Manejo higiénico en el servicio de alimentos preparados para la obtención del Distintivo "H". Esta es una NMX emitida por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. NORMEX. Es voluntaria para establecimientos que desean mejorar sus procesos de seguridad e higiene alimentaria. Tiene una incidencia significativa en la promoción turística de México.

El Distintivo "H" es un reconocimiento estratégico otorgado por la Secretaría de Turismo (SECTUR) y avalado por la Secretaría de Salud (SSA). Este distintivo certifica a los establecimientos de servicios de alimentos y bebidas que cumplen con

los requisitos de la NMX-F-605-NORMEX-2016, con el objetivo de disminuir la incidencia ETAS. Promueve buenas prácticas de higiene y sanidad en la manipulación de alimentos, así como en los procesos de preparación y servicio.

La obtención del Distintivo "H" implica varios pasos, que incluyen la capacitación del personal, la implementación del sistema, la validación por un consultor y la verificación por una Unidad de Verificación acreditada. Una vez completados estos procesos, la SECTUR emite el distintivo. Este reconocimiento tiene un impacto tanto a nivel nacional como internacional. Otras normas importantes en el sector cárnico incluyen las NOM del sistema Tipo Inspección Federal (TIF). Los TIF son regulados por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), a diferencia de los rastros municipales (TSS).

A pesar de contar con normativa vigente, la alta incidencia de casos de ETAS en México es preocupante. En 2018, entre el 70% y el 80% de las enfermedades infecciosas intestinales se asociaron con ETAS (Guzmán y Rubio, 2020), lo que indica áreas de oportunidad en el diseño y cumplimiento de las regulaciones. Como señalamos anteriormente la responsabilidad de garantizar la inocuidad alimentaria recae en todos los actores involucrados: la producción primaria, la industria, el gobierno y el consumidor final. Es fundamental destacar que la inocuidad no es un tema negociable; se convierte en una obligación. En este sentido, el gobierno debe actuar como un agente facilitador, implementando y proporcionando programas que aseguren la inocuidad a lo largo de toda la cadena de producción. Estudios específicos en México demuestran que la implementación de sistemas como ISO 22000 en pequeñas empresas comercializadoras de alimentos, puede generar mejoras significativas en las prácticas, procesos y cumplimiento de requisitos, alcanzando hasta un 89.57% de cumplimiento en algunos casos (González y García, 2022).

Los resultados tangibles de la implementación de sistemas de gestión incluyen una mayor eficiencia en los procesos, lo que permite reducir desperdicios y pérdidas de producto, así como un mejor control sobre los objetivos e indicadores de calidad. Sin embargo, para muchas pequeñas empresas, la adopción de estos sistemas puede representar un desafío a lo desconocido, ya que a menudo implica inversiones en infraestructura, equipo y personal, y el retorno de estas inversiones puede ser lento. La satisfacción se alcanza mediante el cumplimiento normativo, la mejora de instalaciones y procesos, el incremento en la productividad, el acceso a mercados exigentes (internacionales), una mayor calidad del producto, el reconocimiento en el mercado y la capacitación del personal.

Al analizar la implementación de sistemas HACCP en el sector cárnico de Zacatecas, se observa que esta iniciativa ha sido impulsada por el cumplimiento de requisitos legales y la necesidad de exportar. Estas circunstancias han llevado a considerar la adopción del sistema como rentable en términos de costo-beneficio, y que permitió el uso eficiente de los recursos y una mejor comunicación entre los departamentos de la empresa (Guirette et al., 2021).

Como resultado de la implementación de sistemas de gestión y control, se logra una mayor participación en el mercado internacional, además de mejorar la

competitividad y la satisfacción del cliente al ofrecer alimentos seguros. Sin embargo, esto también conlleva un aumento en los costos operativos, ya que, en muchos casos, los controles se incrementan y la operatividad de las empresas requiere cumplir con estándares más exigentes. En comparación con otros países, la adopción de sistemas HACCP en México es relativamente reciente. Esto se debe a que muchas empresas han comenzado a buscar abrirse a nuevos mercados internacionales, motivadas por el deseo de exportar productos a Estados Unidos, donde el cumplimiento de la normatividad es un requisito fundamental.

NORMATIVIDAD EN COLOMBIA

En Colombia, la Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN) está intrínsecamente vinculada a la higiene e inocuidad de los alimentos. La Constitución de 1991 reconoce el derecho a una alimentación equilibrada como un derecho fundamental, especialmente para los niños. El Plan Decenal de Salud Pública (PDSP) 2012-2021 incluye diversas acciones destinadas a garantizar este derecho, reducir la malnutrición, controlar riesgos sanitarios y fitosanitarios, y gestionar la SAN en el país.

La legislación colombiana ha implementado normas específicas para asegurar la inocuidad alimentaria. El Decreto 3075 de 1997 del Ministerio de Salud establece las directrices que deben seguir los establecimientos encargados de la transformación de alimentos, incluyendo las BPM. Este decreto regula las actividades que podrían generar factores de riesgo en el consumo de alimentos y ha sido utilizado como herramienta para evaluar las condiciones higiénico-sanitarias en dichos establecimientos. El Decreto 1500 de 2007 establece el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control para la carne, los productos cárnicos comestibles y los derivados cárnicos destinados al consumo humano. Esta normativa especifica los requisitos sanitarios y de inocuidad que deben cumplirse en todas las etapas de la cadena, desde la producción primaria hasta el expendio. En la industria, la mejora de la calidad de los procesos se evalúa mediante estándares internacionales, como los de ISO. Un estudio realizado por Jácome et al. (2021) en el sector cárnico analizó las barreras para obtener certificaciones internacionales. Los hallazgos indicaron que ninguna de las empresas cárnicas de la región contaba con certificaciones en normas internacionales voluntarias de inocuidad alimentaria.

El diagnóstico reveló un desempeño deficiente en el cumplimiento de los requisitos establecidos por los sistemas de gestión de inocuidad alimentaria. Se identificaron importantes deficiencias en aspectos fundamentales, tales como la adecuada documentación de procedimientos, el liderazgo activo de la alta dirección en la comunicación sobre la relevancia de la gestión de inocuidad, así como en la planificación y control operacional y en la identificación y evaluación de peligros.

Actualmente, aunque las empresas cumplen con los requisitos legales básicos, la documentación relacionada con sus sistemas de gestión suele ser notablemente deficiente. Para algunas de ellas, la decisión de implementar sistemas y adherirse a normativas "no obligatorias" se convierte en una fuente de frustración, ya que

perciben que esto implica costos elevados y, en muchas ocasiones, no logran identificar un valor agregado significativo (Jácome et al., 2021). Además, la falta de inversión y preocupación por estos aspectos impide un conocimiento profundo de los procesos internos. El análisis de peligros a menudo se limita a abordar problemas pasados, y tanto la evaluación de peligros como la eficacia de las medidas de control no se llevan a cabo con el rigor necesario.

Castilla et al. (2011) evaluaron las condiciones higiénico-sanitarias de los comedores infantiles, utilizando como referencia el Decreto 3075 de 1997. El diagnóstico reveló que la gran mayoría de los establecimientos se encontraban en estado "pendiente" (98%) o "desfavorable" (2%), lo que representa un factor determinante para el riesgo de brotes de toxi-infección. La evaluación abarcó aspectos como la infraestructura, el plan de saneamiento básico (que incluye limpieza, desinfección, abastecimiento de agua, manejo de desechos y control de plagas), la certificación y salud del personal, así como la higiene en la fabricación, los equipos, las materias primas, el almacenamiento y el transporte.

La importancia de mantener altos estándares higiénicos en los comedores infantiles es crucial, dado que los niños son particularmente vulnerables a enfermedades alimentarias. Entre las no conformidades identificadas se encontraron problemas relacionados con el almacenamiento inadecuado, deficiencias en equipos y utensilios, certificados de capacitación vencidos y la ausencia de planes de saneamiento. Para abordar estas deficiencias, es fundamental implementar mejores prácticas en el manejo de alimentos y desinfección. La capacitación continua del personal sobre higiene y manipulación segura de alimentos es igualmente esencial para garantizar un entorno saludable. Además, la realización de auditorías regulares y un sistema de monitoreo continuo son necesarios para asegurar el cumplimiento normativo y mejorar las condiciones sanitarias.

En la actualidad la incorporación de tecnologías emergentes puede ser un paso significativo hacia adelante en la mejora de las condiciones sanitarias. Sistemas automatizados para el control de temperatura en la conservación y preparación de alimentos garantizan que se mantengan estándares seguros. Asimismo, aplicaciones diseñadas para el seguimiento del saneamiento permiten a los responsables monitorear continuamente las condiciones higiénicas del establecimiento, facilitando una respuesta rápida ante cualquier irregularidad.

Las barreras como retos para el desarrollo e implementación de la normatividad

Hablar de normas sanitarias y de inocuidad alimentaria puede parecer técnico, frío e incluso burocrático. Sin embargo, detrás de cada reglamento, resolución o protocolo hay vidas reales: familias que se levantan antes del amanecer para vender sus productos en el mercado, productores que elaboran quesos artesanales y madres que compran lo que pueden en un mercado informal porque es lo único para lo que les alcanza.

Sin embargo, uno de los principales desafíos en América Latina radica en que, aunque las normas son fundamentales para salvaguardar la salud pública, no todos

tienen la capacidad de cumplirlas por igual. Los pequeños productores, especialmente aquellos en áreas rurales, se enfrentan a un dilema significativo: por un lado, carecen de recursos y conocimientos sobre la industria y la tecnología, lo que limita su acceso a asesoría e infraestructura. Por otro lado, el sistema les impone estándares diseñados para grandes industrias que cuentan con muchos más recursos. Como resultado, cumplir con una norma puede llevarlos a endeudarse, cerrar sus negocios o, en muchos casos, quedar excluidos del mercado. Asimismo, para las madres que compran en mercados informales, la inocuidad representa una lucha por el bienestar de sus familias. A menudo deben elegir entre precios accesibles y calidad, enfrentándose a la incertidumbre sobre si lo que están comprando es realmente seguro. La inocuidad alimentaria no sólo es una cuestión de salud pública, es también una cuestión de justicia social y económica. Por lo tanto, cuando hablamos de inocuidad, estamos hablando del tejido social que une a productores y consumidores. Es un llamado a reconocer la dignidad del trabajo agrícola y a crear un sistema en el que todos tengan acceso a alimentos seguros, sin importar su situación económica o geográfica.

Por otro lado, los entornos organizacionales también enfrentan desafíos significativos. La falta de coordinación entre entidades, la frecuente modificación de normas y la escasez de personal en ciertas regiones pueden hacer que los esfuerzos de vigilancia y control sean ineficaces, según la evaluación de los sistemas de inocuidad de los alimentos desarrollado por la Organización Panamericana de la Salud y la OMS en el año 2000. En este contexto, quienes tienen menos recursos son los más afectados, además, existe una gran red de actividades informales, como mercados de barrio, vendedores ambulantes y cocinas callejeras que escapan del control sanitario, pero son fundamentales para la economía de subsistencia y la vida cotidiana de millones de personas que dependen de la comida callejera accesible. Para lograr una implementación adecuada de la normatividad necesaria para garantizar la inocuidad alimentaria, algunos de los principales retos que se pueden superar son:

Barrera 1- La imposición de normas diseñadas para la gran industria

Las regulaciones sobre inocuidad alimentaria se presentan como una medida fundamental para garantizar la calidad y seguridad de los alimentos, proteger la producción agrícola y ganadera, y salvaguardar la salud de la población. Sin embargo, en la práctica, estas normativas imponen a la producción familiar y artesanal los mismos estándares que se aplican a la gran industria, ignorando las enormes diferencias entre ambos sectores. Mientras que la agricultura recurre a agrotóxicos para el control de plagas y enfermedades, así como a fertilizantes químicos para enriquecer el suelo, la producción tradicional tiende a emplear métodos más naturales y sostenibles.

Además, los procesos industriales incorporan aditivos sintéticos para mejorar la apariencia, el sabor y la vida útil de los productos. Sin embargo, las críticas suelen dirigirse a los pequeños productores, acusándolos de no cumplir con las pruebas de inocuidad o de no seguir las mejores prácticas de manufactura, a pesar de los riesgos asociados con la producción a gran escala.

Las normas internacionales, al ser adaptadas a las legislaciones nacionales, suelen estar diseñadas para favorecer la producción agroalimentaria a gran escala. Los requisitos técnicos y administrativos exigidos están alineados con las capacidades y procesos de la gran industria, lo que pone en desventaja a los pequeños productores, quienes enfrentan dificultades para adaptarse a regulaciones pensadas para sistemas completamente distintos. Esto no sólo limita la diversidad de productos en el mercado, sino que también pone en riesgo el conocimiento tradicional y las prácticas sostenibles que han sido transmitidas por generaciones. Por lo tanto, es necesario diseñar un marco regulatorio que garantice la seguridad alimentaria sin afectar a quienes trabajan con métodos tradicionales, fomentando una coexistencia justa entre la gran industria y la producción pequeña o artesanal.

Barrera 2- Dificultad para cumplir con requisitos específicos y costos asociados

Para muchas familias campesinas y pequeños productores de alimentos artesanales en América Latina, cumplir con las exigencias de las normas sanitarias representa un desafío técnico, y una barrera casi insuperable. Obtener permisos como registros o licencias sanitarias, dependiendo del país, el producto y sus características, se convierte en un trámite que a menudo está fuera de su alcance. Esto no se debe a la falta de voluntad, sino a la dura realidad estructural en la que viven y producen.

Aunque bien intencionadas, las normativas imponen una serie de requisitos que requieren inversiones significativas, elevando considerablemente los costos de producción. En muchos casos, se exige contar con responsables técnicos que supervisen y garanticen las condiciones sanitarias del proceso. Para un pequeño productor que apenas logra sostener su actividad con ingresos modestos y variables, este costo adicional no es solo difícil de afrontar, es sencillamente impagable. No se trata únicamente de una inversión, sino de una condición que pone en riesgo su permanencia en el mercado.

A esto se suman requisitos de infraestructura que son difíciles de cumplir en los entornos rurales. Por ejemplo, se requiere acceso constante a agua potable a través de acueductos, pisos lavables, instalaciones cerradas y sistemas de refrigeración o ventilación certificados, entre otros. Estos elementos, que son estándares comunes en las ciudades o en grandes plantas industriales, son inexistentes en muchas comunidades rurales. Exigirlos sin flexibilidad o sin acompañamiento equivale prácticamente a excluir a quienes más necesitan oportunidades para mejorar sus condiciones de vida.

Además, muchas de estas exigencias implican modificar procesos artesanales profundamente arraigados en las costumbres locales, lo cual genera no solo costos económicos, sino también resistencia emocional y cultural. Por ejemplo, solicitar a una comunidad que pasteurice su leche para hacer queso—cuando han utilizado técnicas tradicionales durante generaciones sin causar daños significativos a la salud—puede percibirse como una imposición que ignora su historia, identidad y relación con la tierra. Estos saberes no son improvisaciones; son patrimonio cultural. En muchos

casos, la implementación de procesos estandarizados puede llevar a la desaparición de técnicas tradicionales, alterando sabores, texturas y formas de producción que han sido parte del patrimonio gastronómico de cada comunidad, región o país.

La inocuidad alimentaria es un objetivo crucial, sin embargo, es fundamental contar con un enfoque que permita su cumplimiento sin sacrificar la diversidad y el valor cultural de los alimentos producidos de manera tradicional. Aquí es donde la normatividad como documento o "protocolo técnico" puede convertirse en una causa directa de exclusión económica y social. Por ello, más que sancionar el incumplimiento, es urgente generar mecanismos de adaptación, socialización, formación y acompañamiento. Además, es necesario mejorar la infraestructura y ofrecer certificación mediante modelos diferenciados que reconozcan la dignidad de los procesos, productores y consumidores, así como sus limitaciones, proporcionando alternativas progresivas y sostenibles para avanzar hacia la inocuidad sin romper con las lógicas tradicionales comunitarias ni comprometer la viabilidad de sus emprendimientos.

Barrera 3- Las normas como barreras de acceso a mercados

Las regulaciones de inocuidad alimentaria y normativas sanitarias, en teoría, buscan garantizar que los alimentos sean seguros para el consumo y cumplan con estándares de calidad. Sin embargo, en la práctica, estas normativas pueden ser utilizadas estratégicamente para favorecer a ciertos actores de la industria agroalimentaria y limitar la participación de otros como pequeños productores y empresas de países con menor poder económico. En muchos casos, las exigencias regulatorias no solo cumplen un propósito de seguridad alimentaria, sino que también se convierten en herramientas de control comercial que restringen el acceso de determinados productos al mercado formal. En el contexto latinoamericano, esta situación se vuelve especialmente crítica, ya que la aplicación estricta y descontextualizada de las normativas puede terminar cerrando las puertas de los mercados a quienes más necesitan acceder a ellos para sobrevivir.

Las "barreras" impuestas por las regulaciones afectan de manera desproporcionada a los pequeños productores, comunidades campesinas e incluso pequeñas y medianas empresas, como fue mencionado en el numeral anterior, no siempre éstos cuentan con la infraestructura ni los recursos para cumplir con los requisitos técnicos y administrativos exigidos. Además, las certificaciones y registros sanitarios pueden representar procesos lentos, extensos y costosos, lo que limita la capacidad de quienes operan de manera artesanal y/o a pequeña escala para competir de manera lógica en inclusión e igualdad de condiciones con la gran industria. Por lo anterior las normas se convierten entonces en un instrumento de competencia desigual, donde los estándares, lejos de nivelar el campo, pueden profundizar las brechas existentes.

Un caso concreto que ilustra este problema es el decomiso de productos artesanales, como el queso producido en la Amazonía ecuatoriana, provincia de Loja, pueblo de Saraguro (Bravo, 2017). De cómo las normas sanitarias y de inocuidad

de los alimentos atentan contra la producción campesina en el Ecuador. A pesar de que estos productos son elaborados bajo prácticas tradicionales que han sido transmitidas por generaciones y que, en su contexto, pueden considerarse seguras por la utilización de ingredientes frescos, sin aditivos, y con proceso de comercialización directo entre productor y consumidor; la falta de registro oficial ha llevado a su confiscación y exclusión del mercado formal. El problema aquí no es la calidad del producto sino cómo la normativa, lejos de adaptarse a la realidad de diferentes modelos de producción, no reconoce, ajusta o mejora otras realidades diferentes de producción arraigadas en la cultura, sino que impone requisitos inalcanzables para quienes producen a una menor escala. Este tipo de requerimientos normativos no sólo representan una pérdida económica para las familias afectadas, sino también una forma de invisibilización y desprecio cultural, por lo cual es necesario ajustar los sistemas de vigilancia, generar procesos participativos de regulación y dejar de asumir que lo "formal" o "legal" siempre es sinónimo de lo más seguro, ignorando todo un mundo de saberes tradicionales que también alimentan, nutren y cuidan.

Ante este panorama, es necesario redefinir la manera en que se aplican las regulaciones alimentarias en cada país, región o comunidad, para evitar que se conviertan en mecanismos de exclusión. Es necesario ajustar los modelos de vigilancia, control y certificación para tener en cuenta las condiciones de producción artesanal y campesina, así como las políticas para facilitar la integración de estos pequeños productores o empresarios en el comercio formal sin dejar de cumplir los requisitos o que las exigencias sean un obstáculo insuperable. De esta manera, se lograría un equilibrio entre la inocuidad alimentaria y la preservación de la diversidad productiva, permitiendo que todos los actores, independientemente de su escala, puedan competir en igualdad de condiciones o acordes a sus capacidades.

Barrera 4– Falta de gestión y conocimiento

Uno de los obstáculos más persistentes y en ocasiones invisibles, en la implementación de normas de inocuidad alimentaria es el que se relaciona con la gestión y el conocimiento, especialmente en el ámbito artesanal y de las pequeñas y medianas empresas. Muchas de estas iniciativas surgen desde la necesidad, desde la creatividad o la herencia cultural, pero no siempre desde una estructura formal. Esto, lejos de ser una debilidad por sí misma, se convierte en una barrera cuando el sistema regulatorio exige procesos documentados, jerarquías formales o una planificación que no corresponde a la escala o realidad de la comunidad o región.

A diferencia de las grandes industrias, donde existen departamentos especializados en administración, cumplimiento normativo y calidad, los pequeños productores suelen operar bajo modelos familiares o comunitarios, con una gestión menos estructurada y con recursos limitados. Esto puede traducirse en una falta de comprensión sobre la importancia de la formalización, afectando su capacidad para cumplir con las normativas de inocuidad alimentaria y acceder a mercados más amplios. En algunos casos, hay un desconocimiento y en otros, desinterés por parte

de quienes toman decisiones, que puede no deberse a negligencia sino a una desconexión real con lo que significa la gestión de la inocuidad.

En pequeñas comunidades, productores locales, emprendimientos, pequeñas y medianas empresas, sucede que una misma o un grupo pequeño de personas producen, venden, limpian y llevan las cuentas, ahora hablar de "manual de procesos" o "indicadores de calidad" puede parecer una exigencia inalcanzable, incluso absurda. No es que no les importe la calidad, es que tienen otras prioridades más urgentes: producir, vender, sobrevivir. Además, muchas de estas unidades enfrentan graves deficiencias en documentación y trazabilidad, no por falta de ética o transparencia, sino por no haber recibido nunca formación adecuada sobre cómo implementar estos sistemas.

La pequeña producción muchas veces se basa en conocimientos tradicionales transmitidos de generación en generación, en caso de las actividades artesanales, sin registros detallados de las actividades productivas desarrolladas; la ausencia de estos documentos dificulta la obtención de certificaciones oficiales y permisos sanitarios, lo que se convierte en una "barrera" que afecta su competitividad e innovación, limitando la capacidad de comercialización en espacios regulados como supermercados pequeños y de grandes superficies, y que decir de llegar a niveles internacionales mediante exportaciones

Tampoco debe pasarse por alto que, en ocasiones, el conocimiento del proceso productivo está reducido a lo estrictamente legal, a lo mínimo necesario para "no tener problemas" con el ente regulador. Esto genera prácticas que cumplen en apariencia, pero que no necesariamente se traducen en seguridad real para el consumidor, por lo que no se cuenta con información actualizada sobre mejores prácticas de manufactura, gestión de calidad, y estrategias para optimizar su producción sin perder sus valores tradicionales. Como opción de mejora es necesario un acompañamiento adaptado a la escala y al lenguaje del productor o pequeño empresario, programas de formación adaptados a la realidad y vistos como una oportunidad de crecimiento, con metodologías accesibles y prácticas, pueden ayudarlos a mejorar su organización interna sin que esto implique la pérdida de sus métodos tradicionales.

Barrera 5- Barreras técnicas

Uno de los problemas recurrentes en la implementación de normativas de inocuidad alimentaria a pequeña escala es el bajo nivel de cumplimiento en aspectos técnicos fundamentales. A menudo los productores no cuentan con herramientas ni conocimientos suficientes para identificar y analizar riesgos de manera efectiva, lo que ocasiona que las actuaciones sean reactivas en lugar de preventivas. En lugar de anticiparse a posibles riesgos, muchas veces se toman medidas únicamente después de que ha ocurrido un problema, lo cuál que limita la capacidad de garantizar una inocuidad alimentaria efectiva desde el origen del proceso productivo.

Hay organizaciones que conocen muy bien su actividad, las cuales manipulan los alimentos con un sentido de responsabilidad y respeto hacia la limpieza, pero

que desafortunadamente no saben cómo traducir ese cuidado cotidiano en un plan adecuado para puntos críticos de control, ni cómo identificar los peligros y riesgos asociados. No porque no les importe la inocuidad, sino porque nadie les ha explicado con palabras sencillas qué significa un peligro biológico o cómo verificar la eficacia de un control más allá del cumplimiento de un requisito normativo.

Un aspecto preocupante es la implementación fragmentada o ausente de los programas básicos exigidos normalmente, como limpieza, control de plagas o mantenimiento de equipos. En la mayoría de las organizaciones nuevas o en proceso de crecimiento o mejora, estas actividades existen de manera empírica porque "así lo hemos hecho siempre", pero desafortunadamente no están documentadas o estandarizadas, lo que claramente limita, debilita o evita su efectividad. Es necesario comprender que exigir el cumplimento de un estándar técnico sin brindar las condiciones para alcanzarlo es tan injusto como ineficaz. La falta de trazabilidad, esa capacidad para devolverse en el tiempo es otro punto crítico. En teoría, cada alimento debería poder rastrearse desde su origen hasta el consumidor. Pero en la práctica, cuando un productor usa insumos de varios proveedores informales, o cuando no tiene acceso a etiquetas, registros ni tecnología, esto se vuelve casi imposible. Aquí no se trata de inocuidad; también hablamos de responsabilidad legal, de protección al consumidor y de legalidad comercial.

Desde un aspecto técnico como la ingeniería, es necesario dejar de pensar únicamente en lo normativo y empezar a pensar en lo transformador, en el ingenio necesario para la mejora. Las normas son necesarias, pero no pueden aplicarse como una receta distante de la realidad, es necesario una inocuidad construida desde los procesos y para las personas. Necesitamos soluciones técnicas que sean alcanzables, escalables y culturalmente coherentes. Importante es recordar que cuando se habla de alimentos, se habla de productos además de trabajo, dignidad y salud. Con base en lo anterior es vital que el conocimiento se traduzca en herramientas útiles, comprensibles y justas para quienes sostienen, con sus manos, el sistema alimentario de nuestra comunidad, región o país. Necesitamos menos castigo y más acompañamiento.

NORMATIVIDAD EN INOCUIDAD ALIMENTARIA PARA CONSUMIDORES Y EMPRESAS

La inocuidad alimentaria en América Latina juega un papel fundamental: por un lado, protege a los consumidores garantizando que los alimentos sean seguros y estén libres de riesgos. Por otro, puede convertirse en una barrera que excluye a aquellos que no pueden cumplir con sus exigencias. Encontrar el equilibrio adecuado es crucial para que la normativa cumpla su propósito sin dejar a nadie atrás. En una región donde, según datos recientes de la FAO y la OPS, millones de personas aún sufren las consecuencias de alimentos contaminados, como brotes recurrentes de salmonella, listeria y otras bacterias, contar con reglas normativas sólidas puede ser la diferencia entre la salud y la enfermedad. Para el consumidor, la normativa no es sólo un conjunto de reglas, sino también un espacio de confianza, seguridad y justicia que garantiza su bienestar.

Sin embargo, desde la perspectiva de las empresas como micros, pequeñas y medianas, la realidad es distinta, aunque las normas tienen la intención de mejorar los estándares de calidad, seguridad e inocuidad muchas veces son diseñadas con una mirada industrial macro que no toma en cuenta las condiciones culturales y reales de los pequeños actores del proceso. Algunos de los requisitos como la contratación de especialistas, la adaptación de infraestructuras o la implementación completa de sistemas HACCP, pueden convertirse en "barreras" difíciles de superar. Para un productor artesanal que ha trabajado durante años con prácticas tradicionales cumplir con estos requerimientos no siempre es viable, no por falta de voluntad, sino por limitaciones económicas y operativas.

IMPACTO EN LOS CONSUMIDORES

1. Protección de la salud y prevención de enfermedades

Los principales objetivos de las normas de higiene y seguridad alimentaria son:

- Reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).
- Fortalecer la resiliencia frente a la inseguridad alimentaria y el refuerzo de las capacidades de prevención, control y diagnóstico.

Las normas están destinadas a garantizar que los alimentos sean poco propensos a ser perjudiciales para el consumidor cuando se preparan y/o consumen de acuerdo con las condiciones de uso del producto alimenticio, tal como se pretende que se utilice. Estas directrices son importantes porque las ETA pueden tener graves implicaciones para la salud pública, que incluyen hospitalizaciones prolongadas e incluso la muerte. El objetivo principal de esta regulación es realmente la identificación y control de los agentes más relevantes vinculados a las ETA que están globalmente asociados con productos de origen animal como carnes, productos lácteos y huevos.

2. Garantía de productos seguros y de calidad

La normalización establece especificaciones claras para los productos y procesos, asegurando que sean confiables y seguros para el consumidor. Estas normas son fundamentales para mantener la integridad de la cadena de suministro alimentaria, desde la producción hasta la distribución. La inocuidad alimentaria se considera una característica esencial e innegociable, esto significa que cualquier alimento que llegue al consumidor debe ser seguro para su consumo, sin riesgo de contaminación o ETAS.

La calidad en la industria alimentaria implica que los productos no sólo deben ser saludables, sino también seguros. Hace referencia a los ingredientes utilizados y a los procesos productivos de transformación, almacenamiento y transporte de los alimentos. Es por ello por lo que se considera importante la implementación de sistemas como HACCP, ya que permiten identificar y controlar posibles riesgos en cada etapa del proceso, garantizando así que se mantengan altos estándares de calidad.

En un mundo donde los consumidores están cada vez más informados y preocupados por su salud, la responsabilidad recae en los productores. Los consumidores también deben ser proactivos en la búsqueda de información sobre los productos que consumen. Ejercer buenas prácticas de manipulación de alimentos, como el lavado adecuado de frutas y verduras o el almacenamiento correcto de los alimentos, es crucial para garantizar su seguridad. Es muy común en la actualidad ver que muchas veces la contaminación del alimento se da por el manejo y el almacenamiento que le da consumidor y no directamente porque haya salido contaminado de la empresa.

3. Mayor confianza y satisfacción

La implementación de medidas de calidad e inocuidad en la industria alimentaria es fundamental para generar confianza en el consumidor. Cuando las empresas (fábricas de alimentos y restaurantes) adoptan estándares rigurosos y prácticas transparentes, los consumidores pueden llegar a sentirse más seguros porque están eligiendo un producto limpio. Esta confianza se traduce en una mayor satisfacción, lo que es decisivo tanto para el consumidor nacional como para el turista o consumidor del extranjero.

El conocimiento y la aplicación de herramientas como certificaciones de calidad, auditorías regulares y formación continua del personal son elementos clave que fortalecen esta confianza. La experiencia del cliente se enriquece cuando perciben un producto con un compromiso con la calidad. En caso de un restaurante, la atención minuciosa a los detalles, desde la selección de ingredientes frescos hasta la presentación de los platos, contribuye a crear momentos inolvidables para los comensales.

La satisfacción del cliente se mide en términos de experiencia directa, también en la fidelización a largo plazo. Un consumidor satisfecho es más propenso a regresar y recomendar el establecimiento a otros. En el caso del turismo, esto puede traducirse en reseñas positivas y recomendaciones boca a boca, invaluables en la actualidad, donde la era digital gana espacio. En conclusión, al priorizar la calidad e inocuidad, los establecimientos cumplen con responsabilidades éticas y legales, y además construyen relaciones sólidas con sus consumidores.

4. Grupos vulnerables

El impacto de los alimentos contaminados es especialmente alarmante en grupos vulnerables, como los infantes y los adultos mayores. Estos segmentos de la población son más susceptibles a las enfermedades transmitidas por alimentos debido a su sistema inmunológico más débil y a su menor capacidad para combatir infecciones. La exposición a alimentos inseguros puede tener consecuencias devastadoras, que van desde enfermedades leves hasta complicaciones graves e incluso la muerte.

Las malas condiciones higiénicas en comedores escolares y restaurantes representan un riesgo significativo y pueden ser el punto de partida para el desarrollo de brotes de infecciones o intoxicaciones. Es importante considerar que los adultos mayores, son igualmente propensos a sufrir complicaciones severas debido a la ingesta de alimentos contaminados. En muchos casos, estos individuos pueden estar bajo

tratamientos médicos que debilitan aún más su sistema inmunológico, lo que agrava el riesgo al que están expuestos.

Abordar las condiciones higiénico-sanitarias en comedores escolares y otros lugares donde se alimenta a grupos vulnerables es esencial. Invertir en infraestructura adecuada, realizar inspecciones regulares y fomentar una cultura de seguridad alimentaria puede marcar una diferencia significativa en la salud pública.

5. Derecho a la información

Los consumidores tienen un derecho fundamental a recibir información clara y precisa sobre la composición, calidad y riesgos potenciales de los productos que adquieren. Este derecho es esencial para empoderar a los consumidores, permitiéndoles tomar decisiones informadas que afecten su salud y bienestar.

La transparencia en la etiquetación de productos es un aspecto crucial de este derecho. Los consumidores deben poder acceder a información detallada sobre los ingredientes, el origen de los productos, y las prácticas de producción utilizadas. Esto incluye la lista de ingredientes, la información sobre alérgenos y aditivos que podrían representar un riesgo para ciertas personas. Una etiquetación clara y comprensible ayuda a prevenir reacciones adversas y fomenta una elección más consciente.

Además, conocer la calidad de un producto es vital. Los consumidores deben estar informados sobre las certificaciones de calidad que un producto pueda tener, así como sobre los métodos de producción empleados. Por ejemplo, saber si un alimento es orgánico, libre de transgénicos o producido bajo estándares de comercio justo puede influir en las decisiones de compra de muchos consumidores preocupados por la sostenibilidad y el impacto social de sus elecciones.

El acceso a esta información también debe incluir advertencias sobre riesgos potenciales asociados con el consumo del producto. Esto es especialmente relevante en el caso de alimentos procesados o productos químicos que puedan tener efectos adversos para la salud si se consumen en exceso o si no se utilizan correctamente. La educación del consumidor juega un papel clave. Se trata de proporcionar información y de asegurarse de que los consumidores comprendan cómo interpretarla. Por otro lado, se fomenta una cultura de transparencia que beneficia a los consumidores, y que también puede mejorar la reputación y la confianza hacia las marcas. Las empresas que son claras sobre sus prácticas y que priorizan el bienestar del consumidor, tienden a ganar lealtad y preferencia en el mercado.

IMPACTO EN LAS EMPRESAS:

1. Cumplimiento y acceso a mercados

Para crecer y ser competitivo en el mercado, especialmente el internacional, las organizaciones deben demostrar que sus productos se producen, procesan, empacan y comercializan con altos estándares de calidad e inocuidad.

El cumplimiento de sistemas de inocuidad alimentaria, como el HACCP, así como de normas de calidad reconocidas a nivel mundial, como ISO, no sólo asegura

la integridad del producto, sino que también abre las puertas a la participación en mercados altamente competitivos.

Actualmente, la demanda por parte de clientes informados ha llevado a un aumento en la exigencia de normas estrictas y productos que cumplan con ellas. Este fenómeno no se limita a los mercados locales, sino al ámbito internacional, donde las empresas deben adaptarse a diferentes regulaciones y expectativas para poder acceder a nuevas oportunidades comerciales. En este sentido, contar con certificaciones adecuadas mejora la reputación de la empresa y traduce en una ventaja competitiva significativa frente a aquellos competidores que no cumplen con estos estándares.

Si hablamos de licitaciones de gobierno, el alcanzar certificaciones y dar cumplimiento normativo se han convertido en requisitos obligatorios. Exigencia que de cierta forma garantiza que las empresas participantes no solo cumplan con los estándares establecidos, sino que también aseguren la calidad en los productos entregados. Cuando las empresas alcanzan estas certificaciones, tienen la oportunidad de destacar su compromiso con la excelencia y la transparencia en sus procesos. Este cumplimiento se traduce en una ventaja competitiva durante el proceso de licitación, actúa como una vitrina para exhibir el trabajo y la dedicación que la empresa ha invertido en su desarrollo.

En cuanto a los consumidores y demás agentes de la cadena de producción, ver que una empresa cuenta con el respaldo del gobierno a través de estos requisitos genera confianza. La percepción de que un producto está avalado por estándares oficiales refuerza la credibilidad de la empresa y fomenta una relación más sólida con sus clientes. En un entorno donde la calidad y la seguridad son primordiales, las certificaciones son un requisito legal, son una herramienta estratégica para construir una reputación sólida y duradera.

2. Mejora de procesos y productos

La implementación de sistemas de gestión de inocuidad y seguridad alimentaria, como la norma ISO 22000, tiene como objetivo principal mejorar significativamente las prácticas y procesos relacionados con la calidad e inocuidad de los productos. Estos sistemas son un marco normativo, ofrecen una serie de herramientas y metodologías que permiten a las organizaciones identificar, evaluar y controlar los peligros que pueden surgir a lo largo de toda la cadena de valor.

Al adoptar ISO 22000, las empresas establecen un enfoque sistemático para la gestión de la inocuidad alimentaria, lo que implica una revisión continua de sus procesos. Esto incluye desde la selección de proveedores y la recepción de materias primas, hasta la producción, almacenamiento y distribución del producto final. Al abordar cada uno de estos eslabones, se minimizan los riesgos potenciales que podrían comprometer la calidad del producto.

3. Reducción de costos y pérdidas

La implementación de una gestión eficiente de la inocuidad alimentaria garantiza la seguridad de los productos, puede resultar en una notable reducción de costos

y pérdidas asociadas al manejo y proceso del alimento. Una gestión de procesos puede llevar a una disminución significativa en las mermas durante la recepción, almacenamiento de materias primas, procesamiento, almacenamiento y transporte de producto final, así como en el rechazo de preparaciones finales. Jácome et al. (2021), mencionan un estudio de caso que demostró que las empresas que adoptaron el sistema ISO 22000 experimentaron mejoras sustanciales en indicadores clave como la cantidad de producto desechado y las quejas o devoluciones por parte de los consumidores.

Estas mejoras estadísticas se traducen en ahorros que pueden fortalecer la posición financiera de una empresa. La reducción del desperdicio implica menos costos directos relacionados con la compra y almacenamiento de materias primas, optimiza el uso de recursos, lo que resulta en una operación más eficiente y rentable.

Por otro lado, es crucial considerar las consecuencias de no cumplir con las normativas de inocuidad. La falta de cumplimiento puede llevar a problemas graves, como cierre de establecimientos, intoxicaciones o infecciones en consumidores al ingerir un alimento no seguro, generando de manera directa la quiebra. En un entorno donde los consumidores están cada vez más informados y exigentes respecto a la calidad y seguridad alimentaria, las empresas deben estar preparadas para competir. Las sanciones legales pueden ser costosas, pero los costos asociados con la pérdida de reputación y clientes pueden ser aún más devastadores.

Una mejor gestión de la inocuidad puede llevar a la reducción de mermas en el almacenamiento de materias primas y el rechazo de preparaciones. Un estudio de caso mostró mejoras en indicadores como producto desechado y quejas/devoluciones tras implementar ISO 22000. La falta de cumplimiento puede llevar a la quiebra por la competencia internacional, lo cual puede ser más costoso que las sanciones legales. El impacto económico de las ETA incluye pérdidas en el sector industrial.

4. Desafíos y barreras:

Costos: La implementación y mantenimiento de sistemas de gestión y el cumplimiento de normas puede elevar los costos de producción. Las empresas pueden tener temor a acogerse a normas internacionales por los costos asociados. Las barreras económicas son uno de los impedimentos encontrados.

- **Infraestructura y capacitación:** Se requiere inversión en organización, infraestructura y capacitación del personal.
- **Adecuación de procesos:** Puede implicar introducir cambios en procesos artesanales o tradicionales.
- **Barreras de implementación:** Existen diversas barreras para implementar sistemas de seguridad alimentaria con éxito, especialmente en países en desarrollo, incluyendo barreras de gestión, económicas, técnicas y de comunicación.
- **Requiere liderazgo y documentación:** Implementar normas como ISO 22000 requiere liderazgo y compromiso de la alta dirección, así como control y documentación adecuada de los procesos y sus requisitos.

- Impacto diferenciado: El diseño de normas que favorecen la producción agroalimentaria a gran escala pueden tener efectos adversos significativos en la producción primaria y artesanal. A menudo, estas medidas, que buscan estandarizar procesos y garantizar la inocuidad alimentaria, terminan desplazando a los pequeños productores, quienes enfrentan dificultades para cumplir con exigencias que por el bajo volumen de producción se convierte en un proceso poco rentable.

Las exigencias impuestas a la gran industria a veces se aplican de manera indiscriminada a la producción familiar o artesanal, ignorando las diferencias fundamentales en los métodos de producción y las capacidades de cada tipo de productor. Esta falta de diferenciación puede llevar a que pequeños agricultores y productores artesanales no solo pierdan su capacidad competitiva, sino también su fuente de ingresos y su modo de vida. Se vuelve un mercado con el que se dificulta competir.

Un ejemplo claro se observa en países como Ecuador (Bravo, 2017), donde la implementación de ciertas normativas ha generado preocupación entre los productores artesanales de queso. Estos productores, que a menudo utilizan métodos tradicionales y recursos locales, se ven presionados por regulaciones que no consideran su contexto específico. La necesidad de cumplir con estándares que pueden ser más apropiados para grandes industrias puede resultar en costos adicionales insostenibles para ellos.

Por lo tanto, es fundamental que las políticas y regulaciones agroalimentarias sean diseñadas con un enfoque inclusivo que reconozca las particularidades de los diferentes tipos de producción. Esto permitirá no solo proteger a los pequeños productores, sino también fomentar un sistema agroalimentario más justo y sostenible. Las normas que favorecen la producción agroalimentaria a gran escala pueden afectar negativamente a la producción campesina y artesanal, desplazando la pequeña producción.

CONCLUSIONES

La inocuidad alimentaria en América Latina no puede continuar bajo la perspectiva de una exigencia técnica o un cumplimiento normativo, es necesario comprenderse como un compromiso profundo con la vida, la salud pública y la dignidad de quienes producen y consumen alimentos cada día. Si bien contamos con marcos legales e instrumentos internacionales valiosos como el *Codex Alimentarius*, el sistema HACCP o normas nacionales, la realidad es que su implementación enfrenta grandes desafíos, especialmente en los contextos rurales y en los pequeños productores. En la mayoría de veces, estas normativas se diseñan pensando en la gran industria, sin tener en cuenta las condiciones reales de quienes aún conservan, desarrollan y promueven saberes tradicionales o ancestrales, pero que carecen de infraestructura, asistencia técnica y acompañamiento ajustado y consistente.

Por eso, ahora es necesario mejorar la forma en que abordamos la inocuidad: una que sea más inclusiva, más humana y más consciente de las desigualdades estructurales. Los gobiernos tienen la responsabilidad de pasar de ser entes reguladores distantes a convertirse en aliados y facilitadores del cambio. Esto implica ajustar las metodologías para lograr una implementación ajustada y progresiva, brindando formación adaptada a las realidades locales y, sobre todo, tender puentes entre el

conocimiento técnico y la sabiduría campesina, recordando que cuando una norma se convierte en una barrera, deja de cumplir su función social. Para garantizar alimentos seguros, debemos empezar por proteger y fortalecer a quienes los producen, acompañando al pequeño productor con herramientas comprensibles, accesibles y contextualizadas dirigidas a la mejora de la calidad en procesos agrícolas y los alimentos, para dignificar el trabajo rural y la preservación del patrimonio cultural alimentario de nuestros pueblos.

En conjunto, estos esfuerzos ayudan a construir un sistema alimentario más seguro, ajustado y confiable, que favorece la salud pública, respeta la diversidad cultural, fortalece la equidad social y promueve la confianza de todos los integrantes del sistema. La inocuidad no debe ser un privilegio de quienes pueden pagarla, sino un derecho que entre todos podemos construir; sólo así lograremos un sistema alimentario más justo para toda América Latina. México y Colombia, como ejemplos regionales, muestran que con un enfoque integral, flexible y humano se podrá garantizar un sistema alimentario seguro, justo y sostenible para todas las comunidades.

REFERENCIAS

Bernal Sanez, L. M. (2014). Fssc22000-1. Una Visión del Sistema de Certificación. *Revista especializada en ingenieria UNAD*, 151-159.

Bravo, E. (2017). De cómo las normas sanitarias y de inocuidad de los alimentos atentan contra la producción campesina del Ecuador. *Antropología Cuadernos de Investigación,*(17), 56-70.

Castilla Pinedo, Y., Joly Herrera, E., & Mercado Martínez, I. (2011). Seguridad alimentaria del programa Apadrinamiento y nutrición, de la fundación mamonal en Cartagena, Colombia. *Revista Lasallista de Investigación, 8*(I), 61-67.

González Enríquez, L. R., & García Pérez, E. (2022). Implementación de un sistema de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en una comercializadora de alimentos. *Conciencia tecnológica*(63).

Guirette-Barbosa, O., Badillo de Loera, J., Oliván-Tiscareño, M., Ortiz-Romero, V., & Durán-Muñoz, H. (2021). Implementación de una herramienta de seguridad alimentaria en empresas de Zacatecas. *Conciencia Tecnológica*(61).

Guzmán Romero, J. A., & Rubio Lozano, M. S. (2020). Prácticas actuales que amenazan la inocuidad de la carne de bovino en México. *Nacameh, 14*(2), 78-98.

Jácome Castilla, N. J., Jácome Castilla, E. L., & Jácome Castilla, E. H. (2021). Metodología para la identificación de barreras en los procesos de certificación en inocuidad alimentaria: Estudio de caso en la industria cárnica de bovino de la ciudad de Cúcuta. *Revista boletin REPIDE* , 476-497.

Méndez Barrón, R. (Julio - Diciembre de 2021). Inocuidad, normatividad y calidad como estrategia competitiva: experiencias en el sector porcícola de México y Sonora. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 31*(58), 1-29.

Mercado , C. E. (2007). Los ámbitos normativos, la gestión de la calidad y la inocuidad alimentaria: una visión integral. *Agroalimentaria, 12*(24), 119-131.

Navarrete Canchón, D. C. (2016). Consideraciones sobre la seguridad alimentaria en la primera infancia en Colombia. *EDUSOL, 16*(57), 1-13.

Ortega Ibarra, E., & Hernández Jiménez, A. (2019). Manejo higiénico en el servicio de alimentos: Codex Alimentarius y Normas Oficiales Mexicanas. *UServa*(6), 77-83.

Paucar Luna , J., Vásquez Pajuelo, L., & Navarrete Ormeño , M. E. (2021). La inocuidad en la elaboración de alimentos en restaurantes de comida peruana para emprendedores, *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, 21*, 57-65.

Paz, P. C., Galvis C, E. A., & Argote, F. E. (2007). La comunicación organizacional en la implementación de procesos de ISO 22000 en empresas de producción de alimentos. *Facultad de Ciencias Agropecuarias, 5*(1).

Vilca, M. (2019). Determinación de las normas de inocuidad y calidad en el Asparagus Officinalis peruano. *Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas*, 31-35.









CAPÍTULO IX

RELACIÓN DE HÁBITOS ALIMENTICIOS Y RENDIMIENTO ACADÉMICO EN ESTUDIANTES DEL CAMPUS IV DE LA UNACH

Margarita Concepción Valencia Ruiz[1]

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo enfrenta un problema grave de malnutrición, derivado de los excesos, carencias y desequilibrios del consumo de nutrientes que cada persona requiere para tener un adecuado desarrollo físico y mental. Este desequilibrio de carencias y excesos alimenticios se encuentra dividido en dos grupos: los que padecen malnutrición y los que tienen sobrepeso u obesidad (Maza et al., 2022), mismas que están marcadas por las condiciones económicas, políticas, culturales y sociales que se viven en el mundo, que han generado cambios en la alimentación de las personas, trayendo consigo consecuencias poco favorables sobre todo para la salud (Galán, 2021).

Si bien es cierto que mucho se habla de la importancia de llevar una adecuada alimentación basada en una dieta sana y equilibrada, la realidad es que las cifras por muertes ocasionadas por enfermedades crónicas no transmisibles como son la obesidad, la diabetes, los problemas cardiovasculares, así como la insuficiencia renal, son cada día más altas, no sólo de las personas adultas sino también de jóvenes y niños. Lo anterior, derivado de una mala alimentación basada en un alto consumo de grasas saturadas, azúcares y otros carbohidratos, además de ir acompañados de una baja actividad física (Galán, 2021).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2024), las enfermedades crónicas no transmisibles se han incrementado durante el periodo 2023-2024, de la siguiente manera: enfermedades del corazón 2.4%, diabetes mellitus 2.9%, enfermedades cerebrovasculares 1%, siendo la insuficiencia renal la que más incremento ha

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

tenido con el 10.8%, representando una proporción significativa de las muertes anuales. Aunque la obesidad no se reporta directamente como causa de muerte, en las estadísticas oficiales la realidad es que representa un factor de riesgo significativo para muchas de las enfermedades mencionadas anteriormente.

Por otra parte, aunque el desarrollo social y económico ha permitido mejorar el nivel de vida de las personas, también es cierto que ha modificado los patrones de consumo de alimentos, así como sus estilos de vida, generando, sobre todo en la población joven, problemas de obesidad, hipertensión arterial, diabetes mellitus, enfermedades cardiovasculares e incluso algunos tipos de cáncer (Maza et al., 2022). De acuerdo con estos nuevos estilos de vida, Jimeno y Esteve (2021), comentan que los estudiantes universitarios pertenecen a un grupo vulnerable propenso a adquirir hábitos alimenticios poco saludables, como resultado de largas horas de estudios, clases en diversos horarios que les impiden tener un control en la ingesta de alimentos, separación en algunos casos de la familia, así como un aumento de la vida nocturna y, generalmente, escasez de recursos económicos para la compra de alimentos saludables.

No es de extrañar que los estudiantes universitarios no dediquen el tiempo suficiente a cuidarse y llevar una dieta sana y equilibrada, la cual resulta fundamental frente al peligro de las enfermedades crónicas no transmisibles y el deterioro de los procesos cognitivos como son la memoria y la atención (Ibarra et al., 2019). Las instituciones educativas son voz autorizada para crear conciencia sobre el tema que permita alcanzar la excelencia académica de sus estudiantes a través del diseño de estrategias de intervención colectiva que contribuyan a que los estudiantes vivan en armonía en todas las áreas de su contexto.

Por ello, la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), en el marco del Programa de Desarrollo Institucional 2022-2026, contempla el eje denominado *Bienestar universitario y medio ambiente sostenible*, el cual hace referencia a una serie de programas y servicios que proporcionan, primordialmente, apoyo a la comunidad estudiantil en su trayectoria universitaria con el objetivo de mejorar su experiencia educativa y promover su éxito académico y personal. Este concepto abarca una variedad de áreas, incluyendo la salud física y mental, el desarrollo académico, la orientación y el asesoramiento, la participación en actividades extracurriculares y deportivas, y el acceso a la manutención, todo ello, de forma asequible y con criterios de inclusión (Programa de Desarrollo Institucional 2022-2026).

Partiendo de la problemática de identificar la importancia y necesidad de cuidar los hábitos alimenticios de los estudiantes universitarios en la escuela de sistemas alimentarios se lleva a cabo la investigación *Relación de hábitos alimenticios y rendimiento académico en estudiantes del Campus IV de la UNACH.* Lo anterior para analizar los hábitos alimenticios, la disponibilidad, el acceso físico-económico y la calidad e inocuidad de los alimentos que consumen dentro de la institución.

BREVE CONTEXTO

El campus IV de la UNACH está compuesto por cuatro facultades, ciencias agrícolas, negocios, ciencias de la administración y ciencias químicas; tres escuelas, lenguas,

humanidades y medicina humana; dos coordinaciones académicas, derecho y sistemas costeros y un instituto de biociencias, en los cuales se imparte un total de 18 programas académicos que albergan a una población total de 5,384 estudiantes. Sin embargo, es importante aclarar que para este apartado sólo se presentarán los resultados obtenidos de tres escuelas ubicadas en el Campus IV, de Derecho, Humanidades y Sistemas Costeros.

Cada centro educativo cuenta con sus propias instalaciones que constan de salones para clases, centros de cómputo, biblioteca, cubículos para maestros y oficinas administrativas, así como con una cafetería con excepción de la Escuela de Humanidades quienes consumen sus alimentos en la cafetería de la Escuela de Sistemas Alimentarios, ubicada dentro del mismo edificio, mientras que los estudiantes de sistemas costeros tienen que salir del edificio para comprar sus alimentos en los establecimientos más cercanos o en su caso llevar su desayuno.

MÉTODO

Esta investigación se realizó bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance no experimental de tipo descriptivo-explicativo, de corte transversal, con un muestreo probabilístico aleatorio simple.

POBLACIÓN

La población objeto de estudio son las escuelas de Sistemas Costeros (69), Humanidades (620) y Derecho (392), las cuales conforman una población total de 1081 estudiantes, matriculados durante el periodo agosto-diciembre del año 2024.

MUESTRA

Para la selección de la muestra se utilizó una aplicación de *QuestionPro* (s.f.), que permite de manera automática calcular la muestra, estableciéndose un nivel de confianza del 95%, un margen de error del 5%.

Para seleccionar a los participantes en la investigación se tomó una muestra por escuela, quedando de la siguiente manera: Sistemas costeros (60), humanidades (238) y derecho (196) siendo una muestra total de 494 participantes.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Para llevar a cabo la selección de los estudiantes que participaron en la investigación se tomaron en cuenta los siguientes criterios de inclusión: Ser estudiante del campus IV de la UNACH, **e**star matriculado en el ciclo lectivo agosto-diciembre 2024 y aceptar el consentimiento informado.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se diseñó un cuestionario a través de G*oogle forms* el cual constó de un total de 41 preguntas abiertas y cerradas que contemplaron respuestas

de opción múltiples, cerradas y abiertas, las cuales estuvieron distribuidas en cinco secciones: características sociodemográficas, características antropométricas, disponibilidad de alimentos y capacidad para adquirirlos, hábitos alimenticios dentro y fuera de la universidad y patrones alimenticios.

ANÁLISIS DE DATOS

Para analizar los datos estadísticos se utilizó el programa IBMS SPSS versión 2.0, para obtener medidas de tendencia central, usándose porcentajes, medias, medianas y modas, así como desviaciones para la descripción de las variables cuantitativas y cualitativas.

Asimismo, para el análisis del rendimiento académico de los estudiantes se tomó como referencia su promedio general del semestre anterior cursado para determinar la relación que existe entre su rendimiento académico y sus hábitos alimenticios, para ello se utilizará la prueba de Chi-cuadrado aceptándose un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS

Para entender cómo está conformado el grupo de estudiantes encuestados, se presentan los resultados de la variable características sociodemográficas (Tabla 1), la cual es fundamental para comprender las condiciones de vida y las necesidades específicas de los distintos grupos sociales, sobre todo en el caso de los estudiantes universitarios, las cuales influyen directamente en su acceso y disponibilidad de alimentos.

Tabla 1.
Características sociodemográficas de los estudiantes por escuela.

Valor		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sistemas Costeros		
Sexo	Masculino	92	113	29	234	234
	Femenino	104	125	31	260	494
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Edad	18-19 años	105	71	18	194	194
	20-21 años	35	62	24	121	315
	22-23 años	28	54	10	92	407
	24-26 años	28	51	8	87	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Estado civil	Soltero (a)	191	230	60	481	481
	Casado (a)	5	8		13	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Estrato económico familiar	Ingresos Mensuales de $50,000 a $77,975	32		11	43	43
	Ingresos Mensuales de $30,000 a $49,999	31	68	10	109	152
	Ingresos Mensuales de $23,451 a $29,999	45	72	12	129	281
	Ingresos Mensuales de $6,223 a $22,999	88	98	27	213	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Beca	Si	11	7	9	27	27
	No	185	231	51	467	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Al analizar la tabla anterior, se observa que el 39.3% (194) de los estudiantes universitarios son jóvenes entre los 18 y 19 años, el 97.4% (481) son solteros y el 52.6% (260) son mujeres, asimismo, un alto porcentaje 43.1% (213) proviene de hogares con ingresos menores a 29,000 pesos mensuales, lo que puede afectar su acceso a alimentos, salud y rendimiento académico, además de que el 94.5% (467) carece de algún tipo de beca, pese al contexto económico adverso, lo que sugiere inequidad en el acceso a apoyos institucionales, por lo que se deduce que estas características influyen de manera importante y significativa en sus decisiones alimenticias.

De acuerdo con Alzate (2019), para que la alimentación sea saludable debe cubrir las necesidades de micro y macronutrientes, fibra y agua, por lo que debe incluir alimentos de diferentes grupos y en cantidades apropiadas, sin llegar a los excesos pues algunos de ellos pueden representar un riesgo para la salud, además de ser inocua, y dependerá de la edad, sexo, estado fisiológico y el grado de actividad física que la persona realice. La guía de alimentación correcta y saludable para la población mexicana implementada por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2019), dice que la ingesta de alimentos al día debe de ser en 5 momentos, los cuales constan de desayuno, colación, almuerzo, colación y cena, ya que de acuerdo con (Ibarra et al., 2019), lo anterior contribuye a una correcta distribución de las calorías durante el día y se evita llegar al almuerzo con una necesidad compulsiva de comer.

Sin embargo, como podemos observar en la tabla 2, únicamente el 10.3% de los estudiantes cumple con la guía de alimentación correcta implementada por el IMSS (2019), esto constituye un indicador clave de su estado de salud y calidad de vida, ya que permite comprender si su alimentación es suficiente y equilibrada, y si están cumpliendo con las recomendaciones básicas para una nutrición saludable, sin embargo, es importante aclarar que muchos de los estudiantes pueden omitir el desayuno debido a la falta de tiempo, preferencia por dormir más, dificultad para encontrar alimentos saludables, incluso por la influencia de factores económicos o sociales, ya que la falta de hambre matutina también es un factor que los orilla a saltarse el desayuno, así como la percepción de que saltarse el desayuno ayuda a controlar el peso.

Tabla 2.
Número de comidas que realizan.

Valor		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		
Numero de comidas	De 1 a 2 comidas diarias	75	72	21	168	168
que realizan	3 comidas diarias	60	63	21	144	312
	4 comidas diarias	33	52	9	94	406
	5 comidas diarias	0	51	0	51	457
	más de 5 comidas	28	0	9	37	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

En este contexto, la preparación de alimentos en la etapa universitaria es una práctica que influye directamente en la calidad de la alimentación y, por ende, en la salud y el rendimiento académico de los estudiantes. Sin embargo, el tiempo que

se dedica a esta actividad varía según factores como la carga académica, el acceso a una cocina equipada, las habilidades culinarias, y los hábitos personales o familiares adquiridos, ya que para muchos estudiantes, especialmente aquellos que viven solos o lejos de su familia, la preparación de alimentos representa una necesidad diaria y un desafío logístico.

En este contexto, conocer cuánto tiempo destinan los universitarios a cocinar permite entender mejor sus rutinas alimentarias, su nivel de autonomía y su compromiso con una alimentación más saludable. Además, permite identificar tendencias como la preferencia por comidas rápidas, el uso de alimentos procesados o la dependencia de servicios de comida preparada. Por lo que de acuerdo con la tabla 3, el tiempo que tardan en preparar los alimentos es el siguiente:

Tabla 3.
Tiempo que ocupan en la preparación de sus alimentos.

	Valor	Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sist Costeros		
Tiempo que destinan para	De 1 hora a 1 hora y media	32	40	8	80	80
preparar sus alimentos	De 1 hora y media a 2	12	28	6	46	126
	De 2 horas a 2 horas y media	0	0	1	1	**127**
	Total	**44**	**68**	**15**	**127**	

La mayoría de los estudiantes que preparan sus alimentos lo hacen en un rango de 1 a 1.5 horas 63% (80) lo que indica que buscan comidas relativamente prácticas, ya que el tiempo prolongado para cocinar es poco común, lo cual puede deberse a rutinas académicas exigentes o falta de recursos (como cocina equipada), por otra parte, la baja participación de estudiantes de Sistemas Costeros 12% (15) podría indicar una menor autonomía alimentaria o dependencia de comida preparada o comprada.

Tabla 4.
Disponibilidad, acceso y lugares frecuentes donde consumen sus alimentos.

	Valor	Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sistemas Costeros		
Acceso a tiendas de	Si	112	127	33	272	272
Autoservicios	No	84	111	27	222	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Lugares donde suelen	Casa	85	93	36	214	214
consumir sus alimentos	Lugares cercanos a donde vive	32	69	11	112	326
	Cafetería de la Escuela	42	74	0	116	442
	Lugares cercanos a la cafetería de la escuela	37	2	13	52	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Recursos económicos	Siempre	40	43	12	95	95
disponibles para la compra	casi siempre	61	55	18	134	229
de alimentos	a veces	44	51	13	108	337
	Casi nunca	27	45	9	81	418
	Nunca	24	44	8	76	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Durante la etapa universitaria, muchos jóvenes enfrentan desafíos económicos, cambios en sus hábitos de vida, independencia del hogar familiar y nuevas responsabilidades, las cuales pueden afectar su capacidad para adquirir alimentos saludables, variados y suficientes, lo que, a su vez, repercute en su bienestar físico, emocional y académico, por lo que se presentan los resultados de la disponibilidad, el acceso y los lugares donde los alumnos más frecuentemente consumen sus alimentos (Tabla 4).

LA ALIMENTACIÓN, UN RETO PARA LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

La alimentación representa un aspecto esencial en el bienestar físico, mental y emocional de los seres humanos, especialmente en etapas de alta exigencia como la vida universitaria, sin embargo, para muchos estudiantes, mantener una dieta adecuada y equilibrada se ha convertido en un verdadero reto, ya que es durante la etapa universitaria que los jóvenes atraviesan un periodo de transición hacia la autonomía, en el que deben asumir la responsabilidad de su salud y nutrición. Al respecto, Bertrán (2015) señala que la alimentación no es una cuestión de hábitos sino de comportamientos, ya que los grupos humanos les dan un significado a los alimentos que en un momento guían su elección de acuerdo a edad, sexo, condición socioeconómica, estado fisiológico, imagen corporal y el prestigio entre otros.

Estos significados pueden ser externos que se relacionan con el ámbito doméstico, como son los horarios de clases, el acceso y disponibilidad de alimentos, la organización del tiempo, entre otros, mientras que los internos se relacionan con acciones producto de la adaptación doméstica a las condiciones externas y se expresan en las decisiones que de manera personal o grupal se toman, tales como: ¿Qué se come? ¿Dónde? ¿Cuándo? ¿Cómo se prepara? ¿Con quién? ¿Con qué? y ¿Por qué?

Por otra parte, si se toma en cuenta que los estudiantes en etapa universitaria están enfrentando el reto de vivir solos por primera vez, empiezan a experimentar la libertad de elegir lo que quieren comer y por ende hacerlo en el lugar y hora que ellos consideren, de acuerdo a sus horarios académicos, por lo que se concluye que los factores para decidir la alimentación son: el gusto, el tiempo de preparación y el presupuesto (Bertrán, 2015).

De acuerdo con Maza (2022), los jóvenes universitarios tienden a adoptar hábitos alimenticios debido a sus nuevos estilos de vida originados por diversos factores como son sus horarios de clases, la situación económica e incluso el consumo de alcohol y tabaco muchas veces es influenciado por otros estudiantes, por lo que se considera una población altamente vulnerable por su propensión a adquirir hábitos alimenticios poco saludables.

Más allá del tipo de alimentos que consumen, es igualmente importante considerar quién los prepara, ya que este factor influye directamente en la calidad, frecuencia y valor nutricional de las comidas. Para comprender mejor los hábitos alimenticios, la calidad de la dieta y los factores que influyen en su alimentación diaria, se presentan los resultados sobre quién prepara sus alimentos (Tabla 5).

Tabla 5.
Quién prepara sus alimentos.

Valor		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		
¿Quién prepara sus alimentos?	Mamá	65	63	20	148	148
	Yo mismo (a)	44	68	15	127	275
	Personas con las que vivo	36	55	10	101	376
	Estoy abonado (a)	22	0	7	29	405
	Compro alimentos ya preparados	29	52	8	89	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

La mayoría de los estudiantes se preparan su propia comida 55.7% (275), lo que refleja una tendencia hacia la autonomía alimentaria, pero también está asociado a factores como la falta de apoyo familiar, vivir solos o fuera de casa, y sobre todo a necesidades económicas, el 29.9% (148) señalaron que su mamá es quien les prepara los alimentos, lo que indica una mejor calidad alimentaria y menor gasto económico, el 20.4% (101) dijeron que otras personas con las que conviven preparan sus alimentos, lo cual indica una dinámica compartida que puede influir tanto en los hábitos alimenticios como en la organización del tiempo, el 18% (89) compran comida preparada, lo cual refleja falta de tiempo, habilidades para cocinar o preferencia por la conveniencia, aunque muchas veces se asocia con una alimentación menos saludable y más costosa y sólo 5.9% (29) de los estudiantes están abonados.

Con el fin de conocer qué tan balanceada est su alimentación, se les cuestionó a ambos grupos sobre qué alimentos solían comer de manera normal y con qué frecuencia lo hacían, para ello, se dividió la información en cinco secciones que son, frutas, verduras, carnes rojas y embutidos, lácteos y bebidas.

A continuación, se presenta el resultado del consumo de frutas.

Tabla 6.
Frutas que consumen ambos grupos.

Frutas / Frecuencia		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		
Mangos	Diario	35	52	9	96	96
	De 1 a 2 veces por semana	64	65	18	147	243
	De 3 a 4 veces por semana	44	62	17	123	366
	No consumen	53	59	16	128	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Piña	Diario	28	0	9	37	37
	De 1 a 2 veces por semana	63	79	21	163	200
	De 3 a 4 veces por semana	49	78	15	142	342
	No consumen	56	81	15	152	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Papaya	Diario	30	51	0	81	81
	De 1 a 2 veces por semana	52	62	17	131	212
	De 3 a 4 veces por semana	43	57	16	116	328
	No consumen	71	68	27	166	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Continúa...

Melón	Diario	34	51	9	94	94
	De 1 a 2 veces por semana	63	60	20	143	237
	De 3 a 4 veces por semana	46	61	16	123	360
	No consumen	53	66	15	134	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Sandia	Diario	39	52	9	100	100
	De 1 a 2 veces por semana	59	64	23	146	246
	De 3 a 4 veces por semana	53	56	15	124	370
	No consumen	45	66	13	124	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Peras	Diario	32	51	0	83	83
	De 1 a 2 veces por semana	50	65	18	133	216
	De 3 a 4 veces por semana	48	55	16	119	335
	No consumen	66	67	26	159	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Manzanas	Diario	53	55	15	123	123
	De 1 a 2 veces por semana	51	66	20	137	260
	De 3 a 4 veces por semana	55	56	14	125	385
	No consumen	37	61	11	109	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Platanos	Diario	53	53	11	117	117
	De 1 a 2 veces por semana	55	68	22	145	262
	De 3 a 4 veces por semana	52	63	16	131	393
	No consumen	36	54	11	101	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Naranjas	Diario	38	0	11	49	49
	De 1 a 2 veces por semana	66	85	25	176	225
	De 3 a 4 veces por semana	52	80	11	143	368
	No consumen	40	73	13	126	**494**
	Total	196	238	60	494	
Duraznos	Diario	34	0	0	34	34
	De 1 a 2 veces por semana	52	74	18	144	178
	De 3 a 4 veces por semana	50	76	22	148	326
	No consumen	60	88	20	168	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Las verduras son una fuente de vitaminas, minerales y fibra, esenciales para la salud y el resultado del consumo de verduras y granos en ambos grupos de estudiantes son los siguientes:

Tabla 7.
Verduras y granos que consumen ambos grupos.

Verduras y Granos /Frecuencia		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		
Papas	Diario	46	52	14	112	112
	De 1 a 2 veces por semana	66	73	21	160	272
	De 3 a 4 veces por semana	47	59	16	122	394
	No consumen	37	54	9	100	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Chayote	Diario	37	53	10	100	100
	De 1 a 2 veces por semana	61	62	21	144	244
	De 3 a 4 veces por semana	42	62	13	117	361
	No consumen	56	61	16	133	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Zanahoria	Diario	47	53	11	111	111
	De 1 a 2 veces por semana	60	68	24	152	263
	De 3 a 4 veces por semana	49	59	14	122	385
	No consumen	40	58	11	109	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Continúa...

Calabazas	Diario	33	51	9	93	93
	De 1 a 2 veces por semana	60	63	19	142	235
	De 3 a 4 veces por semana	43	61	16	120	355
	No consumen	60	63	16	139	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Brocoli	Diario	32	51	12	95	95
	De 1 a 2 veces por semana	62	65	21	148	243
	De 3 a 4 veces por semana	44	60	13	117	360
	No consumen	58	62	14	134	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Acelga	Diario	32	51	10	93	93
	De 1 a 2 veces por semana	51	62	14	127	220
	De 3 a 4 veces por semana	42	58	18	118	338
	No consumen	71	67	18	156	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Ejote	Diario	32	51	10	93	93
	De 1 a 2 veces por semana	51	62	14	127	220
	De 3 a 4 veces por semana	42	58	18	118	338
	No consumen	71	67	18	156	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Rabano	Diario	37	51	9	97	97
	De 1 a 2 veces por semana	57	67	17	141	238
	De 3 a 4 veces por semana	40	58	18	116	354
	No consumen	62	62	16	140	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Lechuga	Diario	46	56	15	117	117
	De 1 a 2 veces por semana	68	65	18	151	268
	De 3 a 4 veces por semana	44	58	16	118	386
	No consumen	38	59	11	108	**494**
	Total	196	238	60	494	
Espinaca	Diario	31	52	9	92	92
	De 1 a 2 veces por semana	52	58	13	123	215
	De 3 a 4 veces por semana	37	57	17	111	326
	No consumen	76	71	21	168	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Apio	Diario	31	51	10	92	92
	De 1 a 2 veces por semana	43	57	15	115	207
	De 3 a 4 veces por semana	38	55	16	109	316
	No consumen	84	75	19	178	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Tomate	Diario	70	62	21	153	153
	De 1 a 2 veces por semana	52	63	20	135	288
	De 3 a 4 veces por semana	38	61	19	118	406
	No consumen	36	52	0	88	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Pepino	Diario	51	55	14	120	120
	De 1 a 2 veces por semana	63	65	18	146	266
	De 3 a 4 veces por semana	44	64	18	126	392
	No consumen	38	54	10	102	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Cebolla	Diario	67	62	24	153	153
	De 1 a 2 veces por semana	47	62	17	126	279
	De 3 a 4 veces por semana	43	60	19	122	401
	No consumen	39	54	0	93	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Pimientos	Diario	36	57	10	103	103
	De 1 a 2 veces por semana	58	59	20	137	240
	De 3 a 4 veces por semana	43	57	17	117	357
	No consumen	59	65	13	137	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Frijos	Diario	49	54	12	115	115
	De 1 a 2 veces por semana	61	63	22	146	261
	De 3 a 4 veces por semana	47	65	16	128	389
	No consumen	39	56	10	105	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Habas	Diario	31	0	0	31	31
	De 1 a 2 veces por semana	34	70	14	118	149
	De 3 a 4 veces por semana	36	72	18	126	275
	No consumen	95	96	28	219	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Las carnes de origen animal aportan proteínas, vitaminas y minerales, por lo que se presenta el resultado del consumo de carnes y embutidos en ambos grupos.

Tabla 8.
Consumo de carnes y embutidos por ambos grupos.

Carnes y embutidos /Frecuencia		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sistemas Cost		
Pollo	Diario	51	55	17	123	123
	De 1 a 2 veces por semana	65	65	20	150	273
	De 3 a 4 veces por semana	51	66	13	130	403
	No consumen	29	52	10	91	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Pescado/Atún	Diario	34	0	11	45	45
	De 1 a 2 veces por semana	74	83	22	179	224
	De 3 a 4 veces por semana	42	77	12	131	355
	No consumen	46	78	15	139	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Carne de res	Diario	43	54	12	109	109
	De 1 a 2 veces por semana	72	72	24	168	277
	De 3 a 4 veces por semana	48	59	15	122	399
	No consumen	33	53	9	95	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Carne de puerco	Diario	34	51	10	95	95
	De 1 a 2 veces por semana	69	65	19	153	248
	De 3 a 4 veces por semana	46	57	12	115	363
	No consumen	47	65	19	131	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Chorizo	Diario	38	51	12	101	101
	De 1 a 2 veces por semana	73	72	21	166	267
	De 3 a 4 veces por semana	43	58	15	116	383
	No consumen	42	57	12	111	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Salchicha	Diario	42	53	12	107	107
	De 1 a 2 veces por semana	72	74	25	171	278
	De 3 a 4 veces por semana	44	59	14	117	395
	No consumen	38	52	9	99	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Jamón	Diario	44	55	11	110	110
	De 1 a 2 veces por semana	73	71	24	168	278
	De 3 a 4 veces por semana	45	60	16	121	399
	No consumen	34	52	9	95	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Mortadela	Diario	31	0	9	40	40
	De 1 a 2 veces por semana	41	69	13	123	163
	De 3 a 4 veces por semana	40	73	10	123	286
	No consumen	84	96	28	208	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Longaniza	Diario	33	0	9	42	42
	De 1 a 2 veces por semana	51	72	15	138	180
	De 3 a 4 veces por semana	38	74	14	126	306
	No consumen	74	92	22	188	**494**
	Total	196	238	60	494	

Los productos lácteos aportan numerosos beneficios para la salud humana, como el fortalecimiento de huesos y dientes, vitaminas y minerales como el calcio. Se presenta a continuación el consumo de ambos grupos.

Tabla 9.
Consumo de productos lácteos.

Lacteos /Frecuencia		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sistemas Cos		
Leche	Diario	67	63	18	148	148
	De 1 a 2 veces por semana	53	61	18	132	280
	De 3 a 4 veces por semana	40	60	14	114	394
	No consumen	36	54	10	100	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Yogurth	Diario	55	54	18	127	127
	De 1 a 2 veces por semana	62	72	23	157	284
	De 3 a 4 veces por semana	41	58	19	118	402
	No consumen	38	54	0	92	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Crema	Diario	39	0	11	50	50
	De 1 a 2 veces por semana	68	88	22	178	228
	De 3 a 4 veces por semana	40	76	15	131	359
	No consumen	49	74	12	135	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Queso	Diario	47	54	12	113	113
	De 1 a 2 veces por semana	67	69	23	159	272
	De 3 a 4 veces por semana	44	62	15	121	393
	No consumen	38	53	10	101	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Mantequilla	Diario	31	0	10	41	41
	De 1 a 2 veces por semana	64	79	12	155	196
	De 3 a 4 veces por semana	42	75	19	136	332
	No consumen	59	84	19	162	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Helados	Diario	40	51	11	102	102
	De 1 a 2 veces por semana	65	64	21	150	252
	De 3 a 4 veces por semana	44	57	18	119	371
	No consumen	47	66	10	123	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

El resultado de qué tipo de bebidas consumen y la frecuencia con que lo hacen es la siguiente:

Tabla 10.
Bebidas que consumen de manera regular.

Bebidas /Frecuencia		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidades	Sistemas Cos		
Agua pura	Diario	103	133	37	273	273
	De 1 a 2 veces por semana	32	0	11	43	316
	De 3 a 4 veces por semana	31	105	12	148	464
	No consumen	30	0	0	30	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Agua de frutas	Diario	75	58	25	158	158
	De 1 a 2 veces por semana	47	65	23	135	293
	De 3 a 4 veces por semana	44	62	12	118	411
	No consumen	30	53	0	83	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Te	Diario	34	0	13	47	47
	De 1 a 2 veces por semana	60	75	16	151	198
	De 3 a 4 veces por semana	38	73	13	124	322
	No consumen	64	90	18	172	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Continúa...

Café	Diario	65	67	20	152	152
	De 1 a 2 veces por semana	48	59	14	121	273
	De 3 a 4 veces por semana	36	54	13	103	376
	No consumen	47	58	13	118	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Refrescos	Diario	54	61	16	131	131
embotellados	De 1 a 2 veces por semana	53	63	19	135	266
	De 3 a 4 veces por semana	49	58	14	121	387
	No consumen	40	56	11	107	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Jugos	Diario	45	56	17	118	118
Embotellados	De 1 a 2 veces por semana	61	63	20	144	262
	De 3 a 4 veces por semana	51	56	9	116	378
	No consumen	39	63	14	116	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Bebidas	Diario	33	53	0	86	86
energeticas	De 1 a 2 veces por semana	47	54	16	117	203
	De 3 a 4 veces por semana	39	55	14	108	311
	No consumen	77	76	30	183	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Licor	Diario	30	68	0	98	98
	De 1 a 2 veces por semana	50	75	12	137	235
	De 3 a 4 veces por semana	37	0	15	52	287
	No consumen	79	95	33	207	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Vino	Diario	31	51	0	82	82
	De 1 a 2 veces por semana	34	53	16	103	185
	De 3 a 4 veces por semana	38	55	12	105	290
	No consumen	93	79	32	204	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Cerveza	Diario	29	53	0	82	82
	De 1 a 2 veces por semana	45	54	13	112	194
	De 3 a 4 veces por semana	38	53	13	104	298
	No consumen	84	78	34	196	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Para determinar qué es lo que generalmente comen los estudiantes que compran comida preparada, se le cuestionó al respecto y el resultado es el siguiente:

Tabla 11.
Alimentos que consumen en la escuela o lugares cercanos.

Escuela	Frecuencia	Tortas	Quesadillas	Hamburguesas	Empanadas	Tostadas	Tacos Dorados	Chilaquiles	Huevo al gusto	Sandwich	Sopa instantanea	Pizza	Acumulado	Total
Derecho	Diario	4	3	2	2	2	**0**	6		2	10		31	31
	1 a 2 veces por semana	5	**4**	**4**	**3**	**4**	**5**	3	9	3	3	4	47	78
	3 a 4 veces por semana	2	2	3	4	3	3	4	3	4	3	2	33	**111**
	Total	**11**	**9**	**9**	**9**	**9**	**8**	**13**	**12**	**9**	**16**	**6**	**111**	
Humanidades	Diario	7	5	2	4	5	2	4	0	0	7	0	36	36
	1 a 2 veces por semana	7	6	7	6	8	**6**	6	7	7	8	0	68	104
	3 a 4 veces por semana	**3**	**7**	**5**	**5**	**4**	6	2	5	0	4	0	41	**145**
	Total	**17**	**18**	**14**	**15**	**17**	**14**	**12**	**12**	**7**	**19**	**0**	**145**	
Sistemas costero	Diario	1	2	0	1	0	**0**	1	1	0	0	0	6	6
	1 a 2 veces por semana	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	0	3	1	0	2	0	7	13
	3 a 4 veces por semana	1	0	2	1	0	0	2	3	0	2	0	11	**24**
	Total	**2**	**2**	**2**	**3**	**0**	**0**	**6**	**5**	**0**	**4**	**0**	**24**	

La dieta de los estudiantes universitarios tiende a centrarse en alimentos de rápido acceso, ricos en carbohidratos y grasas, y pobres en micronutrientes, ya que existe un

consumo elevado de productos como tacos, pizza, sándwiches y sopa instantánea, lo cual puede tener consecuencias negativas a mediano plazo en su salud, por lo que se considera que estas elecciones alimenticias pueden estar motivadas por falta de tiempo, habilidades de cocina, recursos económicos o la oferta alimentaria en el entorno universitario.

En el mismo tenor se les cuestionó a los estudiantes que llevan comida preparada de su casa a la escuela, siendo el siguiente resultado.

Tabla 12.
Consumo de alimentos que llevan de su casa.

Escuela	Frecuencia	Huevos	sincronizadas	Sandwich	Platanos fritos	Hotcakes	Ensalada de frutas	Restos de comida	Acumulado	Total
Derecho	Diario	3	3	8	5	0	8	8	35	35
	1 a 2 veces por semana	5	4	3	2	5	0	4	23	58
	3 a 4 veces por semana	2	5	2	4	5	5	4	27	**85**
	Total	**10**	**12**	**13**	**11**	**10**	**13**	**16**	**85**	
Humanidades	Diario	5	4	7	0	0	7	10	33	33
	1 a 2 veces por semana	2	5	4	6	3	**6**	4	30	63
	3 a 4 veces por semana	**4**	**6**	**3**	**4**	**6**	1	6	30	**93**
	Total	**11**	**15**	**14**	**10**	**9**	**14**	**20**	**93**	
Sistemas costero	Diario	5	2	4	0	0	**0**	10	21	21
	1 a 2 veces por semana	**0**	**2**	**0**	**0**	**0**	0	4	6	27
	3 a 4 veces por semana	0	1	3	0	0	0	5	9	**36**
	Total	**5**	**5**	**7**	**0**	**0**	**0**	**19**	**36**	

Los resultados indican que hay una menor diversidad de alimentos que consumen los estudiantes, lo cual puede traer consecuencias para su salud, si siempre comen lo mismo es probable que no obtengan todas las vitaminas y minerales necesarios (como hierro, calcio, vitamina C, fibra), debido a que la falta de carbohidratos complejos, proteínas o hierro puede afectar la energía física y mental, porque una dieta repetitiva y poco equilibrada aumenta el riesgo de obesidad o sobrepeso, diabetes tipo 2, hipertensión y problemas del corazón o estreñimiento por falta de fibra, así como problemas en el desarrollo cognitivo y emocional. Asimismo, el consumo de frutas es bajo en general, lo que puede indicar una falta de hábitos alimenticios saludables, por otro lado, el alto consumo de "restos de comida" podría asociarse con contextos económicos o hábitos de aprovechamiento de alimentos.

Tabla 13.
Consumo de golosinas en la escuela.

Escuela	Frecuencia	Galletas	sabritas	Pastel	Dulces	Confituras	Acumulado	Total	No consumen	Total
Derecho	Diario	19	22	13	4	4	62	62		
	1 a 2 veces por semana	15	18	14	12	2	61	123		
	3 a 4 veces por semana	12	12	12	5	2	43	166		
	Total	**46**	**52**	**39**	**21**	**8**	**166**		**30**	**196**
Humanidades	Diario	23	23	0	5	7	58	58		
	1 a 2 veces por semana	26	22	0	15	16	79	137		
	3 a 4 veces por semana	19	16	0	14	11	60	197		
	Total	**68**	**61**	**0**	**34**	**34**	**197**		**41**	**238**
Sistemas costeros	Diario	14	10	0	0	5	30	30		
	1 a 2 veces por semana	4	2	0	0	0	9	39		
	3 a 4 veces por semana	7	4	0	0	3	16	55		
	Total	**25**	**16**	**0**	**0**	**8**	**55**		**5**	**60**

Para los estudiantes universitarios, las golosinas como dulces, chocolates, frituras, galletas y bebidas azucaradas se convierten en una opción de consumo frecuente debido a su fácil acceso, bajo costo y gusto por ellas. Sin embargo, el consumo habitual de este tipo de productos, ricos en azúcares, grasas saturadas y aditivos, puede tener consecuencias negativas para la salud, especialmente cuando sustituyen comidas principales o se convierten en una fuente energética constante.

Por otra parte, Richly et al., (2014), señalan que la manera como nos alimentamos puede tener efectos beneficiosos o adversos para nuestro organismo, ya que diversos estudios demuestran que una alimentación saludable nos permite mantenernos más sanos, porque fortalece los vasos sanguíneos permitiendo que el oxígeno y los nutrientes que viajan por la sangre pueda llegar correctamente a cada célula del cuerpo, nutriendo áreas cerebrales encargadas del lenguaje, el aprendizaje y el razonamiento, así como el crecimiento de nuevas células cerebrales y por ende nuevas conexiones neuronales. De acuerdo con Bajaña et al. (2017) para garantizar una buena nutrición se deben tener en cuenta tres aspectos importantes que son:

a).- El balance: Proporciona al individuo una dieta equilibrada que sea rica en vitaminas y minerales, grasas (del 20% al 30%), proteínas (del 10% al 15%), carbohidratos (del 55% al 60%), fibras (del 3% al 4%) y demás nutrientes necesarios para el desarrollo físico y mental de nuestro cuerpo.
b).- La variedad: Es necesario que exista una variedad en los alimentos porque un solo alimento no proporciona todos los nutrientes requeridos para nuestro organismo.
c).- La moderación: Se refiere a la cantidad de alimentos que debemos consumir porque el consumo excesivo de alimentos nos puede producir obesidad y sobrepeso y la falta nos puede producir anemia o desnutrición.

Ahora bien, cuando se habla de llevar una alimentación saludable la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), dice que una dieta sana incluye lo siguiente:

- Incluir en cada una de las comidas verduras y frutas, cereales y tubérculos, y leguminosas y alimentos de origen animal.
- Comer verduras y frutas en abundancia, en lo posible crudas y con cáscara.
- Incluir cereales integrales en cada comida, combinados con semillas de leguminosas.
- Comer alimentos de origen animal con moderación, preferentemente las carnes blancas como el pescado o el pollo sin piel.
- Tomar agua simple en abundancia.
- Reducir el consumo de grasas, aceites, azúcar, edulcorantes y sal, así como los alimentos que los contienen.
- Procura realizar al día tres comidas principales y dos colaciones y hacerlo a la misma hora.

- Tomarse un tiempo para disfrutar de los alimentos, es decir, que sea la única actividad que se realiza.

- Consumir la cantidad de alimentos acordes a las necesidades de nuestro cuerpo, ni de más ni de menos.

- Preparar los alimentos con higiene, lavarse las manos con jabón antes de prepararlos, servir y comer los alimentos.

- Realizar al menos 30 minutos de actividad física al día.

- En la medida de lo posible llevar frutas o verduras al trabajo como colación.

- Evitar realizar dietas "milagrosas", porque pueden tener consecuencias negativas para la salud.

- Procurar acudir con un profesional de la salud y nutrición para elegir el plan alimenticio adecuado para tu talla, actividades diarias y a tus necesidades particulares de acuerdo con tu organismo e historial clínico.

PROBLEMAS DE SALUD DERIVADOS DE UNA MALA ALIMENTACIÓN

Entre los problemas generados por la desnutrición se encuentran el retraso en el crecimiento, peso inferior al que corresponde a la edad y estatura, además de considerarse un riesgo serio para la salud humana pues contribuye a la muerte prematura de las madres, lactantes y niños pequeños, y al desarrollo físico y cerebral deficiente en los jóvenes. Mientras que la obesidad asociada al consumo de alcohol y tabaco están fuertemente relacionadas a enfermedades crónicas como la diabetes, cáncer y padecimientos cardiovasculares (Maza et al., 2022).

Es por ello, que se determinaron las características antropométricas de los estudiantes. Se les tomaron medidas de peso y altura a fin de poder delimitar el índice de masa corporal (IMC), así como el padecimiento de alguna enfermedad y la actividad física que realicen, las cuales fueron esenciales para comprender la composición corporal, evaluar el crecimiento y el estado nutricional y la actividad física que los estudiantes realizan por escuela.

Tabla 14.
Índice de masa corporal (IMC), enfermedades que padecen y actividad física que realizan.

Valor		Escuelas			Acumulado	Total
		Derecho	Humanidade	Sist. Costeros		
Indice de masa	Normal de 18.5 a 24.9	63	53	17	133	133
corporal (IMC)	Sobre peso de 25 a 29:9	36	56	17	109	**242**
	Obesidad Grado I de 30 a 34.9	23	0	6	29	**271**
	Obesidad Grado II de 35 a 39.9	20	44	6	70	341
	Obesidad Grado III de 40 a mas	17	41	7	65	406
	Desnutricion Grado II 16 a 17	16	0	7	23	429
	Desnutricion Grado I de 17.5 a 18	21	44	0	65	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Padecimiento de	Si	71	106	23	200	200
algún tipo de	No	125	132	37	294	**494**
enfermedad	**Total**	**196**	**238**	**60**	**494**	
Tipos de enfermedades	Defectos de nacimiento en el corazón	14	0	0	14	14
que padecen	Ritmo cardíaco irregular.	12	0	6	18	32
	Bronquitis	12	20	5	37	69
	Asma	17	22	3	42	111

Continúa...

	Reflujo	12	19	4	35	146
	Colitis	13	18	3	34	180
	Gastritis	13	17	7	37	217
	Epilepsia	14	7	0	21	238
	Migraña	12	33	4	49	287
	Diabetes Mellitus	15	20	0	35	322
	Síndrome de Ovario Poliquístico	11	10	0	21	343
	Lesiones lumbares	13	13	11	37	380
	Anemia	14	22	9	45	425
	Depresion	10	24	4	38	463
	Ansiedad	14	13	4	31	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	
Actividad fisica	Correr	35	40	0	75	75
que realizan	Futbol	52	42	19	113	188
	Voleibol	28	38	14	80	268
	Taekwondo	25	34	0	69	337
	Gymnasio	38	30	20	78	415
	Cross-fit	18	54	7	79	**494**
	Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

De acuerdo al análisis de la tabla existe una alta prevalencia de sobrepeso y obesidad en los tres grados 84.2% (416), especialmente preocupante por los riesgos asociados a largo plazo, el 40.5% (200) de los estudiantes reportan algún problema de salud, en particular enfermedades gastrointestinales tales como (gastritis, colitis, reflujo) y mentales (ansiedad, depresión) son las más comunes y afectan a un número importante de estudiantes 34.5% (69), reflejando tal vez estrés académico o falta de apoyo emocional. Por otra parte, la actividad física es desigual entre escuelas, y puede influir en los resultados de salud observados. No obstante, la actividad, tipo de trabajo, horarios, pueden marcar unas necesidades distintas, que siempre deberían tenerse en cuenta, al igual que la situación personal en cuanto al estado de salud.

EL IMPACTO DE LA ALIMENTACIÓN EN EL FUNCIONAMIENTO COGNITIVO

El rendimiento académico de acuerdo con Pérez y Gardey (2008), se refiere a la evaluación del conocimiento adquirido por el estudiante dentro del salón de clases y el cual puede medirse con base en las calificaciones obtenidas por el estudiante y que manifiestan la capacidad del alumno de responder a los estímulos educativos que se presentan en el aula.

Existen factores que inciden en el rendimiento académico de un estudiante como son la dificultad de las asignaturas, la cantidad de exámenes o proyectos a presentar y que coincidan en fechas, los programas de estudios, el maestro, la poca motivación, el desinterés y la distracción en clases, el ambiente en el salón de clases, el entorno familiar, la profesión y oficio de los padres, el costo de la carrera, el lugar de estudio así como los problemas de salud, los cuales terminan afectando el rendimiento académico de los estudiantes (Martín et al., 2020).

Por otro lado, una adecuada alimentación proporciona a los estudiantes un desarrollo físico, psicológico y personal además de ayudarles a prevenir enfermedades crónicas degenerativas que podrían dejarles secuelas para el resto de sus vidas, ya que una mala alimentación en los adolescentes y jóvenes puede generar falta de atención y memoria (Alba et al., 2022).

La influencia de los alimentos en la capacidad cerebral es esencial porque el cerebro es un órgano que se encuentra constantemente activo por lo que requiere de diversos nutrientes que lo estimulen a realizar dichas acciones, mejorando su capacidad para procesar, integrar y memorizar cada uno de los aprendizajes adquiridos en el aula.

De acuerdo con Forero y Gómez (2020), la alimentación es algo fundamental para el ser humano y este mecanismo está mediado por factores ambientales y fisiológicos, ya que la necesidad de ingerir alimentos es enviada por el cerebro a través de señales fisiológicas tales como ruido en los intestinos, contracciones gástricas e hipoglucemia (baja de azúcar en la sangre).

Mientras que el apetito responde a la necesidad de comer alimentos más concretos que generalmente están asociados a experiencias sensoriales emotivas y sin necesidad de que haya señales fisiológicas de tener hambre. Si el consumo es exitoso, sobreviene al individuo una sensación de satisfacción conocida como "saciación", la cual lo invita a dejar de comer, mientras que la "saciedad", tiene el efecto de mantener el organismo sin hambre por un periodo de tiempo más prolongado hasta la nueva señal de hambre (Forero y Gómez, 2020).

La ingesta alimentaria está regulada por la cantidad de glucosa en la sangre y el hambre física, que cuando el estómago se encuentra vacío comienza a segregarse una hormona llamada ghrelina, el cual aumenta el movimiento de los intestinos y empieza a generar jugos gástricos, para después mandar la señal al cerebro a través del sistema nervioso central, por el medio del hipotálamo indicando una señal de que tiene hambre (González et al, 2006).

Es a partir de ahí que empieza el momento de digestión y se lleva a cabo desde el momento en que se introduce el alimento a la boca y se mezcla con saliva, permitiendo que la lengua se eleve y desplace el alimento hacia la faringe hasta llegar al esófago, descendiendo por la contracción del músculo liso hasta llegar al estómago, una vez en el estómago una variedad de enzimas y ácidos, ayudan a la descomposición y degradación de los alimentos que pasan al intestino delgado tanto duodeno y ayuno, por lo que una vez que haya completado la digestión da inicio al proceso de absorción de minerales, proteínas, vitaminas, aminoácidos, azúcares, se incorporan a las células intestinales y pasan a los vasos sanguíneos o linfáticos mientras que las sustancias de las que no se ocupa el cuerpo las convertirá en excremento y las desechará por el intestino grueso (*National Institute of Diabetes and digestive and Kidney Diseases (*NIH), s.f.).

La influencia de los alimentos en la capacidad cerebral, son de vital importancia debido a que el cerebro requiere de grandes cantidades de energía que lo estimulen para realizar diversos procesos cognitivos, tales como mejorar su capacidad para procesar, integrar y memorizar cada uno de los conocimientos y aprendizajes adquiridos (Alba et al., 2022). Estos nutrientes se encuentran en los alimentos que consumimos de manera regular y que al ser integrados a una dieta equilibrada que permita fortalecer el desarrollo cerebral y neuronal, al mismo tiempo evita el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas, así como de los tejidos nerviosos (vaina de mielina) (Alba et al., 2022).

Por otra parte la función de los nutrientes en la cognición son aportados por los alimentos que se consumen y de ello dependerá su aprovechamiento metabólico, en el caso de las proteínas tienen la capacidad de modular la síntesis de neurotransmisores como son la serotonina, dopamina y adrenalina porque estos se forman a partir del triptófano el cual es un aminoácido necesario para el crecimiento de los bebés y para la producción y mantenimiento de las proteínas, musculares, enzimas y neurotransmisores del cuerpo, por lo que es un aminoácido esencial, ya que el cuerpo no lo puede producir y se obtiene de la alimentación. Mientras que la Tirosina es un aminoácido encontrado en las proteínas de la carne y el cuerpo las usa como un material para producir varias sustancias químicas que ayudan a la función cerebral en un incremento de la claridad y alerta mental, así como en una mejora de la memoria y del sistema nervioso (Alba et al., 2022).

Entre los nutrientes reguladores esenciales para el cerebro se encuentran el fósforo (que ayuda al funcionamiento normal de las membranas celulares), el ácido docosahexaenoico (el cual mantienen el funcionamiento normal del cerebro), el yodo (contribuye al funcionamiento normal del cerebro y la función cognitiva), ácido pantoténico (favorece el rendimiento intelectual), ácido fólico (contribuye a una mejor función psicológica), el calcio (a función de las células neurotransmisoras), biotina, tiamina, vitaminas B6 y C, cobre, magnesio, potasio, vitaminas B2, B12 y niacina (contribuyen al funcionamiento del sistema nervioso), el agua, hierro y zinc (contribuyen a mantener las funciones físicas y cognitivas) (Alba et al., 2022).

Así mismo, existen algunos alimentos que son fuente de vitaminas y que son esenciales para el cerebro tales como la soja, el germen de trigo, carne, pescado, frutos secos, legumbres, cereales, los cuales son ricos en vitamina B1, B6, tiamina y piridoxina, mientras que los alimentos de origen animal como el hígado, pescado, atún, sardina, huevos, queso son ricos en vitaminas B12 y cianocobalamina (Alba et al., 2022).

Por otra parte, existen un conjunto de nutrientes que funcionan como actividad reguladora y que resultan esenciales para el buen funcionamiento del sistema nervioso, tales como la melatonina que ayuda a regular el sueño, controla el crecimiento de tumores así como la regulación de la tensión arterial, mientras que la serotonina regula el apetito, equilibra el deseo sexual, controla la temperatura del cuerpo, interviene en la regeneración hepática, regula reacciones relacionadas con la angustia, ansiedad, miedo, agresividad, regula la secreción de hormonas, entre otras (Alba et al., 2022).

Derivado de lo anterior, es importante que se haga conciencia sobre los alimentos que ingerimos y sobre todo conocer la aportación nutricional a nuestro cuerpo, ya que con el aumento de la esperanza de vida cada día son más las personas que están padeciendo deterioro cognitivo y demencia, es importante mantener una alimentación equilibrada que permita sostenerse en un estado saludable tanto físico como mental. En este sentido, Ramírez (2009) señala que la mala alimentación puede producir carencias de ciertos nutrientes necesarios para el organismo y que se pueden manifestar a través de apatía, desgano, irritabilidad, nerviosismo, cansancio, falta de atención, falla en la memoria, dificultad para concentrarse o depresión.

Para comprobar lo dicho por Ramírez (2009) sobre la relación que existe entre el rendimiento académico de los estudiantes y sus hábitos alimenticios se tomó como referencia el promedio general del semestre anterior cursado y el número de comidas que realizan, con esos datos se hizo una prueba de chi-cuadrado adoptándose un nivel de significancia del 5% bajo las siguientes hipótesis:

H0 El rendimiento académico de los estudiantes universitarios no está relacionado con sus hábitos alimenticios

H1 El rendimiento académico de los estudiantes universitarios sí está relacionado con sus hábitos alimenticios.

Tabla 15.
Número de comidas "promedio tabulación cruzada" de acuerdo con el Chi-cuadrado.

Numero de comidas	Frecuencia	Suficiente Calf.6	Regular Calif. 7	Bueno Calif. 8	Muy bueno Calif. 9	Excelente Calif. 10	Total
Numero de comidas	De 1 a 2 comidas diarias	61	30	36	32	9	**168**
		36.30%	17.90%	21.40%	19.00%	5.40%	**100%**
	3 comidas diarias	0	63	49	25	7	**144**
		0.00%	43.80%	34.00%	17.40%	4.90%	**100.00%**
	4 comidas diarias	0	1	63	27	3	**94**
		0.00%	1.10%	67.00%	28.70%	3.20%	**100.00%**
	5 comidas diarias	0	0	1	50	0	**51**
		0.00%	0.00%	2.00%	98.00%	0.00%	**100.00%**
	Mas de 5 comidas diarias	0	4	0	9	24	**37**
		0.00%	10.80%	0.00%	24.30%	64.90%	**100.00%**
	TOTAL	**61**	**98**	**149**	**142**	**43**	**494**
		12.30%	**19.80%**	**30.20%**	**28.70%**	**8.70%**	**100.00%**

Fuente: Con datos del programa IBM SSPS.

De acuerdo al análisis realizado en la tabla anterior, el 36.3% (61) de los estudiantes que reportaron realizar sólo de 1 a 2 comidas al día tienen un promedio suficiente (6), el 43.8% (63) de los estudiantes que reportaron realizar 3 comidas al día, tienen un promedio regular (7), el 67.0% (63), de los estudiantes que reportaron realizar 4 comidas al día tienen un promedio de bueno (8), el 98% (50) de los estudiantes que reportaron realizar 5 comidas al día tienen un promedio de muy bueno (9) y el 64.9% (24) de los estudiantes que reportaron realizar más de 5 comidas al día tienen un promedio excelente (10), lo que indica que los estudiantes que comen más veces al día reportan promedios más altos (muy bueno o excelente), que los que comen menos (suficiente o regular), por lo que el número de comidas podría ser un factor a considerar en relación al rendimiento académico. Al analizar los resultados obtenidos a través del chi-cuadrado, son los siguientes:

Tabla 16.
Resultados del Chi-cuadrado.

Pruebas de chi-cuadrado			
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)
Chi-cuadrado de Pearson	506.918[a]	20	.000
Razón de verosimilitud	439.159	20	.000
Asociación lineal por lineal	7.709	1	.005
N de casos válidos	494		

Fuente: Con datos del programa IBM SSPS.

Por lo que de acuerdo a la tabla que antecede, el valor de chi-cuadrado es mayor al valor crítico, lo que nos lleva a rechazar la hipótesis nula, ya que existe asociación significativa entre el número de comidas y el promedio de los alumnos, esto significa que el rendimiento académico de los estudiantes si está relacionado con el número de comidas, lo cual indica que una adecuada nutrición mantiene la integridad estructural y funcional del tejido nervioso, mejorando la capacidad cognitiva, el bienestar personal, así como el aprendizaje, además de aportar más energía a todo el cuerpo y prevenir enfermedades crónicas degenerativas que en un momento pueden llegar a causar la muerte de una persona.

Por otro lado, científicamente está demostrado que una alimentación saludable, tiene un buen desarrollo académico en los estudiantes, ya que los neuro trasmisores cerebrales funcionan mejor cuando existe una alimentación sana y equilibrada, al contrario de cuando existe un consumo de alimentos con alto nivel calórico, ya que un cerebro fatigado y con falta de nutrientes puede llevar a los estudiantes a no querer estudiar, a no poner atención en sus clases y por ende a no responder a las evaluaciones y actividades escolares de una manera correcta afectando su desempeño académico (Bajaña et al., 2017).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024), la "mala alimentación" se refiere a la carencia, exceso y desequilibrio que una persona presenta en la ingesta de alimentos, lo cual incluye dietas con exceso de grasas saturadas, azúcar refinada y alimentos ultraprocesados, que no aportan nutrientes al organismo. Es importante diferenciar la malnutrición de la desnutrición ya que, de acuerdo con la OMS (2021), la malnutrición está relacionada con la carencia, el exceso y desequilibrio alimenticio de una persona y sus características son: exceso o falta de peso, reducción o exceso de masa muscular, pelo y uñas débiles y quebradizas, así como diarrea crónica.

Mientras que la desnutrición se refiere a la carencia de vitaminas y minerales que permitan tener un adecuado desarrollo físico y mental y sus características son: delgadez y debilidad extrema y patológica que puede ser letal, retraso del crecimiento, bajo peso para la edad y anemia, en la parte cognitiva los síntomas son disminución de la capacidad intelectual, falta de atención escolar, falta de rendimiento académico y problemas de comprensión (Bajaña et al., 2017).

Por otra parte, entre las causas para una mala alimentación en los estudiantes universitarios, de acuerdo con Chicho (2017), está fuertemente relacionada con el factor económico, los cuales inciden en las decisiones de compra, además de un acelerado incremento de productos procesados, los cuales han perpetuado un entorno alimentario de baja calidad nutricional. Aunque el comer en exceso puede ser para muchos algo ocasional, sin embargo, si se convierte en un hábito, sobre todo de alimentos poco saludables, puede causar un trastorno alimentario o un aumento excesivo de peso, aumentando el riesgo de padecer problemas cardíacos, derrames cerebrales, diabetes de tipo 2, problemas respiratorios, muchos tipos de cáncer y muerte prematura, de acuerdo a la tabla 17, el 28.3% de los estudiantes señaló comer en exceso.

Tabla 17.
Consumo excesivo de alimentos.

Consumo de alimentos en exceso	Escuelas			Acumulado	Total
	Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		
Si	52	70	17	139	139
No	71	84	20	175	314
A veces	73	84	23	180	**494**
Total	**196**	**238**	**60**	**494**	

Existe una tendencia clara hacia el consumo ocasional en exceso ("a veces") en todas las escuelas, lo que sugiere una conducta alimentaria intermitente posiblemente ligada a factores como el estrés, la carga académica o hábitos poco regulados, mientras que el 28.1% (139), que sí consume en exceso podría estar en riesgo de desarrollar problemas relacionados con la alimentación, como obesidad o trastornos metabólicos y la proporción entre quienes no consumen en exceso y quienes sí o a veces lo hacen indica que el 64.5% (319) de los estudiantes tiene algún nivel de exceso alimentario (sí o a veces).

Al respecto, Crouch (2023) señala que comer en exceso tiene efectos importantes sobre el organismo, ya que cuando comemos el estómago tiende a expandirse y presiona los demás órganos, para dar cabida a la comida adicional y para ayudar al cuerpo a descomponer toda esa comida, por lo que el metabolismo se acelerará temporalmente, haciendo que la persona se sienta de manera temporal acaloradas, sudorosas e incluso mareadas, ya que el cuerpo desvía el flujo sanguíneo y la energía del cerebro y de otros órganos a los intestinos, haciendo que el corazón lata más rápido durante varias horas para bombear la sangre adicional que el cuerpo necesita para la digestión.

Este esfuerzo que el corazón hace por completar el proceso de digestivo, hace que la persona se sienta cansado y lento, debido a que el cuerpo está trabajando mucho para digerir la comida, ya que después de comer, los órganos también liberan enzimas y hormonas adicionales, como la leptina y la serotonina, que contribuyen a la fatiga, originando que el nivel de azúcar en la sangre suba y baje de manera significativa, sobre todo si consumen alimentos ricos en azúcar y carbohidratos, haciendo que el cuerpo libere una hormona llamada insulina para transportar la glucosa del torrente sanguíneo a las células, donde se utiliza como fuente de energía (Crouch, 2023).

Asimismo, a nivel intestinal, generalmente las personas que comen en exceso, es muy posible que experimentan acidez estomacal y reflujo ácido, el cual se produce cuando el ácido y otros contenidos del estómago suben al esófago, y provocan una desagradable sensación de ardor en el pecho Esto se da debido a que al distender el estómago por exceso de comida, el músculo que separa el esófago del estómago se relaja temporalmente y si el estómago está muy lleno, la comida tiende a regresar al esófago (Crouch, 2023). Entre los factores que detonan el consumo excesivo de alimentos, destacan los siguientes:

Tabla 18.
Factores que detonan el consumo excesivo de alimentos.

Factores que detonan el consumo en exceso de alimentos	Escuelas			Subtotal	No tienen el hábito	Total
	Derecho	Humanidades	Sist. Costeros			
Encontrar mi comida favorita	76	103	25	**204**	**290**	**494**
Cuando veo la TV.	72	107	23	**202**	**292**	**494**
Llegar sin saber que comer	91	107	23	**221**	**273**	**494**
Ver a alguien comer	68	102	21	**191**	**303**	**494**
Por aburrimiento	74	105	21	**200**	**294**	**494**

El principal detonante es "llegar sin saber qué comer" 44.7% (221), lo que puede relacionarse con una falta de planeación alimentaria, le siguen "encontrar mi comida favorita" 41.3% (204) y "ver televisión" 40.9% (202), lo que sugiere que tanto las emociones como los estímulos externos influyen en el consumo excesivo, mientras que el aburrimiento es un detonante para 4 de cada 10 estudiantes, lo que puede reflejar una relación emocional con la comida, lo que nos indica que los factores emocionales y situacionales influyen significativamente en los hábitos alimenticios de los estudiantes, ya que más del 40% es propenso a consumir en exceso debido a uno o más factores antes mencionados. Este tipo de conductas podría estar relacionado con estrés, falta de educación nutricional o rutinas poco saludables, lo cual sugiere la necesidad de intervenciones educativas o psicoemocionales.

Aunado a ello, la falta de educación nutricional, los hábitos y costumbres adquiridas, las limitaciones en cuanto al acceso a determinados alimentos, el alcoholismo y tabaquismo que, más allá de ser nocivos para la salud, contribuyen a reducir el hambre y a la mala absorción de los nutrientes esenciales, así como diversos trastornos de la conducta alimentaria, son factores que inciden de manera importante en una alimentación adecuada.

Los tres hábitos más comunes entre los estudiantes son: comer todo aunque ya estén llenos (51.4%), saltarse comidas (50.8%) y comer rápido (50%), por lo que alrededor del 50% de los estudiantes presenta al menos uno de estos hábitos, lo que puede reflejar un patrón alimentario impulsivo o desordenado, lo que indica que existe una alta prevalencia de hábitos alimenticios poco saludables y los resultados pueden relacionarse con factores como: horarios ajustados, estrés académico, falta de conciencia sobre nutrición y por supuesto estilo de vida universitario (comidas rápidas, multitarea, entre otros).

Por lo que en definitiva, los malos hábitos alimenticios son una problemática común que puede afectar tanto la salud física como mental, su rendimiento académico y su calidad de vida en general, por lo que es fundamental generar conciencia sobre la importancia de una alimentación equilibrada y fomentar entornos que apoyen decisiones saludables, desde el hogar hasta las instituciones educativas, el adoptar pequeños cambios en la rutina diaria puede marcar una gran diferencia a

largo plazo, por lo que la alimentación no debe verse como una carga, sino como una inversión en el bienestar presente y futuro.

Tabla 19.
Malos hábitos alimenticios.

Hábito alimenticio	Escuelas			Subtotal	No tienen	Total
	Derecho	Humanidades	Sist. Costeros		el hábito	
Comer rápido	99	116	32	**247**	**247**	**494**
Comerse todo lo que le sirven aún cuando esté lleno	99	117	38	**254**	**240**	**494**
Comer sin hambre	82	107	32	**221**	**273**	**494**
Comer de pie	73	107	34	**214**	**280**	**494**
Comer mientras realiza otras actividades	83	117	36	**236**	**258**	**494**
Comer siempre postre	81	109	32	**222**	**272**	**494**
Saltarse comidas	98	116	37	**251**	**243**	**494**

DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

Los hallazgos realizados en esta investigación demuestran que el 55% de los estudiantes tienen acceso a una tienda de autoservicio, que el 27% casi siempre cuenta con los recursos para comprar sus alimentos y que el 43% de los estudiantes llevan alimentos preparados de su casa, mientras que el 44%, ya sea que se prepare sus alimentos o los compre ya hechos, mantienen una alimentación rica en grasa, carbohidratos y azúcares que si bien les mitiga el hambre, no les nutre ya que el 80% de ellos consume alimentos procesados, mientras que el 20% consume alimentos ultraprocesados como sopa Nissin, pizza, entre otros. Esto concuerda con el estudio realizado por Maza (2022), quien hizo una revisión sistemática de la literatura sobre hábitos alimenticios y sus efectos en la salud de los estudiantes universitarios, señalando que de los 57 artículos analizados concluían que los jóvenes universitarios tenían malos hábitos nutricionales, caracterizados por saltarse comidas, alto consumo de grasas y dulces, bajo consumo de fruta, verdura y leche. Esto concuerda con lo que dicen Jimeno y Esteve (2021), que los estudiantes universitarios pertenecen a un grupo vulnerable propenso a adquirir hábitos alimenticios poco saludables, ya que de acuerdo con Ibarra et al. (2019), no es de extrañarse que los estudiantes no dediquen el tiempo suficiente a cuidarse y llevar una dieta sana y equilibrada, la cual resulta fundamental frente al peligro de las enfermedades crónicas no transmisibles y al deterioro de los procesos cognitivos como son la memoria y la atención. Por su parte, Bajaña et al. (2017), señalan que científicamente está demostrado que una alimentación saludable tiene como resultado un buen desarrollo académico, ya que los neuro trasmisores cerebrales funcionan mejor cuando existe una alimentación sana y equilibrada, al contrario de cuando existe un consumo de alimentos con alto nivel calórico, ya que un cerebro fatigado y con falta de nutrientes puede llevarlos a no querer estudiar, a no poner atención en sus clases y por ende a no responder a las evaluaciones y actividades escolares de una manera correcta afectando su desempeño académico.

Por otra parte, de acuerdo a los resultados obtenidos, el 34% de los estudiantes realiza únicamente de una a dos comidas al día, lo cual contrasta con lo que dice la guía de alimentación correcta y saludable para la población mexicana implementada por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2019), que la ingesta de alimentos al día debe de ser en 5 momentos, los cuales constan de desayuno, colación, almuerzo, colación y cena, ya que Ibarra et al. (2019), señalan que lo anterior contribuye a una correcta distribución de las calorías durante el día y se evita llegar al almuerzo con una necesidad compulsiva de comer. Aunado al problema de la mala alimentación los resultados de la investigación arrojaron que el 28.14% señaló tener el hábito de consumir alimentos en exceso, mientras que el 36.43% dijo que sólo algunas veces, y aunque el porcentaje de estudiantes que reconocieron comer en exceso puede no ser significativo, es importante analizar que si tomamos en cuenta las actividades propias de su edad y educativas veremos que el consumir en exceso puede ser perjudicial para ellos, porque de acuerdo con Crouch,(2023), el esfuerzo que el corazón hace por completar el proceso digestivo, hace que la persona se sienta cansado y lento, debido a que el cuerpo está trabajando mucho para digerir la comida. Esto es porque después de comer, los órganos también liberan enzimas y hormonas adicionales, como la leptina y la serotonina que contribuyen a la fatiga, lo que puede generar en los estudiantes un bajo rendimiento académico al mantener fatiga física y mental por el consumo excesivo de alimentos.

Asimismo, se observó que existe un bajo consumo de frutas y verduras en ambos grupos, ya que únicamente el 12.6 %, de los estudiantes que lleva alimentos de su casa consume frutas, mientras que el 41% de ambos grupos existe un alto consumo de refrescos embotellados, jugos y bebidas energéticas, así como alto consumo de galletas, frituras y pasteles (62%), mientras que el 23% de ambos grupos consume dulces y confituras, concordando con los resultados obtenidos por Maza (2022). A pesar de mantener una alimentación poco saludable el 27% de ellos, tiene su índice de masa corporal normal, sin embargo, es importante aclarar que existe el índice de sobrepeso (20.38%) y obesidad (11.92%), así como el grado de desnutrición (11.53%) es mayor en las mujeres que en los hombres, el 40% reconoció que padece de algún tipo de enfermedad entre las que destacan el 8.5% asma, el 10% migraña y el 9% anemia. Entre los deportes que más practican se encuentra el fútbol (23%) y el voleibol (16%).

Respecto de los hábitos alimentarios y el rendimiento académico, el resultado obtenido a través del chi-cuadrado aprueba la hipótesis de que el rendimiento académico está relacionado con los hábitos alimenticios de los estudiantes, lo cual concuerda con la investigación realizada por Bajaña et al. (2017), quienes en su investigación señalan que una adecuada alimentación debe incluir vitaminas y minerales que el cuerpo necesita para un adecuado funcionamiento, sin embargo, es importante aclarar que el rendimiento escolar está compuesto por valores cuantitativos y cualitativos, a través de los cuales existe una aproximación a la evidencia y dimensión del perfil de habilidades, conocimientos, actitudes y valores desarrollados por el alumno en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Se concluye que lamentablemente tanto los centros educativos de la UNACH, como los propios estudiantes, no están tomando conciencia de la forma en la cual se están alimentando, ya que su finalidad es satisfacer el hambre y no cubrir las necesidades de proteínas y calorías que son necesarias para su desarrollo físico y mental. Sin embargo, es importante considerar que este resultado brinda la oportunidad a los universitarios para realizar actividades relacionadas con la educación y desarrollo de hábitos alimenticios, que les permita llevar una vida sana, incorporando en su vida personal un nuevo estilo de vida. Es importante unir esfuerzos, desarrollar e implementar programas en el Campus IV, para promover prácticas dietéticas saludables entre los jóvenes universitarios.

REFERENCIAS

Alba-López, M., Estudillo-León, A., Jaramillo-Tovar, J., Rodríguez-Antonio, O. y Vázquez-Martínez, D. (2022). Nutrición, la clave para un mejor rendimiento cognitivo. *Boletín científico de la Escuela Superior Tepeji del Rio.* (9)17. Pp 18-27. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/7957/8453

Alzate, T. (2019). Dieta saludable. Perspectiva en nutrición humana. 21(1), 9-14. https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/339980/20794830

Bajaña-Núñez, R., Quimis-Zambrano, M., Sevilla-Alarcón, M., Vicuña-Monar, L. y Calderón-Cisneros, J. (2017). Alimentación saludable como factor influyente en el rendimiento escolar de los estudiantes de instituciones educativas en Ecuador. *Revista FacSalud*. (1)1, diciembre 2017-mayo 2018, pp. 34-39. https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/580/456

Bertrán, M. (2015). Alimentación y salud en el México contemporáneo: una mirada sociocultural. Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México. 2015 (65) 1. https://www.alanrevista.org/ediciones/2015/suplemento-1/art-41/

Crouch, M. (2023). 6 cosas que le suceden a tu cuerpo cuando comes demasiado. https://www.aarp.org/espanol/salud/vida-saludable/info-2023/que-le-pasa-al-cuerpo-por-comer-demasiado.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20Hoscheit%2C%20es%20frecuente%20que,de%20ardor%20en%20el%20pecho.

Chicho, D. (2017). Causas de la malnutrición del mexicano desde una perspectiva económica. Revista *Tiempo Económico.* Universidad Autónoma Metropolitana. XII (37) septiembre-diciembre de 2017. pp. 49-63 / ISSN 1870-1434. https://tiempoeconomico.azc.uam.mx/wp-content/uploads/2019/07/37te3.pdf

Forero, M. y Gómez, M. (2020). Determinantes fisiológicos y ambientales de la regulación del control de la ingesta de alimentos. *Revista de nutrición clínica y metabolismo.* https://revistanutricionclinicametabolismo.org/public/site/170_Revision_Forero.pdf

Galán-Ramírez, G. (2021). Patrón de alimentación en México. Alimentación para la salud. https://alimentacionysalud.unam.mx/patron-de-alimentacion-en-mexico/

González, E., Ambrosio, K. y Sánchez, S. (2006). Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. *Revista Medigrafhip* (8)3, diciembre 2006, pp 191-200. https://www.medigraphic.com/pdfs/invsal/isg-2006/isg063i.pdf

Ibarra, J., Hernández, C.M. y Ventura-Vall-Llovera C. (2019). Hábitos alimentarios y rendimiento académico en escolares adolescentes de Chile. *Rev Esp Nutr Hum Diet.* 2019; 23(4): 292-301. DOI: 10.14306/renhyd.23.4.804. https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.23.4.804

(IMSS) Instituto Mexicano del Seguro Social (2019). Cartera de alimentación correcta y actividad física. https://imss.gob.mx/sites/all/statics/salud/guias_salud/alimentacion-saludable-2019.pdf

(INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2024). En México, 80% de las muertes de todas las edades corresponde a enfermedades no transmisibles. https://www.gob.mx/inapam/articulos/en-mexico-80-de-las-muertes-de-todas-las-edades-corresponde-a-enfermedades-no-transmisibles?idiom=es

Jimeno, A. y Esteve, A. (2021). Relación entre los hábitos saludables y el rendimiento académico en los estudiantes de la Universitat Jaume I. Revista Nutrición clínica y dietética hospitalaria. 41(2):99-106 DOI: 10.12873/412gimeno. https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/133

Martin, M.J., Santo, D. y Janero, C. (2020). Factores personales-institucionales que impactan el rendimiento académico en un posgrado en educación. *Revista de Investigación Educativa*. 27, pp. 4-32. https://www.scielo.org.mx/pdf/cpue/n27/1870-5308-cpue-27-4.pdf

Maza-Ávila, F., Caneda-Bermejo, M.C. y Vivas-Castillo, A.C. (2022). Hábitos alimenticios y sus efectos en la salud de los estudiantes universitarios. Una revisión sistemática de la literatura. *Psicogente.* 25 (47), 1-31. https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/psicogente/article/view/4861

(NIH) National Institute of Diabetes and digestive and kidney diseases (s.f.). El aparato digestivo y su funcionamiento. https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-digestivas/aparato-digestivo-funcionamiento

Organización Mundial de la Salud (OMS)(2018). Alimentación sana. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

Organización Mundial de la Salud (OMS)(2021). Malnutrición y Desnutrición. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%C2%ABmalnutrici%C3%B3n%C2%BB%20se%20refiere,de%20nutrientes%20de%20una%20persona

Organización Mundial de la Salud (OMS)(2024). Malnutrición. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition#:~:text=El%20t%C3%A9rmino%20%C2%ABmalnutrici%C3%B3n%C2%BB%20se%20refiere,de%20nutrientes%20de%20una%20persona.

Pérez, J. y Gardey, A. (2008). Rendimiento académico-Qué es, importancia, definición y concepto. https://definicion.de/rendimiento-academico/

Programa de Desarrollo Institucional y Proyecto académico (2022-2026). Universidad Autónoma de Chiapas, p.145. https://www.unach.mx/component/k2/programa-de-desarrollo-institucional-y-proyecto-academico-2022-2026

Ramírez, L.M. (2009). Desnutrición y cerebro. Archivos de medicina (col). (9) 2, diciembre, 2009, pp. 183-192. Universidad de Manizales Caldas, Colombia. https://www.redalyc.org/pdf/2738/273820455010.pdf

Richly, P., Vilaro, S., O´Neill, S., Bustín, J. y Martínez, D. (2014). Comida para un cerebro saludable. Clínica de Memoria INECO e Instituto de Neurociencias de la Fundación Favaloro. Buenos Aires, Argentina. https://www.ineco.org.ar/wp-content/uploads/comida_para_un_cerebro_saludable.pdf









CAPÍTULO X

MIELES MADURAS DE ABEJAS NATIVAS DEL SOCONUSCO, CHIAPAS; CARACTERIZACIÓN Y VALORIZACIÓN

Julieta Grajales Conesa, Kevin de Jesús Matul Ramos, María Guadalupe de Gyves Córdova, Víctor Jesús Albores Flores y José Alfonso López García[1]

INTRODUCCIÓN

Las abejas nativas sin aguijón se encuentran distribuidas en las zonas tropicales y subtropicales del mundo; África, sureste de Asia, Australia, centro y sur de América. Son un gran grupo de individuos eusociales, en donde se han identificado más de 500 especies de abejas; en México se han reportado 46 de estas especies distribuidas en 16 géneros, las cuales se encuentran principalmente en los estados de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Quintana Roo (Arnold et al. 2018; Ayala et al. 2013). La interacción del hombre con las abejas sin aguijón desde épocas ancestrales a la actualidad es estrecha, ya que son parte de la alimentación y de productos medicinales alternativos, siendo la miel o miel de cántaro la que cuenta con múltiples aplicaciones en la vida doméstica y económica de las sociedades humanas que las cultivan (González-Acereto, 2012). La miel de cántaro se compone principalmente de fructosa y glucosa, además de contener vitaminas, ácidos orgánicos, minerales, ácidos fenólicos, flavonoides, enzimas, proteínas y carotenoides, lo cual le confiere el potencial de actuar como antioxidante, antinflamatorio y antibacteriano (Ayoub et al., 2017; Biluca et al., 2017; Can et al., 2015; Pohl et al., 2012; Sánchez et al., 2019), el cual varía dependiendo del tipo de abeja que la produzca y del origen floral (Roa et al., 2016; Souza et al., 2018). Además de esto, contiene alrededor de 200 sustancias bioactivas de las cuales se

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

han identificado carotenoides (0.6 a 6.2 mg/ kg; Jiménez et al., 2016), contenido de proteínas (214 a 592 mg de proteína soluble) en mieles de Tabasco (*Melipona beecheii* y *Friesiomielitta nigra*) (Sánchez et al., 2019), flavonoides (4.40 y 45.44 mg EQ/100 g de miel; Vit et al., 2019), flavonoides y fenoles (125.17-431.20 µmoles EAG/100 g de miel) en mieles producidas por *Tetragonisca fiebrigi* de Paraguay y Argentina. En la región del Soconusco, Chiapas se han registrado valores de fenoles en el rango de 0.34-32.07 mg EAG $.g^{-1}$ y de flavonoides en el rango de 0.82-0.02 $EQ_{.g^{-1}}$ (Marín, 2018). Estos estudios muestran que los compuestos bioactivos dependen de la especie de abeja, del origen floral y espacio geográfico (Vit et al., 2013).

Generalmente las mieles de abejas sin aguijón contienen un alto porcentaje de humedad y acidez libre entre otros parámetros (Vit et al., 2013, Espinoza-Toledo et al., 2018., Enriquez & Dardon, 2008, Siok et al., 2017), lo cual provoca que la miel almacenada en los cántaros se fermente naturalmente por levaduras osmofílicas (Vit, et al., 2013), siendo este proceso de fermentación aceptado para después de la cosecha y para mejorar sus propiedades nutracéuticas (Pérez et al., 2007). En Brasil se utiliza el método de conservación para la miel de *meliponas* llamado ¨maduración¨ el cual consiste en dejar fermentar la miel a temperatura ambiente por los microrganismos presentes naturalmente en la miel (Camargo et al., 2017). Incluso se ha utilizado esta técnica por algunos meliponicultores en el estado de Puebla en México (Jaffé et al. 2015), en donde se registró un valor agregado a la miel de *S. mexicana*. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la relación del proceso de maduración y el potencial nutracéutico de las mieles de abejas sin aguijón de la región Soconusco, Chiapas, en las principales especies cultivadas en la región; *S. mexicana, M. beecheii M. solani*, con diferentes tratamientos de temperatura (-10°C, 25°C, temperatura ambiente) durante 180 días, por medio de la evaluación de los parámetro físico-químicos, recuento de levaduras, parámetros sensoriales y análisis antimicrobiano, durante este tiempo y al año de haber colectado las muestras de miel.

METODOLOGÍA

Muestras de miel

Se colectaron 750 ml de miel de tres diferentes especies de abejas sin aguijón (*Scaptotrigona mexicana* (Sm), *Melipona beecheii* (Mb), *Melipona solani.* (Ms)) de la Asociación de Menipolinicultores del Soconusco en 2020; una vez en el laboratorio, se dividieron las muestras de las tres mieles en submuestras de 250 ml cada una para estudios posteriores.

Las muestras se sometieron a diferentes tratamientos de temperatura; -10°C, 25°C y a 33°C, en congelador y a temperatura ambiente respectivamente.

Análisis físico-químicos

El análisis físico-químico se realizó utilizando los métodos descritos en la A.O.A.C. (2005): humedad (método 969.38, modelo hhip 8010-0019), pH (método 962.19, HANNA modelo HI98129), acidez libre (método 962.19), °Brix (refractómetro. modelo hhip 8010-0019), conductividad eléctrica (Espinoza, et al, 2017. HANNA Modelo HI98129) y para medir los grados de fermentación alcohólica se utilizó un alcoholímetro.

Estos estudios se realizaron en las mieles después de un año de haber permanecido a temperatura ambiente en el laboratorio.

Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó con siete panelistas no entrenados, donde se analizaron muestras de diferentes tratamientos. Las muestras se sirvieron en vasos de 10 ml de plástico y con un código, el cual no permitía que el panelista pudiera discernir qué muestra era la que se evaluaba. Los panelistas tuvieron que llenar un formato donde se evaluaba por rango, dependiendo de la intensidad que tuviera la muestra. Dependiendo de la evaluación que se realizaba iba teniendo diferentes rangos. El rango de 1-6 según la intensidad en el caso de las evaluaciones de olor y aroma. En el caso de sabor, el rango era de 1-4 (1=suave, 2=normal, 3=Fuerte y 4=Ninguna) en los cuatro sabores detectables para el paladar ácido, amargo, dulce y salado. Comparado con la evaluación visual donde se utilizaron diferentes rangos del 1-2, según las características como el estado físico (1=liquido, 2=cristalizado), apariencia (1=clara, 2=turbia) y homogeneidad (1=homogénea, 2=irregular). En apariencia agregada el rango era 1-5 (1=burbuja de aire. 2=fermentación, 3=impureza, 4=Nata, 5=ninguna) y en el caso de color el rango era de 1-7 (1= casi sin color, 2= amarrillo paja, 3=ámbar luminoso, 4=ámbar, 5=ámbar oscuro, 6= ámbar muy oscuro, 7=casi negra) (Espinoza-Toledo et al., 2018, Bragato et al. 2010).

Análisis palinológicos

Los granos de polen de las mieles fueron analizados cuantitativa y cualitativamente. Se utilizó la técnica de Acetólisis de Erdtman (1952). Las muestras fueron colocadas en gelatina glicerinada en portaobjetos, los granos de polen fueron observados bajo el objetivo de 100X con el microscopio Axio Lab Carl-Zeiss. Para la identificación del polen se usaron diferentes claves taxonómicas (Palacios et al., 1991; Roubik & Moreno, 1991; Martínez-Hernández, et al. 1993). El análisis cualitativo tomó en consideración la morfología de los tipos de polen identificados cuando no fue posible identificar a nivel especie o género. Se contó un total de 500 granos de polen por muestra.

Análisis antimicrobiano de mieles frescas y maduras

La actividad bactericida se evaluó mediante el método de difusión por pozo de agar y envenenamiento en agar, de las mieles a temperatura ambiente (25°) contra *Escherichia coli, Staphylococcus aureus* y *Candida albicans*, por separado (cepas obtenidas por el Sindicato Nacional de Trabajadores de la Secretaría de Salud Pública (SNTSD) e identificadas por métodos de laboratorio de rutina). Las concentraciones empleadas en el estudio fueron al 50% y 75% (p/v).

Las muestras de miel que estuvieron a temperatura ambiente en el laboratorio (25°C) se analizaron contra las bacterias *S. aureus* y *E. coli* por el mismo método empleado anteriormente.

Actividad antifúngica

Se evaluó mediante el método de envenenamiento en agar contra las cepas de *Fusarium oxysporum, Colletotricum L*, *Gliocladium*, y *Aspergillus*, proporcionadas por el Laboratorio de Ecología de Plantas, Ingeniería Genética, CINVESTAV, Irapuato.

Ambos estudios antimicrobianos se realizaron con mieles recién colectadas y con estas mismas después de un año de mantenerse a temperatura ambiente.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en este estudio se analizaron por medio de un ANOVA y prueba de Hotelling, con una significancia de un $\alpha>0.05$. Se realizó una prueba de correlación de Pearson en los datos de reconteo de células mesófilas. En cuanto a los resultados antimicrobianos, se realizó un análisis de medias por Tukey entre los diferentes tratamientos. Estos datos se analizaron con el programa Infostat versión 7.1 (Stat soft, Inc. 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físico-químicos

Las características físico-químicas de las mieles en estudio fueron pH, acidez libre, °Brix, conductividad eléctrica (Cuadro 1) y se encontró que el pH fue aumentando conforme transcurrió el tiempo de estudio, lo cual se debe a la transformación de azúcares por efecto de la fermentación.

Al analizar los datos de pH, acidez libre, °Brix, conductividad y humedad de las mieles de abejas nativas sin aguijón se observan diferencias altamente significativas ($p<.0001$) entre las mieles de las especies estudiadas (*S. mexicana, M. solani y M. becheii)*, con respecto a las temperaturas a las que fueron expuestas y al tiempo durante el cual fueron mantenidas.

Las mieles de cada especie (Ms, Mb y Sm) registraron diferentes características físico-químicas ($p<.01$) con respecto al tiempo de almacenamiento y únicamente se modificó el pH y la conductividad al disminuir la temperatura a 10 °C ($p>.05$).

El análisis multivariado de los datos muestra que el tipo de miel (Ms, Mb o Sm), tiempo y la temperatura, ya sea en forma separada o en interacción, presentan diferencias altamente significativas ($p<.0001$).

Los tratamientos de temperatura a 25°C y 33°C registraron los valores más altos de pH y acidez libre en las tres mieles, siendo el tratamiento a -10 °C el que registró un mayor aumento en el pH final en las tres mieles. Sin embargo, no se observaron diferencias entre las mieles con respecto al pH por la temperatura de almacenamiento ($p>0.05$) Los pH iniciales fueron ácidos en un rango de 2-3, similar a los resultados obtenidos por Espinoza-Toledo et al (2018) y Grajales-Conesa et al. (2018) donde evaluaron los parámetros físico-químicos de las mieles de abejas sin aguijón del Soconusco. El pH final de las mieles de Sm, Mb y Mb almacenados con los diferentes tratamientos de temperatura se muestran ligeramente alcalinas, al contrario del pH final del tratamiento Sm a 33°C (3.34 ±0.13) el cual fue menor a

la inicial (3.39 ±0.03). Esto difiere de los resultados de Martínez et al. 2017, donde se reporta una disminución en el pH inicial (4.02 ± 0.02) en muestras de miel de *Tetragonisca fiebrigi* almacenadas a temperatura ambiente en frascos de plástico, el cual obtuvo un pH final (3.19 ± 0.02) menor a la inicial, reportando también una disminución en los tratamientos de almacenamiento en refrigeración en frasco de plástico y de vidrio. Los datos de pH finales almacenados con el tratamiento de 33°C de Sm (3.34±0.13), Mb (3.68±0.03) *y* Ms (3.37±0.04) son similares a pH de muestras de mieles de *M. fasciculata* almacenadas por 180 días a 30°C en condiciones controlables (3.73±0.06) reportado por Ribeiro et al. 2018, por consiguiente, se reporta una disminución con el pH inicial (3.73±0.06). Al contrario del tratamiento de congelación donde presentan un aumento de pH (3.83±0.09), comparado al tratamiento de congelación a -10°C presente en este trabajo (Cuadro 1), se muestra el mayor aumento de pH en las mieles de Sm (3.65±0.06). Mb (3.91±0.22) y Ms (3.37±0.04). La acidez es alta en el tiempo inicial de todas las mieles de Sm (115-67±5.51), Mb (91.67±5.13) y Ms (90.33± 4.93), siendo estadísticamente diferentes ($p < 0.001$) (ver Cuadro 1). Sin embargo, este trabajo mostró diferencias en la acidez reportada por Espinoza-Toledo et al (2017); Grajales-Conesa et al (2018); Martínez et al (2017); Ribeiro et al. (2018) y Finola et al. (2007). La acidez durante los días de almacenamiento aumentó en todos los tratamientos a 25°C y 33°C de las mieles. Las sometidas a -10°C fue el único tratamiento que mantuvo los niveles de acidez bajos en todas las mieles. El contenido de ácido libre fue superior a lo establecido en la Comisión internacional de la miel IHC y la comisión del *Codex Alimentarius* (50 meq / kg), lo cual podría considerarse como un indicador de la fermentación en las tres mieles sometidas a 25°C y 33°C. Finola et al (2007), discute que la presencia de ácidos libres está relacionado inversamente al contenido de cenizas. Al aumentar el contenido de ácidos libres el contenido de cenizas disminuye, lo cual quiere decir que el contenido de sales o minerales afectan a los ácidos libres debido a iones libre como fosfato que en pH ácidos pueden reaccionar con los grupos lactonas o cetonas internas de los ácidos libres, provocando una salinización de los ácidos. Por otro lado, la conductividad eléctrica se encuentra en un rango de 180-484 µS/cm durante el tiempo de almacenamiento, lo cual no superó el valor máximo requerido por el *Codex Alimetarius* (<800 µS/cm) en *A. mellifera*, observándose que los valores de minerales y cenizas presentes fueron bajos a comparación de mieles del Soconusco reportados por Espinoza-Toledo et al (2017). En contraste a valores reportados en otras mieles de *Tetragonisca angutula* (7,320 µS/cm ±0.23) el cual fue mucho más alto en valores obtenidos en este trabajo, reportados por Vit et al. (1998) y en otras mieles de abejas sin aguijón se reportan CE más altos por Ávila et al (2018). La humedad se presentó en un rango de 26 a 29.36% al inicio y en los valores finales de cada tratamiento se observa una diminución en las muestras de Sm, Mb y Ms, excepto el tratamiento a -10°C en la muestra de Ms (31.33±0.58) la cual presenta un aumento al contrario del valor inicial de Ms (29.83±0.29). El contenido de humedad otorga características como la solubilidad de la miel, el color, el sabor y

la palatabilidad, determinando también la presencia microbiana en la miel (Finola et al. 2007). El comportamiento de reducción de humedad por la congelación explica que la baja temperatura retiene la humedad en forma de cristales de hielo. En contraste con Martínez et al (2017), reportan un aumento de la humedad en miel de *M. fasciculata,* almacenada en frasco de plástico a temperatura ambiente donde se presentó el valor más alto (26.8%) a los 90 días y no se modificó a los 120 y 180 días. Los °Brix se muestran en un rango de 63-75, los valores finales fueron altos en las muestras de Sm, Mb y Ms sometidas a los diferentes tratamientos de temperatura al contrario de los valores iniciales como se ve en el Cuadro 1. El aumento de los °Brix difiere a los resultados reportados por Ribeiro et al (2018), en donde se observa una ligera disminución a comparación del valor inicial (valor inicial 75.30±0.5, valor final 74.14±1.05). Solo en el tratamiento de congelación se muestra un ligero aumento (74.73±0.26). Los valores iniciales son similares a datos reportados por Damasceno et al. (2018), en muestras evaluadas de la especie *M. scutellaris* (Uruçu) (70.1±3.7) y *Melipona sp*. (Jandaíra)(76.1±3.7) la cual la miel de Jandaíra fue ligeramente más alta que los valores reportados en este trabajo.

Estos hallazgos indican que en el proceso de maduración de las mieles de abejas sin guijón ocurren cambios en las características físico-químicas por efecto de la especie ya sea *S. mexicana, M. solani y M. becchei,* la temperatura a la cual se encuentran expuestas y el tiempo de almacenamiento. La importancia de estos resultados radica en el conocimiento generado, ya que al observarse cambios en las propiedades físico químicas de las mieles y específicamente cuáles, podemos inferir lo que sucede en la naturaleza y cómo los *meliponinos* conservan y destinan las reservas para diferentes usos en la colmena. Por otro lado, las propiedades nutracéuticas y antimicrobianas pueden variar por el contenido de metabolitos y cambios químicos que ocurren en ellos durante la fermentación.

Cuadro 1.
Valores físico-químicos durante el tiempo de almacenamiento de las mieles de *S. mexicana*, *M. beecheii* y *M. solani* sometidos a los diferentes métodos de temperatura.

Días	Sm														
	-10°C					25°C					33°C				
	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)
0	3.39±0.03	115.67±5.51	66.03±0.49	347.00±2.65	26.83±0.29	3.39±0.03	115.67±5.51	66.03±0.49	347.00±2.65	26.83±0.29	3.39±0.03	115.67±5.51	66.03±0.49	347.00±2.65	26.83±0.29
30	3.58±0.04	85.00±13.45	66.93±1.26	329.33±2.52	26.83±0.58	3.32±0.25	95.00±3.61	70.58±0.18	356.00±2.65	25.17±0.58	2.79±0.02	89.33±2.08	71±0.28	347.33±0.58	25.83±0.29
60	3.66±0.03	93.67±4.73	72.68±0.65	264.00±13.00	27.83±0.76	3.44±0.06	97.67±3.51	72.78±0.20	309.00±16.52	26.83±0.76	3.67±0.02	81.61±24.83	67.82±1.88	290.67±12.42	26.33±1.44
90	3.71±0.03	107.00±4.36	71.48±0.28	326.00±40.84	26.33±0.29	3.51±0.01	233.33±17.56	72.92±0.95	318.00±10.44	26.00±0.00	3.66±0.01	166.33±16.04	72.08±0.76	279.67±27.59	26.33±0.58
120	3.54±0.03	74.00±4.36	74.33±0.58	259.33±13.43	25.67±0.58	3.32±0.02	96.00±5.00	73.67±0.58	300.00±7.00	26.33±0.58	3.49±0.03	106.00±3.61	74.33±0.58	270.67±27.59	25.67±0.58
150	3.64±0.05	82.00±3.00	73.00±0.00	302.00±53.69	27.00±0.00	3.53±0.02	101.33±4.04	75.00±0.00	484.00±15.00	25.00±0.00	3.51±0.06	93.63±4.04	75.00±0.00	516.00±13.50	25.00±0.00
180	3.65±0.06	106.33±5.03	73.33±0.29	298.00±14.11	26.67±0.29	3.77±0.03	165.00±3.00	75.00±0.00	344.67±2.31	25.00±0.00	3.34±0.13	173.00±4.36	75±0.00	321.00±26.91	25.00±0.00
Días	Mb														
	-10°C					25°C					33°C				
	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)
0	3.11±0.27	91.67±5.13	67.50±3.59	286.33±0.58	29.00±0.87	3.11±0.27	91.67±5.13	67.50±3.59	286.33±0.58	29.00±0.87	3.11±0.27	91.67±5.13	67.50±3.59	286.33±0.58	29.00±0.87
30	3.07±0.01	51.33±3.06	65.33±0.95	245.00±1.00	28.83±0.29	2.97±0.01	61.00±6.24	67.68±0.39	270.33±2.08	25.67±0.76	2.97±0.03	66.33±6.81	68.80±0.93	250±1.53	25.67±2.08
60	3.35±0.05	52.33±0.58	69.67±0.52	180.33±4.73	26.83±0.29	2.92±0.04	62.67±13.58	71.57±0.28	261.67±12.01	26.83±0.76	2.90±0.10	76.00±6.56	68.43±2.07	245.33±26.58	26.67±0.29
90	3.63±0.03	61.67±2.08	70.25±1.15	296.67±27.23	29.33±0.58	3.21±0.01	128.67±21.01	70.25±1.25	265.33±19.66	32.00±0.00	3.26±0.03	143.00±27.71	70.25±1.25	267.33±3.51	27.00±0.00
120	3.12±0.03	76.67±7.57	72.83±0.76	267.33±3.51	27.17±0.76	3.26±0.02	73.67±4.73	73.17±0.29	249.33±4.51	27.50±0.87	3.23±0.02	81.67±2.08	73.17±0.29	250.33±8.50	26.83±0.29
150	3.17±0.02	48.67±3.79	69.00±1.73	371.67±8.96	28.67±0.58	3.22±0.04	72.67±2.08	74.17±0.29	406.33±7.23	29.00±0.00	3.40±0.05	79.67±2.08	74.17±0.29	394.33±15.89	28.67±0.29
180	3.91±0.22	57.00±1.00	68.67±0.58	214.00±14.80	28.83±0.29	3.53±0.11	102.67±6.66	74.00±0.00	291.67±4.51	29.00±0.00	3.68±0.03	97.67±3.51	74.00±0.00	272.67±12.22	28.50±0.00
Días	Ms														
	-10°C					25°C					33°C(TA)				
	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)	pH	Acidez (mEq/Kg)	°Brix	CE (µS/cm)	Humedad (%)
0	2.78±0.07	90.33±4.93	63.00±1.32	269.33±2.52	29.83±0.29	2.78±0.07	90.33±4.93	63.00±1.32	269.33±2.52	29.83±0.29	2.78±0.07	90.33±4.93	63.00±1.32	269.33±2.52	29.83±0.29
30	2.98±0.04	54.67±0.58	63.38±0.75	234.33±1.53	31.33±0.29	2.70±0.08	80.00±1.00	57.77±0.48	272.67±1.53	28.00±1.32	2.79±0.07	101.33±15.31	67.43±0.93	281.33±3.21	28.00±1.00
60	3.14±0.04	59.33±4.51	68.83±0.63	211.67±1.53	30.17±0.29	2.75±0.01	74.67±14.57	67.73±0.55	256.67±13.32	29.00±0.00	2.81±0.12	81.67±10.41	68.20±1.65	260.33±2.08	29.00±0.00
90	3.39±0.02	51.33±2.52	67.45±0.40	216.00±3.46	31.17±0.29	3.20±0.02	185.33±29.37	70.07±0.40	260.67±3.79	29.67±0.29	3.22±0.03	166.33±16.04	70.33±0.46	249.33±2.31	29.83±0.76
120	3.27±0.02	48.33±3.21	70.83±0.29	186.67±8.67	29.17±0.29	3.19±0.04	88.00±1.00	70.83±0.29	235.33±2.08	29.17±0.29	3.17±0.04	95.67±0.58	70.67±0.58	249.33±2.31	29.33±0.58
150	3.42±0.04	52.33±4.62	73.33±4.04	363.00±7.81	31.00±1.73	3.31±0.05	85.00±3.61	71.00±0.00	386.33±4.73	26.17±0.29	3.34±0.13	98.67±3.79	71.33±0.29	394.33±15.89	25.83±0.29
180	3.65±0.12	73.67±2.08	71.17±0.29	249.33±34.53	31.33±0.58	3.43±0.06	97.67±5.77	71.00±0.00	265.00±9.64	27.33±1.15	3.37±0.04	100.00±5.00	71.50±0.00	253.33±0.58	26.00±0.00

Fuente: elaboración propia. Las muestras muestran diferencias significativas (p<.0001)

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE MIELES MADURAS

Las características físico-químicas de las mieles se muestran en el cuadro I. Los valores de pH en las mieles oscilaron en un rango de 3.39 a 3.14, siendo el valor más alto para la miel de *S.mexicana* (3.39) y el más bajo para la miel de *M.beecheii* (3.14). Por otra parte, el contenido de °Brix registrado en las mieles muestran un rango de 74.02-70.87, siendo el valor más alto para la miel de *S. mexicana* (74.02) y el más bajo para *M. beecheii* (70.87). El contenido de humedad de las mieles estuvo en un rango de 29.13 a 25.97%, la miel de *M. beecheii* mostró el valor más alto (29.13%) y la miel de *S. mexicana* el valor más bajo (25.97%). Entre las muestras de *S. mexicana*, *M. beecheii* y *M. solani* no presenta una diferencia estadísticamente significativa ($p< 0.05$), para los parámetros de pH, °Brix y humedad. Los valores de pH en mieles frescas oscilan en un rango de 3 a 4, durante la fermentación no hubo un cambio drástico del pH, comparándolo con valores obtenidos en mieles frescas. Se encontró que los valores de pH son similares a las mieles de abejas sin aguijón reportadas por Grajales et al. (2018); sus valores se encontraron en un rango de 3.65 a 3.5. Riberio et al. (2018), encontraron que durante el almacenamiento de 180 días el pH de mieles estudiadas disminuyó debido a la fermentación. Los valores de humedad reportados fueron mayores a comparación de las mieles de la India estudiadas por Mahnot et al. (2019). El nivel de fermentación de la miel causa variación en el contenido de humedad en las mieles, ya que durante este proceso suceden diversas reacciones metabólicas, como degradación de azúcares y reacciones enzimáticas, lo que provoca liberación de moléculas de agua entre los cuales podemos destacar la formación de agua a partir de peróxido de hidrogeno (Tao et al., 2009). Con respecto a la conductividad eléctrica, se presentaron valores que oscilaron entre 431 y 306.33 µs cm^{-1}, en donde la miel de *S. mexicana* presentó el valor más alto y el valor más bajo fue para le miel de *M. solani*. En mieles de *Melipona sutellaris y Melipona subnítida* se han reportado valores entre 190 µs cm^{-1} y 120 µs cm^{-1}, respetivamente, en otras mieles de abejas sin aguijón frescas se reportan valores más altos por Ávila et al. (2018); Biluca et al. (2017), estos valores reportados fueron más altos a los obtenidos en este estudio.

Cuadro 2.
Composiciones físico-químicas de mieles de abejas sin aguijón fermentadas.

Especie de abeja	pH	°Brix	Humedad (%)	Conductividad eléctrica (µs cm^{-1})	Acidez libre (meq kg^{-1})
S. mexicana	3.39 ± 0.01 a	74.02 ± 0.00 a	25.97 ± 0.00 a	431 ± 11.36 c	107.50 ± 0.87 a
M. solani	3.14 ± 0.03 a	71.18 ± 1.44 a	28.81 ± 1.44 a	306.33 ± 0.58 a	127.50 ± 1.80 c
M. beecheii	3.13 ± 0.58 a	70.87 ± 3.18 a	29.13 ± 3.18 a	369 ± 22.27 b	119.83 ± 0.29 b

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al contenido de acidez libre en las mieles, varió de 127.50 a 107.50 meq kg^{1}, siendo la miel de *M. solani* la que presentó el valor más alto de acidez libre (127.50 meq kg^{-1}) y el valor más bajo lo presentó la miel de *S. mexicana* (107.50 meq kg^{-1}), esto difiere a lo reportado por Grajales et al., 2018; ellos encontraron valores que oscilan entre 90.3 y 28.0 meq kg-1 en mieles frescas de abejas sin aguijón. El aumento de la acidez durante la fermentación se le atribuye a la transformación de azúcares por efecto de la fermentación, durante este proceso la glucosa y fructosa se convierten en dióxido carbono y alcohol etílico. El alcohol es adicionalmente hidrolizado en presencia de oxígeno y convertido en ácido acético y agua. (Ajlouni et al., 2010; Boussaid et al., 2018).

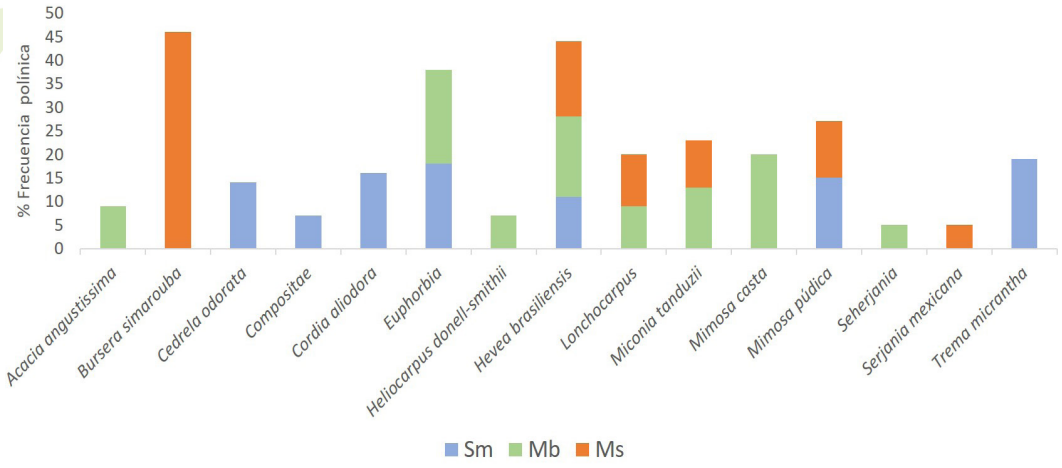
ANÁLISIS PALINOLÓGICO

Se describió el número de tipos polínicos y su origen vegetal hasta el máximo grado taxonómico que se analizó por muestra. Las muestras de miel fueron caracterizadas como "monoflorales" cuando en su composición presentó una especie con porcentaje de polen superior o igual a 45% y "multiflorales, mixta o polifloral" cuando tres o más especies se presentaron con porcentajes iguales o mayores al 10% .

Se caracterizó la muestra de *S. mexicana*(Sm) y se identificaron siete tipos polínicos: uno a nivel familia, uno a nivel género y cinco a nivel especie, la familia que presentó el mayor número de granos fue *Euphorbiaceae*, siendo *Euphorbia* y *Hevea* los géneros más representativos. Se caracterizó esta miel como multifloral para el municipio de Tuxtla Chico (Figura 2).

Se registró una miel multifloral para el municipio de Tuxtla Chico de la especie *M. beecheii* (Mb), se obtuvieron ocho tipos polínicos: dos a nivel género y seis a nivel especie. Las familias que presentaron el mayor número de granos en la muestra fue *Euphorbiaceae* y *Leguminosae*. A nivel de género *Hevea* y *Euphorbia.*

Figura 2.
Porcentaje de frecuencia polínica por especie visitada en el área de Tuxtla Chico



Fuente: elaboración propia.

Se identificó una miel monofloral perteneciente a la especie *M. solani* (Ms) del municipio de Tuxtla Chico, con porcentaje ≥45%, con seis tipos polínicos: siendo todos identificados a nivel especie, siendo *Leguminosae* la familia más representativa. Espinoza et al. (2017) reporta en muestras de *M. beecheii* un porcentaje superior de 45% de granos de polen correspondiente a la familia *Leguminosae/Fabaceae*, de manera que presenta similitud con las muestras de *M. solani*. Los géneros de *Hevea* y *Euphorbia* se reportan en mieles de *M. solani, S. mexicana* y *T. angustula* , la familia *Euphorbiaceae* es una fuente importante para estas abejas sin aguijón en los géneros que destacan en la zona Soconusco *Jatropha, Croton, Euphorbia, Hevea.*

ANÁLISIS SENSORIAL

Las muestras de la evaluación de olor y aroma, no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tiempo y tipo de miel. Las muestras de sabor tampoco muestras diferencias significativas (Cuadro 3), sin embargo, si muestras en los niveles del rango de sabor amargo, salado, dulce y acido. El sabor de las muestras que reportan los panelistas estuvieron en los 4 niveles de sabor al inicio. El tratamiento a -10°C reporta que las características sensoriales de sabor se conservan por más tiempo debido a que la miel tuvo una intensidad suave en todos los niveles. Las muestras de Sm a 25°C y 33°C muestran sabores más fuertes en nivel de amargo y acido, el cual no es muy aceptado para los panelistas. Esto concuerda con valores similares reportados por Espinoza, et al. (2017), Vit[b], et al. (2010), el cual presentan una disminución de la aceptabilidad en muestras de *S. mexicanas*, debido al sabor amargo. La evaluación visual solo presento diferencias significativas en el color, en los rangos de casi sin color, amarillo luminoso y ámbar. Las muestras de Sm mostraron color ámbar desde el día 0 al día 60, al contrario de la muestra de Mb y Ms, donde presentaban escaso color amarillo al día 0, aunque en los días 30 y 60 mostraron color amarrillo luminoso y color ámbar. Ribeiro, et al. (2018), reporta que los métodos de congelación, pasteurización tiene una aceptación por los consumidores. Los valores difieren con resultados de Jaffé, et al. (2015), donde realizaran en cuentas con el objetivo de recolectar información a gran escala y optimizar la menipolinicultura, en donde reporta una aceptación por parte de los consumidores de abejas sin aguijón fermentadas a temperatura ambiente. Es necesario realizar más trabajos sensoriales con mieles almacenadas a diferentes temperaturas para conocer que métodos contribuye a mejorar las características sensoriales o a conservarlas.

ANÁLISIS ANTIMICROBIANO DE MIELES FRESCAS

Las mieles utilizadas en este estudio no redujeron el crecimiento de los diferentes microorganismos utilizados, por lo tanto no presentaron inhibición por las muestras de miel en ninguna concentración. Los resultados obtenidos de este análisis contrastan con lo reportado por Zamora et al. (2011) al no presentar inhibición en *S. aureus* con la miel de *Melipona*. Jiménez et al., (2016) se demostró que sólo

a concentraciones altas las mieles de *S. mexicana* presentan inhibición contra microorganismos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecali* y *Pseudomonas aeruginosa*, pero estas no inhibieron el crecimiento de *Candida albicans* y *Aspergillus*, así mismo, Marín et al. (2018), reporta la inhibición de *Staphylococcus aureus* a diferentes concentraciones de mieles de *M. beecheii, M. solani* y *S. mexicana*, pero no inhibieron el crecimiento de *Candida albicans* y *Colletotrichum*. Becerra-Torrejon et al. (2016), indican que la miel de *A. mellifera* inhibe el crecimiento bacteriano de *S. aureus*, tanto en el disco impregnado con la miel concentrada como en la diluida 1:2, lo cual indica que la miel debe utilizarse de manera concentrada, o en su defecto poco diluida para que pueda ejercer su acción antimicrobiana. Así también se han reportado la inhibición en *E.coli* en mieles de *A. mellifera* con una actividad antibacteriana del .89%, contrastando con lo obtenido, ya que al trabajar con muestras de abejas sin aguijón, ninguna presentó inhibición, comparando los resultados de *A. mellifera* con las muestras analizadas. Boukraâ et al. (2007), reportan que no existe inhibición con *Candida albicans* al aplicar la miel, concordando con ellos al no presentar inhibición con este microorganismo.

El mecanismo involucrado en la actividad antibacteriana es altamente complejo debido a la participación de múltiples compuestos y la variación significativa en las concentraciones de estos compuestos entre diferentes tipos de miel (Kwakman & Zaat, 2012). El informe de Kwakman et al. (2010), concluyó que no es posible cuantificar la contribución de diferentes factores en relación con la actividad bactericida de las mieles, ya que estos factores pueden tener una actividad redundante, dependientes o tienen actividad aditiva o sinérgica dependiendo de la especies bacterianas objetivo.

A pesar de que la Difusión en pozo de agar tiene que utilizarse como prueba de detección para evaluar la actividad antimicrobiana de las mieles diluidas 50% (vv – 1), existen varias limitaciones, incluido el grosor del agar, la difusión ineficaz de algunos compuestos apolares en el agar y estandarización del inóculo. Domingos et al. (2020). Estas limitaciones también se observaron en el estudio presente. Los compuestos naturales como la miel pueden contener componentes antimicrobianos que no se difunden adecuadamente en el agar, lo que puede observarse en ausencia de actividad antibacteriana.

Ávila et al. (2019), asoció la actividad nula de mieles de abeja sin aguijón a las propiedades químicas y biológicas de las mieles, ya que tienen una fuerte relación con el origen botánico del polen y este a su vez con el origen geográfico, que podría dar resultados variables en entornos clínicos.

A partir de ingredientes florales y orgánicos recolectados y los elementos glandulares, fúngicos y microbianos presentes en el nido y abejas, la miel adquiere su color característico, acidez, sabor, química composición y propiedades biológicas (Fletcher et al., 2020; Paludo et al., 2018). A pesar de estos resultados, el estudio no evalúa la flora y las preferencias potenciales de las especies de abejas que contribuyen a la miel. Por lo tanto, deben realizarse más estudios para investigar y enfatizar las diferencias particulares de cada miel y de cada especie.

ANÁLISIS ANTIMICROBIANO DE MIELES MADURAS

La miel de *S. mexicana* mostró los mayores diámetros de inhibición en todas las concentraciones en comparación con las mieles de *M. solani* y *M. beecheii* (Cuadro 2). El mayor efecto inhibitorio contra ambas cepas estudiadas, se dio en concentración de 100% v/v de *Scaptotrigona mexicana* presentando halos que oscilan entre 22.00 y 21.67 mm de diámetro, estos valores fueron superiores a lo reportado por los halos de inhibición de las mieles estudiadas contra *E. coli* y *S. aureus* fueron entre 15.40 y 11.20 mm, respectivamente.

El menor efecto inhibitorio contra *E. coli* se registró con la concentración de 25% de miel de *M. beecheii* (5.33 mm), este valor fue mayor a lo reportado en mieles de Nigeria, a concentración de 40 - 20%, los valores oscilaron entre 4.30 y 2.80 mm contra *E. coli* (Agbagwa and Peterside, 2010). En el caso de *Melipona solani* a concentración de 25% no se observó efecto inhibitorio. En la actividad antibacteriana contra *S. aureus* se observó que las concentraciones de 100% de las mieles estudiadas hubo mayor efecto antibacteriano, los valores oscilaron entre 22 y 10.33 mm, siendo la miel de *S. mexicana* quien tuvo el mayor diámetro de inhibición (22.00 mm) y en concentraciones de 25% para mieles de *M. beecheii* y *M. solani* no se presentó efecto antibacteriano. La concentración en las diluciones utilizadas de mieles es un factor en la inhibición tanto para *E. coli*, como para *S. aureus*. Zamora et al. (2011), reportó que la actividad antibacteriana observada es directamente proporcional a su concentración. Diversos estudios de actividad antimicrobiana de mieles de abejas sin aguijón, han mostrado efecto inhibidor de bacterias y hongos (Grajales et al., 2018; Pimentel et al., 2013). El grado de inhibición depende del tipo de miel, método de conservación y orígenes botánicos de la miel. Sherlock et al. (2010), así como también depende de la concentración de la miel, porque el efecto antibacteriano de la miel fue mayor a concentraciones de 100% para las mieles estudiadas.

Cuadro 3.
Diámetros de las zonas de inhibición (mm) de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en mieles de *Melipona beecheii, M. solani* y *Scaptotrigona mexicana.*

	Escherichia coli			***Staphylococcus aureus***		
	100%	50%	25%	100%	50%	25%
M. beecheii	17.67 ± 2.08 a	13.67 ± 1.15 a	5.33 ± 4.62 a	13.33 ± 2.08 a	4.67 ± 4.04 a	0 a
M. solani	17.67 ± 2.08 a	8.33 ± 7.37 a	0 a	10.33 ± 0.58 a	3.00 ± 5.20 a	0 a
S. mexicana	21.67 ± 1.53 a	14 ± 1.73 a	13.67 ± 1.15 b	22.00 ± 2.65 b	19.33 ± 0.58 b	9.33 ± 1.53 b

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Las mieles almacenadas a temperatura de -10°C ocasiona un aumento en el pH en las mieles de *S. mexicana, M. beecheii* y *M. solani* aunque no se ocasionan cambios en las características físico-químicas y sensoriales. Las que son almacenadas a 25°C

y 33°C muestran cambios físico-químicos y sensoriales, indicando la fermentación, además de un incremento en las características microbianas, además de contar con un sabor ácido y amargo. En cuanto a la actividad antimicrobiana, las mieles frescas no registraron capacidad para inhibir el crecimiento de las bacterias y los hongos analizados; en contraste, las mieles maduras de un año poseen actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Lo anterior indica que el proceso de maduración en la miel como método de conservación no afecta de manera negativa a la actividad antibacteriana de mieles de abejas de especies sin aguijón y podría ser una alternativa en vías de la estandarización de la miel de cántaro.

REFERENCIAS

Agbawa O, Peterside F. (2010). Effect of raw commercial honeys from Nigeria on selected pathogenic bacteria. *African Journal of Microbiology Research*, 4, 1801-1803.

Ajlouni S, Sujrapinyokul P. (2010). Hidroximetilfurfuraldehído y amilasa contenido en miel australiana. *Química de los alimentos*, 119(3), 1000-1005.

Association of official analytical chemists (AOAC). (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16 ed. Arlington. 937.

Arnold, N., Zepeda, R., Vásquez-Dávila, M., Aldasoro-Maya, M. (2018). Las abejas sin aguijón y su cultivo en Oaxaca, México: con catálogo de especies. El Colegio de la Frontera Sur, CONABIO.

Ávila, S., Beux, M.R., Ribani, R.H., Zambiazi, R.C. (2018). Miel de abeja sin aguijón: parámetros de calidad, compuestos bioactivos, propiedades de promoción de la salud y estrategias de detección de modificaciones. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 37–50.

Ayala, R., González, V.H., Engel, M.S. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera:Apidae): diversity, distribution, and indigenous knowledge. *In:* Vit P, PedroS, Roubik D, editors. *Pot-Honey.* New York: Springer; 2013. p. 135–152

Ayoub, S., Ahmad, S., Latief, A., Javed, M. (2017). Role of honey in modern medicine. Saudi *Journal of Biological Sciences* 24, 975-978.

Becerra-Torrejon, D.J., Cabrera-Ureña, J.C., Solano, M. (2016). Antibacterial effect of bee honey in different concentrations against *staphylococcus aureus*. *Revista Científica Ciencia Médica*, 19(2), 38-42.

Biluca, F., Santos, J., Schulz, M., Braghini, F., Gonzaga, L., Maltez, H., Rodríguez, E., Vitali, L., Micke, G., Borges, D., Oliveira, A., Fett, R. (2017). Phenolic compounds, antioxidant capacity and bioaccessibility of minerals of stingless bee honey (*Meliponinae*). *Journal of food composition and Analysis*, 63, 89-97.

Boukraâ, L., Bouchegrane, S. (2007). Additive action of honey and starch against Candida albicans and Aspergillus niger. *Revista iberoamericana de micología*, 24(4): 309.

Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Hellal, R., Donsi, F., Ferrari, G. (2018). Evolucion de 5-hidroximetilfurfural (HMF) y furfural (F) en vinos fortificados sometidos a condiciones de sobrecalentamiento. *Food Research International*, 44(1), 71- 76.

Bragato-Ritcher, V., Avancini de Almeida, T.C., Prudencio, S.H., de Toledo benassi, M. (2010). Proposing a ranking descriptive sensory method. *Food Quality and Preference* 21 611–620

Camargo, RC, de Oliveira, K, Berto, M. (2017). Stinglees bee honey: technical regulation proposal. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, 1-6.

Camargo, R.C.R., de, Oliveira, K.L., Berto, M.I. (2017). Miel de abejas sin aguijón: propuesta de reglamentación. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, 1-6.

Can, Z., Yildiz, O., Sahin, H., Akyuz, E., Silici, S, Kolayli, S. (2015). An investigation of Turkish honey: Their physic-chemical properties, antioxidant capacities and phenolic profiles. *Food Chemistry,* 180:133-141.

Damasceno, M., A., Gomes, F., A., Cunha, B.,R., Batista F. (2018) Honey quality of Melipona sp. bees in Acre, Brazil. *Acta Scientarium: Agronomy*, 67, 2, 201-207.

Domingos, S.C.B., Clebis, V.H., Nakazato, G., Oliveira, A. G., Takayama Kobayashi, R. K., Peruquetti, R. C., et al. (2020). Antibacterial activity of honeys from Amazonian stingless bees of Melipona spp. and its effects on bacterial cell morphology. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 101, 2072-2077.

Enriquez, E., Dardon, M.J. (2008) *Caracterización fisicoquímica y antimicrobiana de la miel de nueve especies de abejas sin aguijón (meliponini) de Guatemala.* Dirección General de Investigación. Universidad de San Carlos. Guatemala. pp. 3-8.

Erdtman, G. (1952). Pollen morphology and plant taxonomy. Angiosperms (An introduction to Palynology I). *The Chronica Botanica* Co. Mass., U.S.A., 539 pp

Espinoza-Toledo, C., Vázquez-Ovando, A., Torres de los Santos, R., López-García, A., Albores Flores V, Grajales-Conesa J. (2018). Indicadores de calidad en mieles de abejas nativas sin aguijón de la región del soconusco, Chiapas. *Revista de Biología Tropical,* 66, 1536-1546.

Finola, M., Lasagno, M., & Marioli, J. (2007). Microbiological and chemical characterization of honeys from central Argentina. *Food Chemistry*, 100(4), 1649-1653.

González-Acereto, J. (2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Bioagrociencias*, 5, 35-41.

Grajales-Conesa, J., Vandame, R., Santiesteban Hernández, A., López García A., (2018). Propiedades fisicoquímicas y antibacterianas de mieles de abejas sin aguijón del Sur de Chiapas, México. *Ibciencias,* 1, 1-7.

Jaffé, R., Pope, N., Carvalho, A. T., Maia, U. M., Blochtein, B., de Carvalho, C. A. L., Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). Abejas para el desarrollo: encuesta brasileña revela cómo optimizar la apicultura sin aguijón. *PLOS ONE*, 10, 1-21.

Jimenez, M., Beristain, C., Azuara, E., Remedios-Mendoza, M., Pacual, L. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of honey from *Scaptotrigona mexicana* bee. *Journal of Apicultural Research* 55(2): 151-160.

Kwakman, P.H.S., Zaat, S.A.J. 2012. Antibacterial Components of Honey. *IUBMB Life*, 64, 48-55.

Mahnot, N.K., Saikia, S., Mahanta, C.L. (2019). Quality characterization and effect of sonication time on bioactive properties of honey from North East India. *Journal of Food Science*, 56(2): 724-736.

Marin, I., Torres, R., Grajales, J., Albores, V. (2018). *Elucidation of antimicrobial activity of stingless bee honeys from the Soconusco region.* Tesis de licenciatura. Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

Martínez-Hernández E, Cuadrielo-Aguilar J, Téllez-Valdez O, Ramírez-Arriaga E, Sosa Najera MS, Melchor-Sanchez JE, Medina-Camacho M, & Lozano-García MS. (1993). *Atlas de las plantas y el polen utilizados por las cinco especies principales de abejas productoras de miel en la región del Tacaná, Chiapas, México.* México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. 105.

Martínez, R. A., Schvezov, N., Brumovsky, L. A., Pucciarelli Román, A. B. (2017). Influence of temperature and packaging type on quality parameters and antimicrobial properties during Yateí honey storage. *Food Science and Technology,* 0.

Palacios-Chavez, R., Ludlow-Wiechers, B., Villanueva, R. (1991). *Flora Palinológica de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, Quintana Roo*. CIQRO-SEDUE. México. 321.

Perez-Perez, E., Rodríguez-Malaver, A., Vit, P., (2007). Efecto de la Fermentación Postcosecha en la Capacidad Antioxidante de Miel de Tetragonisca angustula Latreille, 1811. *Revista de la sociedad mexicana de biotecnología y bioingeniería*, 10, 14-20.

Pimentel, R., Alves, C., Melchionna, P., Duvoisin, S. (2013). Antimicrobial activity and rutin identification of honey produced by the stingless bee Melipona compressipes manaosensis and commercial honey. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 13:151.

Pohl, P., Stecka, H., Sergiel, I., Jamroz, P. (2012). Different aspects of the elemental analysis of honey by flame atomic absorption and emission spectrometry: a review. *Food Analytical Methods* 5(4): 737-751.

Ribeiro, G. P., Villas-Bôas, J. K., Spinosa, W. A., & Prudencio, S. H. (2018). *Influence of freezing, pasteurization and maturation on Tiúba honey quality*. LWT, 90, 607–612.

Roa, P.V., Krishnan, K.T., Salleh, N., Gan, S.H. (2016). Biological and therapeutic effects of honey produced by honey bees and stingleess bees: A comparative review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26(5): 1-8.

Roubik, D.W., Moreno, J.E. (1991). *Pollen and spores of Barro Color- ado Island. Saint Louis, MO: Missouri Botanical Garden*.

Sánchez, X.M., Jiménez, C., Ramírez, E., Martínez, J., Corzo, L.J. (2019). Actividad antioxidante y quelante de metales de las mieles de *Melipona beecheii* y *Frieseomelitta nigra* originarias de Tabasco, México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Química-Biológicas*, 22(1): 1-7.

Sherlock, O., Dolan, A., Athman, R., Power, A., Gethin, G., Cowman, S., Humphreys, H. (2010). Comparison of the antimicrobial activity of Ulmo honey from Chile and Manuka honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *BMC Complementary Alternative Medicine*, 10: 47.

Siok-Peng K., Nyuk-Ling C., Sheau -Wei, T., Yus-Aniza, Y., Lee-Suan, C. (2017). Clasificación de la miel de su origen de abeja a través del perfil químico y contenido mineral. *Food analytical methods,* 10,19–30.

Souza, B., Roubik, D., Barth, O., Heard, T., Enríquez, E., Carvalho, et al. (2018). Composición de la miel de abeja sin aguijón: establecer estándares de calidad. *Interciencia*. 31, 867-875.

Tao, Z., Raffael, R.A., Souid, A., Goodsiman, J. (2009). Kinetic studies on enzyme-catalyzed reactions: Oxidation of Glucose, descomposition of hydrogen peroxide and their combination. *Biophysical Journal* 96(7).

Vit P, Gutiérrez M, Rodríguez-Malaver A, Aguilera G, Fernández-Díaz C, Tricio AE. (2019). Comparación de mieles producidas por la abeja yateí (Tetragonisca fiebrigi) en Argentina y Paraguay. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 43(2):219-226.

Vit, P., Roubik, D. (2013). *Pot-Honey A Legacy of stingless bees*. Springer-Verlag. Nueva York.

Vit, P.,Oddo,L.P.,Marano,M.L.,&Mejias,E.S.(1998). Venezuelan stingless bee honeys characterized by multivariate analysis of physicochemical properties. *Apidologie*, 29, 377–389.

Vit P., Silvia R. M. Pedro. (2013). *Pot-Honey: un legado de abejas sin aguijón*. David Roubik. Springer Science+Business Media. New York. 153-187

Zamora, L. G., Arias, M. L. 2011. Calidad microbiológica y actividad antimicrobiana de la miel de abejas sin aguijón. *Revista Biomédica* 22 (2): 59-66.









CAPÍTULO XI
EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL VINO Y VINAGRE DE MANGO (*MANGÍFERA ÍNDICA* L.)

José Donaldo Ixlaj Cadona[1]

INTRODUCCIÓN

El vino y el vinagre de mango son productos derivados de procesos de fermentación estrechamente relacionados, donde el vino puede transformarse en vinagre mediante oxidación bacteriana. A nivel global, la industria vitivinícola genera más de 250 millones de hectolitros anuales, liderada por países como Italia, Francia y España (Organización Internacional de la Viña y el Vino [OIV], 2023, p. 15; Anderson & Nelgen, 2021, p. 72). Paralelamente, el mercado global de vinagres proyecta una tasa de crecimiento anual (CAGR) del 5.1% (2023–2030), impulsado por su uso en alimentación, agricultura y salud (Grand View Research, 2023, p. 8).

El mango es una de las frutas tropicales más importantes a nivel mundial, con una producción anual de 56 millones de toneladas (FAO, 2022). India es el mayor productor (45%), seguido por China, Tailandia y México. En Centroamérica, Guatemala destaca como el cuarto exportador regional, con una producción anual de 355,000 toneladas (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2023).

Las variedades más cultivadas son: Tommy Atkins: 60% de la producción nacional, precio promedio de $0.25–$0.50/kg (fresco)**;** Ataúlfo: 25%, valorizado en $0.60–$0.80/kg por su dulzura y bajo contenido de fibras**;** Criollo: 15%, usado principalmente para procesamiento (MAGA, 2023; Pérez, 2020, p. 89).

1 Universidad de San Carlos de Guatemala.

A pesar de su alta producción, 30% del mango guatemalteco se pierde en postcosecha por falta de infraestructura y canales de comercialización (Sánchez, 2023, p. 45). Esto subraya la necesidad de desarrollar productos con mayor valor agregado, como vinos y vinagres, para reducir pérdidas y diversificar ingresos en zonas rurales (ej. Escuintla, principal región productora).

Este estudio busca evaluar la viabilidad técnica y sensorial de la elaboración de vino y vinagre a partir de mango (variedades Tommy Atkins, Ataúlfo y Criollo), con tres propósitos clave: Valorizar excedentes de mango mediante procesos fermentativos estandarizados**,** generar datos científicos sobre parámetros fisicoquímicos (acidez, °Brix, pH) y preferencias sensoriales**,** también fortalecer cadenas agroindustriales en Guatemala, aportando protocolos replicables para pequeños productores.

A diferencia de países como México o Brasil, donde la producción de vinos y vinagres de frutas tropicales está tecnificada (Rojas Bernal & Valencia Rodríguez, 2014, pp. 12–13), en Guatemala predominan procesos artesanales que limitan su competitividad (Aguilar, 2019, p. 12). Además, existen pocos estudios locales sobre calidad sensorial de estos productos (Méndez et al., 2021, p. 56), lo que justifica la necesidad de esta investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y temporalidad de la investigación/Obtención de información

Delimitación espacial

Centro Universitario del Sur (CUNSUR) de la Universidad San Carlos de Guatemala. Calzada Manuel Colom Argueta, 2-75, departamento de Escuintla, Guatemala. Coordenadas geográficas: Latitud: 14°18'17" N, Longitud: 90°47'05" O. Altitud sobre el nivel del mar: 356 m (todas las coordenadas se dan en el sistema de coordenadas mundial WGS 84).

Delimitación en tiempo

El proyecto se ejecutó del 1 de marzo al 31 octubre del 2021. Inició la primera semana de marzo con la compra e instalación del equipo y mobiliario y finalizó con la sistematización, divulgación y consolidación de los productos y resultados durante el mes de octubre.

Recolección de datos

Los mangos Tommy Atkins y Criollo fueron comprados en el mercado el Cantonal ubicado en la primera calle y cuarta avenida de la zona 1 del municipio y departamento de Escuintla, los mangos Ataúlfo se compraron en la granja de los Foster, ubicada departamento de Santa Rosa municipio de Chiquimulilla. Los mangos fueron seleccionados físicamente por su grado de madurez y color. Además, por cuestiones administrativas, se compró mango en los meses de mayo y junio para congelarlos, pero resultó que algunos mangos ya se encontraban con gusanos, por lo que fueron desechados en el proceso de elaboración de los diferentes productos.

Muestra

El tamaño de muestra correspondió a 100 frutos de las variedades Ataúlfo, Tommy Atkins, y Criollo o Pashte. Esta selección se realizó de acuerdo a la cantidad de producto necesario para las pruebas de laboratorio y el análisis organoléptico correspondiente. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la selección de la muestra puede ser no probabilística o dirigida.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado correspondió a un diseño de bloques completos aleatorizados, en el cual los bloques correspondieron a los jueces y los tratamientos a los atributos evaluados.

El número de réplicas (panelistas) se determinó con base en las recomendaciones del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) de Canadá, el cual señala que, para paneles de consumidores no entrenados, el tamaño ideal oscila entre 30 y 50 participantes (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo [CIID], 2020). Sin embargo, debido a las restricciones sanitarias impuestas durante la pandemia de COVID-19, se implementó un protocolo adaptado con un número reducido de panelistas, garantizando al mismo tiempo la validez estadística de los resultados.

Técnicas e instrumentos

Técnicas

Para recopilar los datos del proyecto de investigación, se procedió a elaborar los productos vinagre y vino como pruebas piloto y luego ya establecidas las metodologías se procedió a la elaboración definitiva de los productos.

Para elaborar el vinagre de mango se utilizó como base el procedimiento descrito por Silva Ordoñez (2020):

Procedimiento para la realización de la madre para el vinagre:

- Lavar la materia prima
- Pelar y quitar semilla del mango
- Formar trozos de pulpa de mango
- Pesar el total de pulpa y aditivos a utilizar
- Ubicar los trozos de mango en la licuadora, y licuar por un tiempo determinado de 10 minutos.
- Agregar el agua potable poco a poco en la licuadora.
- Agregar el azúcar poco a poco en la licuadora
- Realizar la activación de la levadura, retirar 500 mL del mosto y calentarlos hasta alcanzar 35 °C
- Agregar el mosto en el fermentador. Colocar una manta sobre el recipiente fermentador. Dejar reposar por un tiempo de 2 a 3 meses.

Procedimiento para la realización del vinagre de mango:

- Lavar la materia prima
- Pelar y quitar semilla del mango
- Formar trozos de pulpa de mango
- Pesar el total de pulpa y aditivos a utilizar
- Ubicar los trozos de mango en la licuadora y licuar por un tiempo determinado de 10 minutos. Por último, medir el brix inicial de la pulpa
- Agregar el agua potable poco a poco en la licuadora.
- Agregar el azúcar poco a poco en la licuadora
- Realizar la activación de la levadura retirar 500 mL del mosto y calentarlos hasta alcanzar 35 °C.
- Agregar el mosto en el fermentador. colocar una manta sobre el recipiente fermentador. realizar el filtrado cada mes.
- Agregar 500 mL del mosto de la madre para facilitar la fermentación. Colocar una manta sobre el recipiente fermentador, realizar el filtrado cada mes
- Tomar nota de los resultados obtenidos, así como la fecha del producto realizado
- Colocar el mosto en un lugar fresco y oscuro.
- Realizar el trasiego y filtrado del mosto cada 30 días
- Al final el tiempo de fermentación, esterilizar las botellas en agua a una temperatura de 90 por un tiempo de 10 minutos (colocar una manta en la base de la olla para evitar que las botellas sufran rajadura).

Para elaborar el vino de mango se utilizó como guía el procedimiento mencionado por Méndez et al. (2021):

- Lavar la materia prima
- Pelar y quitar semilla del mango
- Formar trozos de pulpa de mango
- Pesar el total de pulpa y aditivos a utilizar
- Ubicar los trozos de mango en la licuadora, y licuar por un tiempo determinado de 10 minutos. Por último, medir el brix inicial de la pulpa
- Agregar el agua potable poco a poco en la licuadora.
- Agregar el azúcar poco a poco en la licuadora
- Realizar la activación de la levadura, retirar 500 mL del mosto y calentarlos hasta alcanzar 35 °C
- Agregar el mosto en el fermentador. colocar la manguera hacia la trampa de agua. (en la trampa de agua agregarle 12 gramos de bisulfito marca Loud Wolf a 3 litros de agua).
- Tomar nota de los resultados obtenidos, así como la fecha del producto realizado.
- Colocar el mosto en un lugar fresco y oscuro.

- Realizar el trasiego y filtrado del mosto cada 30 días

- Al finalizar el tiempo de fermentación, esterilizar las botellas en agua a una temperatura de 90 a 100 °C. por un tiempo de 10 minutos (colocar una manta en la base de la olla para evitar que las botellas sufran rajadura).

Variables respuesta

Para la evaluación sensorial, se implementó un área específica adaptada bajo los estándares internacionales, donde panelistas no entrenados (n=30) evaluaron las características organolépticas de los productos mediante una boleta de catación digital desarrollada en Google Forms®. Este instrumento permitió cuantificar las preferencias de los consumidores mediante escalas hedónicas estandarizadas.

Paralelamente, se realizaron análisis fisicoquímicos en laboratorio para determinar: pH (potenciómetro calibrado, método AOAC 981.12), °Brix (refractómetro digital, método AOAC 932.12) y Acidez total en vinagre (titulación NaOH 0.1N, método AOAC 942.15), grado alcohólico en vino (ebulliometría, método AOAC 962.09).

Para el control de costos, se implementó un sistema de registro meticuloso en cuadernos de campo, documentando: Precios unitarios de todos los insumos, cantidades utilizadas por lote, rendimientos productivos.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron de la siguiente manera:

- pH y °Brix: Se determinaron en el laboratorio Instrumental de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial del CUNSUR, siguiendo los métodos estandarizados (AOAC 981.12 para pH y AOAC 932.12 para °Brix).

- Acidez total en vinagres: Se analizó en el laboratorio de Análisis Microbiológicos y Fisicoquímicos para la Industria (VIDM, S.A.) ubicado en Mixco, Guatemala, mediante titulación ácido-base según el método AOAC 942.15.

- Grado alcohólico en vinos: Se cuantificó en el Laboratorio de Análisis Instrumental "Hugo Taracena Rozzotto" del CUNSUR, utilizando el método ebulliométrico (AOAC 962.09).

Todos los datos fueron procesados sistemáticamente y validados mediante réplicas técnicas para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Procesamiento y análisis de información

Los datos sensoriales obtenidos en las cataciones realizadas en el laboratorio experimental del Centro Universitario del Sur (CUNSUR) para cada producto elaborado (a partir de las tres variedades de mango: Tommy Atkins, Ataúlfo y Criollo) fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$), utilizando el software Minitab® versión 19. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba post-hoc de Diferencia Mínima Significativa (LSD) para identificar las diferencias específicas entre las variedades evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza de los datos para las variables que indican calidad sensorial del vino, indica que solo el sabor fue significativo (p=0.020). Los valores de olor, color, textura y apariencia no presentaron diferencia significativa.

Tabla 1.
Análisis de varianza del vino de mango.

Variable	Valor p
Olor	*0.101
Color	*0.381
Sabor	*0.020
Textura	*0.094
Apariencia	*0.157

Nota: Valor p = probabilidad, respuesta de 28 panelistas. Minitab 19, *p < 0.05
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 2, los panelistas tienen preferencia por los vinos de variedad Tommy Atkins y Criollo. Además, como se observa en la tabla 1, solo el sabor es significativamente diferente.

Tabla 2.
Comparación de medias de la variable sabor, vino de mango.

Variedades	N	Media	Agrupación	
Tommy Atkins	28	2.85714	A	
Criollo (Pashte)	28	2.78571	A	
Ataulfo	28	1.64286		B

Nota: Comparaciones por parejas de Fisher, utilizando el método LSD de Fisher. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
*p = 0.05
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 3 se puede observar diferencias significativas en cuento a olor, sabor y textura por lo que se procedió a realizar una comparación de medias de cada una de estas variables y poder determinar las preferencias de cada una de ellas por los panelistas o catadores.

Tabla 3.
Análisis de varianza del vinagre de mango.

Variable	Valor p
Olor	*0.050
Color	*0.240

Continúa...

Sabor	*0.033
Textura	*0.047
Apariencia	*0.084

Nota: Valor p = probabilidad, respuesta de 22 panelistas. Minitab 19, *p < 0.05
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 se observa que la variable evaluada en el vinagre, el olor, sabor y la textura, sí hay diferencias significativas, por lo que se realizó un análisis de medias para determinar cuál es diferente en estas dos variables.

La tabla 4 nos indica que los vinagres de variedades Tommy Atkins en la variable olor, es diferente al vinagre de variedad criollo de acuerdo con la preferencia de los panelistas. Siendo las más aceptadas el vinagre de variedad Tommy Atkins y con un valor intermedio el Ataúlfo.

Tabla 4.
Comparación de medias de la variable olor, vinagre de mango.

Variedades	N	Media	Agrupación	
Tommy Atkins	22	2.31818	A	
Ataúlfo	22	1.86364	A	B
Criollo (Pashte)	22	1.54545		B

Nota: Comparaciones por parejas de Fisher, utilizando el método LSD de Fisher. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
**p = 0.05*
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 5, la variable sabor todas son, estadísticamente, de igual percepción por los catadores pero la variedad Tommy Atkins y Ataúlfo, se puntea con mayor intensidad.

Tabla 5.
Comparación de medias de la variable sabor, vinagre de mango.

Variedades	N	Media	Agrupación
Tommy Atkins	22	3.22727	A
Ataúlfo	22	3.13636	A
Criollo (Pashte)	22	1.59091	A

Nota: Comparaciones por parejas de Fisher, utilizando el método LSD de Fisher. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
*p = 0.05
Fuente: elaboración propia.

Según la tabla 6, se determina que la textura de los vinagres Tommy Atkins ,en cuanto a la textura, es el vinagre más aceptable por los panelistas.

Tabla 6.
Comparación de medias de la variable textura, vinagre de mango.

Variedades	N	Media	Agrupación	
Tommy Atkins	22	2.45455	A	
Ataúlfo	22	2.18182	A	B
Criollo (Pashte)	22	1.59091		B

Nota: Comparaciones por parejas de Fisher, utilizando el método LSD de Fisher. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.
$p = 0.05$
Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los pequeños y medianos productores de mango de la Costa Sur son los principales beneficiarios de este estudio, ya que les permite conocer los productos que se pueden elaborar a partir de las tres variedades de mango (Tommy Atkins, Ataúlfo y Criollo o Pashte). Además, tienen acceso a los procesos de agroindustrialización del mango, un fruto de temporada que continúa su proceso de maduración después de la cosecha, lo que puede influir en la calidad del fruto y, por ende, en su precio. Asimismo, este tipo de investigaciones enriquece el campo de la ciencia, ya que complementa otros estudios y se beneficia de ellos.

VINO

El principal hallazgo de este trabajo fue que los panelistas seleccionaron como los vinos con mejor sabor aquellos que fueron elaborados con mango Tommy Atkins y Criollo ,de acuerdo a la tabla 1 y tabla 2. Lo cual coincide con lo observado por Xue-Hui et al. (2017), indicando que el sabor al parecer es el parámetro con mayor importancia.

El olor es otro parámetro de gran importancia en la selección de vinos, el cual define el aroma y que es determinado por las propiedades de las frutas (Xue-Hui et al. 2017) "Un vino puede contener más de 800 compuestos volátiles, incluidos alcoholes, ésteres, ácidos orgánicos, fenoles, tioles, monoterpenos y norisoprenoides (Vilanova & Sieiro 2006 citado por Xue-Hui et al. 2017), La esencia del sabor de un vino se forma durante la fermentación alcohólica. El etanol y el glicerol son los alcoholes más abundantes, seguidos de los alcoholes superiores y ésteres, cuyas combinaciones afectan el aroma final de un vino.

Los compuestos fenólicos promueven la salud y están presentes en el vino de mango. A partir de los ensayos de antioxidantes se demostró que los vinos de mango poseen una capacidad antioxidante sustancial, de aquí la importancia de las pruebas sensoriales y las propiedades antioxidantes que da el vino de mango al ser humano (Xue-Hui et al 2017).

El vino de mango de variedad Tommy Atkins tuvo un grado alcohólico de 5.52, Brix 11, pH 3.31; el vino de mango variedad Ataúlfo grado alcohólico de 6.15, Brix

12, pH 3.45; el vino de variedad Criollo o Pashte grado alcohólico 8.3, Brix 16, pH = 3.15, propiedades fisicoquímicas que no se encuentran en las normas COGUANOR.

De acuerdo a Jackson (2020) El pH en los vinos varía entre 3 a 4, el de un vino blanco se encuentra aproximadamente entre 3.0-3.3, mientras que el de un vino tinto entre 3.3 y 3.6.", estando dentro de los parámetros de un vino tinto.

El pH tiene relación con los otros análisis, como lo menciona Tenorio Sanz et al. (2014). La determinación del pH en el mosto y el vino es una medida complementaria de la acidez total. La estabilidad de un vino, la fermentación maloláctica, el sabor ácido, el color, el potencial REDOX y la relación de dióxido de azufre libre y total están estrechamente relacionados con el pH del vino. También afirma Tenorio Sanz et al. (2014), que la proporción de alcohol de una bebida, para un volumen dado de la misma, se denomina grado alcohólico. La graduación de los vinos varía entre un 7 y un 16% de alcohol por volumen, aunque la mayoría de los vinos embotellados oscilan entre 10 y 14 grados. Los vinos dulces tienen entre un 15 y 22% de alcohol por volumen. (p. 41)

Sin embargo, el vino de mango presento de 5.52 a 8.3 grados, por lo que no se llega al mínimo grado alcohólico. Este se debe al control de la temperatura en el proceso de fermentación, debido a que el vino de mango se realizó en laboratorio del Centro Universitario del Sur y no hay aire acondicionado, la temperatura de fermentación varía durante su proceso, como lo indica Tenorio Sanz et al. (2014).

Para que la fermentación alcohólica se realice en buenas condiciones es preciso mantener un control sobre la temperatura. Las levaduras alcanzan su mayor grado de desarrollo en torno a los 20ºC, mientras que por debajo de 13 o 14ºC el inicio de la fermentación es prácticamente imposible y por encima de 32-35ºC las levaduras cesan en su actividad, provocando paradas de la fermentación. Una temperatura elevada acelera la fermentación, pero el grado alcohólico del vino obtenido será menor. Por contra, una fermentación a baja temperatura culminará con vinos con mayor concentración alcohólica. El Brix del vino de mango presento 11 a 16 grados, este tiene estrecha relación con el grado alcohólico del vino, pues a través de él, se puede establecer la concentración alcohólica. Una vez obtenido el resultado en grado Brix (es decir, el porcentaje en masa de sacarosa), podemos obtener fácilmente el grado alcohólico probable del mosto mediante la aplicación de la siguiente fórmula (válida en el intervalo de 15 a 25 grados Brix): % vol = (0,6757 x ºBrix) - 2,0839.

VINAGRES

En el análisis sensorial del vinagre se presentaron diferencias en el olor y textura, según la tabla 3, 4 y 5; siendo la más aceptada por los panelistas los vinagres de variedad Tommy Atkins y Ataúlfo en cuanto al olor y textura. De acuerdo con Silva Ordoñez (2020), el vinagre de mango Kent es un vinagre con alto porcentaje de aceptación. La calidad fisicoquímica y sensorial del vinagre de mango cv. Kent indica que se debe obtener de pulpa y diluirlo hasta 1/1 con azúcar; hasta alcanzar los 18 °Brx y pH de 5, A levadura *Sachoromyces bayanus* 0.2 % o 2 g/L de mosto de pulpa de mango Kent todo solo para

la fermentación alcohólica, se reduce a 10° Brix para obtener 10% de alcohol etanol en un tiempo de 8 días y para la fermentación acética, será 3% de inoculo de cultivo madre de acetobácter nativo del mango, con resultados de 5.03 % de ácido acético; pH final 3.17; con sólidos solubles de 9.1 °Brix; en un tiempo 17 días.

El vinagre de Tommy Atkins presento 6.91°Brix, pH 2.65, acidez total 6.91%; Vinagre de mango Ataúlfo Brix 6.93, pH 2.24, acidez total 6.96%; vinagre de mango Criollo o Pashte Brix 5.13, pH 2.82, acidez total 5.13. Según la norma COGUANOR NGO 34 185, debe tener un mínimo de 4% y un pH mínimo de 2.8, por tanto, el vinagre que cumple con las especificaciones en estos dos parámetros más importantes para su comercialización, es el vinagre proveniente de la variedad criollo. Considerando el estudio del vinagre de mango Kent 5.03% de ácido acético y pH 3.17, que también cumple con las normas guatemaltecas, por lo que se recomendaría utilizar las variedades Criollo y Kent en la fabricación de vinagre de mango.

CONCLUSIONES

En la producción de vino de mango, las variedades Tommy Atkins y Criollo (Pashte) demostraron ser preferidas por los panelistas en cuanto a sabor. Este hallazgo sugiere que estas variedades son más adecuadas para la elaboración de vino de mango con una mayor aceptación sensorial en este atributo específico.

En la elaboración de vinagre de mango, se identificaron preferencias varietales distintas según el atributo sensorial evaluado. Los panelistas prefirieron las variedades Tommy Atkins y Ataúlfo para el olor y la textura, mientras que la variedad Criollo (Pashte) fue mejor valorada por su sabor. Esto indica que la selección de la variedad de mango puede influir significativamente en las características organolépticas finales del vinagre

El análisis fisicoquímico de los vinos de mango elaborados con las tres variedades (Tommy Atkins, Ataúlfo y Criollo/Pashte) reveló características como el grado alcohólico, Brix y pH. Si bien el pH de los vinos se encontró dentro del rango típico de los vinos tintos, el grado alcohólico no alcanzó el mínimo sugerido por referencias externas. Esto podría ser atribuido a factores como el control de la temperatura durante la fermentación en las condiciones del laboratorio.

Respecto a los vinagres de mango, el análisis de Brix, pH y acidez total demostró que el vinagre de la variedad Criollo (Pashte) cumplió con los parámetros mínimos de acidez y pH establecidos por la norma Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR NGO 34 185) para su comercialización. Este resultado sugiere que la variedad Criollo podría ser una opción más viable para la producción de vinagre de mango que cumpla con los estándares regulatorios locales.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigación (DIGI), Programa universitario en Ciencias Básicas, código del proyecto DES1CU-2021, por haber financiado el proyecto de investigación del Centro Universitario del Sur (CUNSUR).

Financiamiento de la investigación

Dirección General de Investigación (DIGI)-Universidad de San Carlos de Guatemala, Programa universitario en Ciencias Básicas, código del proyecto DES1CU-2021. Centro Universitario del Sur CUNSUR-USAC.

REFERENCIAS

Aguilar, R. (2019). *Agroindustria rural en Guatemala: Desafíos y oportunidades*. Editorial Universitaria.

Anderson, K., & Nelgen, S. (2021). *Global wine markets, 1860 to 2016*. University of Adelaide Press. Global Wine Markets, 1860 to 2016

Grand View Research. (2023). *Vinegar market size, share & trends analysis report.* https://www.grandviewresearch.com

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7ª ed.). McGraw-Hill.

Jackson, R. S. (2020). *Wine science: Principles and applications* (5th ed.). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2018-0-02315-6

Méndez, E., Castillo, R., & Morales, P. (2021). Evaluación sensorial de vinos de mango en Guatemala. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 22(1), 50-60.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023: Cadena del mango en Guatemala*. Gobierno de Guatemala. http://www.maga.gob.gt

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Perspectivas agrícolas globales 2022: Producción de mango*. FAO. https://www.fao.org/publications

Organización Internacional de la Viña y el Vino. (2023). E*stado del sector vitivinícola mundial.* https://www.oiv.int

Pérez, H. (2020). *Usos tradicionales del vinagre en Mesoamérica.* Editorial Cultura.

Rojas Bernal, N. I., & Valencia Rodríguez, S. (2014). *Propuesta de industrialización del proceso de elaboración del vino de mango (Mangifera indica L.) a partir de la variedad Tommy Atkins.* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/246

Sánchez, O. (2023). *Economía del mango en Escuintla: Un análisis prospectivo.* Universidad de San Carlos.

Silva Ordoñez, R. J. (2020). *Desarrollo de vinagre de pulpa de mango Kent (Mangifera indica L.) empleando Acetobacter nativo* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/items/20a02468-9ba5-4c43-bc9c-79e970cb6647









CAPÍTULO XII

TEJEDORAS DE VIDA: PROCESOS DE EMPODERAMIENTO DE MUJERES RURALES EN HEIFER MÉXICO

Marcos Rubén López Miguel, José Roberto Grajales Mendoza y Velia Sánchez Vásquez[1]

Ya la Gallina se va, el nido ya abandonó.
El gallo cantando está y ella así le contestó:
Pa´ nada te quiero ya, la de los huevos soy yo.
La gallina con *chuchumbé*
Grupo *Siquisirí,* son jarocho

INTRODUCCIÓN

El epígrafe está extraído de un son jarocho con fragmentos que vienen, al menos, del siglo XVIII en la Nueva España y nos remite a una lucha con la que intentamos contribuir dentro de nuestra organización y que forma parte de una historia lamentable: el difícil camino hacia el empoderamiento de las mujeres.

De acuerdo con datos publicados en el documento *Mujeres rurales en México. Una mirada desde la perspectiva de género,* publicado por el Instituto de Liderazgo Simone de Beauvoir (ILSB, 2021) la proporción de mujeres rurales que trabajan en el sector primario es de 15.4% y tienen condiciones de vida sumamente difíciles si consideramos que representan más del 50% de la población rural (más de 13 millones), tienen altos niveles de analfabetismo,

1 Heifer Internacional México.

especialmente entre hablantes de lenguas indígenas. Además, presentan mayor fecundidad que las mujeres urbanas y, aunque participan en lo económico y público, continúan con dobles y triples jornadas. Pocas tienen acceso formal a la tierra, sólo 28% son sujetas de derecho agrario (ejidatarias, comuneras, posesionarias), y aún menos ejercen el control o toman decisiones sobre su uso.

Con respecto a su situación socioeconómica, las mujeres rurales tienen ingresos 47% menores que mujeres urbanas trabajadoras y sólo 14.5% recibe remuneración por trabajar en el campo. El 55.3% de las mujeres rurales viven en pobreza y, si éstas son indígenas rurales, la cifra asciende al 84.3%. Adicionalmente, realizan trabajo no remunerado (doméstico, cuidados, producción para autoconsumo) que no es valorado ni reconocido. A todo esto, hay que sumar que, a pesar de las reformas legales, que en el año 2023 introducen importantes lineamientos sobre perspectiva de género y paridad (Ley Agraria, 2023), el acceso a la tierra sigue condicionado por una cultura patriarcal que actúa a un ritmo distinto de lo que dictan las normas y eso les genera obstáculos para acceder a cargos de representación en ejidos y comunidades, en este sentido, el 8.3% de los comisariados ejidales son mujeres.

Ante este panorama, Heifer Internacional impulsa desde los 2015 proyectos inclusivos con un importante giro en su enfoque de desarrollo que apoyó a pequeños/as productores/as en una veintena de países en el mundo. Este cambio de enfoque implicó dejar el modelo marcadamente asistencial e impulsar uno que fortalezca el autodesarrollo de pequeños/as productores/as frente a la exigente demanda de mercados agropecuarios, sin dejar de lado nuestro modelo empresarial basado en valores que es la base de nuestra misión institucional: combatir la pobreza y el hambre mientras cuidamos el medio ambiente.

El objetivo de este capítulo es dar a conocer los hallazgos de estas experiencias y la trascendencia que han tenido los proyectos en esta cadena de valores para las mujeres como personas generadoras de ingresos, de espacios de reorganización familiar y agentes de mercado que, en el caso de la Península de Yucatán, han logrado contribuir en la configuración de mercados regionales de producción de huevo libre de jaula y estrés.

HEIFER EN MÉXICO Y EL EMPODERAMIENTO DE LAS MUJERES

Heifer Internacional es una ONG que desde 1944 trabaja en varios países en el mundo para aliviar el hambre y la pobreza a través de proyectos agropecuarios para garantizar la seguridad alimentaria e incrementar los medios de vida de familias de pequeños/as productores/as y, al mismo tiempo, fomenta el cuidado del medio ambiente. Desde 1977, Heifer Internacional trabaja en México apoyando a familias campesinas e indígenas con actividades de acompañamiento y capacitación técnica. En los últimos años se ha centrado en apoyar el desarrollo de cadenas de valor inclusivas y sistemas de mercado resilientes y ambientalmente inteligentes, fortaleciendo particularmente el tejido social y el empoderamiento de las mujeres.

Un rasgo importante por mencionar es que el trabajo con aves para la producción de huevo libre de jaula y estrés comenzó en Heifer México como una estrategia

secundaria de fortalecimiento a la seguridad alimentaria de las familias. En 2019, la producción de aves evolucionó como una cadena de valor principal, a la cual se le dio un enfoque de agronegocios y vinculación a mercados. Este giro implicó grandes desafíos y uno muy importante era elevar la situación de múltiples carencias de la población rural e indígena, es decir, población en rezago social y, conseguir con ello, que mejoren sus competencias y habilidades. En resumen, se trató de dotar de condiciones materiales a las familias productoras para mejorar sus medios de vida mediante una dieta nutritiva, vivienda digna, otras necesidades básicas y costos inesperados y, a partir de esto, convencernos y convencerlas de que se podían integrar a mercados eficientes y competitivos como actores de mercado y ser generadoras de ecosistemas económicos basados en valores inclusivos y generadores de prosperidad.

EL VALOR DE MEJORAR LAS INTERACCIONES SOCIALES: NUESTRO MODELO PARA FORTALECER EL CAPITAL SOCIAL

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo de intervención de Heifer Internacional se basa en un enfoque integral y transformador que busca erradicar el hambre y la pobreza mediante la promoción de medios de vida sostenibles, la equidad de género, y el fortalecimiento comunitario, todo ello mientras se promueve el cuidado del medio ambiente. Algunos de los componentes que podemos destacar de este modelo son los que se realizan al trabajar con el enfoque de cadenas de valor para contribuir al desarrollo de habilidades y competencias para agronegocios, en este caso de crianza de aves para producción de huevo libre de jaula, que abonen a que las familias fortalezcan su provisión de medios de vida resilientes y sostenibles. Esto desde un enfoque de sostenibilidad ambiental para mejorar la gestión de recursos naturales y fortalecer la resiliencia climática a través de prácticas agroecológicas, producción regenerativa, conservación de agua, suelo y biodiversidad (Heifer México, 2021). Un segundo componente es el fortalecimiento del capital social de las comunidades, entendido como las instituciones, relaciones y normas que dan forma a la cantidad y calidad de las interacciones sociales de una sociedad. El objetivo principal de este componente es crear cohesión comunitaria y estructuras organizativas sólidas.

Una práctica emblemática que visibiliza esta estrategia es el "pase en cadena" que representa uno de los principales valores de Heifer, el compartir los regalos, así las familias beneficiarias deben compartir conocimientos, activos (como crías de animales, maquinaria, semillas) y liderazgo con otras familias. Esta estrategia multiplica los recursos disponibles a través de redes sociales, normas de reciprocidad y confianza mutua. Además, contribuye a la multiplicación del alcance de los proyectos y al fortalecimiento de valores como la solidaridad y la reciprocidad (Aaker, 2007).

Sin embargo, el *pase en cadena* es uno entre un conjunto de fundamentos que se refuerzan o se promueven dentro de las comunidades en la implementación de nuestros proyectos mediante capacitaciones, reflexión colectiva y metodologías participativas: administración responsable, solidaridad, sostenibilidad y autosuficiencia, cuidado, mejora de la gestión de los recursos, nutrición e ingresos, enfoque de

género y familia, necesidad genuina y justicia, mejora del medio ambiente, participación plena, capacitación, educación y comunicación, espiritualidad. Estos 12 valores[2] están atravesados por seis principios que orientan el eje de capital social: tratamiento equitativo para todos, cultura de aprendizaje y adaptación, conciencia de sí mismo, liderazgo centrado en el ser humano, traspaso de poder, comunicación abierta y eficaz (Aaker, 2007).

Lo que queremos destacar de nuestro componente de capital social en este texto es lo que implica para la organización el empoderamiento de mujeres y equidad de género. Nuestro objetivo con esta estrategia es asegurar la equidad en el acceso a recursos, beneficios, toma de decisiones y representación (Heifer International, 2015; ILSB & Heifer, 2021). Todos estos componentes de nuestro modelo para lograr la misión institucional son los que hemos implementado en esta experiencia y trataremos de mostrar con claridad los resultados que hasta ahora hemos observado.

LAS EMPRENDEDORAS Y SUS CONTEXTOS: EL MAPA DE HEIFER EN MÉXICO

Enseguida exploramos los resultados donde Heifer Internacional México ha implementado proyectos durante el año 2018 hasta la actualidad. Es importante mencionar que hemos tenido una tasa de participación de 33% de mujeres en todos ellos. El área geográfica de estudio (Ver Figura 1), abarca los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Campeche, Quintana Roo y la Península de Yucatán.

Figura 1.
Ubicación geográfica y mujeres participantes en los proyectos implementados en la cadena de valor de huevo.



Fuente: Elaboración del área de comunicación de Heifer México, a través de la herramienta Mapa Digital 6.1.

2 Un modelo de desarrollo basado en valores proporciona el marco para el desarrollo comunitario integral. Este enfoque aprovecha las fortalezas y los valores que son inherentes a toda cultura y sociedad; de hecho, a todos los seres humanos. El modelo asegura que el punto de partida para el proceso de desarrollo esté en la propia cultura de los/las participantes y que la planificación se fundamente en sus esperanzas para el futuro. Un proyecto debe originarse en sus propios valores y guiarse por su visión; visión que describe la calidad de vida que los participantes desean para sí mismos y para sus familias (Aaker, 2007).

Los estados de Chiapas y Oaxaca están ubicados en la región suroeste del país. El primero cuenta con 73,289 km² lo que representa el 3.7% del territorio nacional, siendo la décima entidad federativa más grande del país. En tanto que el segundo ocupa el quinto lugar en extensión a nivel nacional, con densidad demográfica baja, comparada con la media nacional. Con 93,757 km², es el quinto estado más extenso. Puebla tiene una superficie de 34,251 km², por lo que es el vigésimo primer estado más extenso de México. Campeche, Yucatán y Quintana Roo se encuentran en la Península de Yucatán. El primero cuenta con un millón 49 mil 244 habitantes, siendo el tercer estado menos poblado y el último con 1 857985 habitantes en 2020 como el noveno estado menos poblado.

En la siguiente matriz (cuadro 1) se pueden observar características particulares de población en situación de pobreza, acceso a alimentación, marginación y rezago social, con lo que se define la pertinencia de nuestra intervención institucional enfocada en combatir el hambre y la pobreza.

Cuadro 1.
Características socioeconómicas de los estados donde se han desarrollado proyectos de producción de huevo.

	Chiapas	Oaxaca	Puebla	Campeche	Yucatán	Quintana Roo
Población ocupada con ingresos menores a dos salarios mínimos (%)	85.57	78.85	77.30	70.01	57.26	
Población en pobreza (%)	67.4	58.4	54	45.1	27	38.8
Población en pobreza moderada (%)	39.2	38.2	42.6	35.5	22.8	33.2
Población en pobreza extrema (%)	29.2	20.2	11.4	9.6	4.2	5.6
Población con acceso a la alimentación nutritiva y de calidad	20.9	28.6	22.2	22	15	15.4
Grado de marginación	Muy alto	Muy alto	Alto	Alto	Medio	Alto
Grado de rezago social	Alto	Muy alto	Muy alto	Medio	Bajo	Medio

Fuente: Elaborada a partir de bases de datos de la CONAPO, 2020 y Bienestar, 2025.

La metodología para determinar el territorio donde impulsamos los proyectos no sólo tiene que ver con la recopilación de datos públicos disponibles, sino que también se recopiló información de tipo cualitativa a través de estudios de caso, grupos focales y entrevistas que el equipo técnico ha obtenido a lo largo de la implementación de los proyectos. También se presenta información de tipo cuantitativa obtenida de evaluaciones finales, lo que permitió hacer un análisis y comprensión de los resultados que se presentan.

Niveles de impacto: mujeres emprendedoras y su transformación

Expresamos al inicio de este capítulo que en Heifer México tenemos la meta de construir proyectos productivos en el ámbito rural que sean incluyentes en varios sentidos, pero lo que destaca en los proyectos de cría de aves ponedoras es que hay más de 90% de emprendedoras. Esto ocurre porque las granjas funcionan en el

ámbito doméstico rural, y no hacemos sino retomar una configuración habitual en el campo mexicano como es el uso del traspatio.

En abril de 2020, en plena pandemia por COVID-19, comenzó a gestarse una iniciativa que cambiaría la vida de cientos de mujeres en comunidades rurales de Yucatán y Quintana Roo y que recupera las experiencias de trabajo de proyectos anteriores (ER y HH). El proyecto *Mujeres Emprendedoras Innovando Comunidades Sostenibles,* impulsado por Heifer Internacional México y financiado por la Fundación WK Kellogg, surgió con un objetivo claro: reducir la brecha hacia el ingreso digno para 230 familias mediante el fortalecimiento de emprendimientos liderados por mujeres y jóvenes. Pero el proyecto fue más allá y se convirtió en una experiencia transformadora que tejió redes de solidaridad, organización comunitaria y autonomía económica.

Si bien la cadena de producción de huevo libre de jaula y estrés inició como una estrategia complementaria para mejorar la seguridad alimentaria, el proyecto en mención logró posicionar la experiencia en el centro de una estrategia de desarrollo comunitario. Esto se hizo bajo una premisa clara: si las mujeres generaban ingresos propios, su participación en la toma de decisiones dentro del hogar y la comunidad aumentaría. De esta forma, se dotó a las mujeres de una parvada de 50 aves ponedoras para criarlas bajo los principios del bienestar animal para la producción de huevo de gallina libre de jaula y estrés.

Las condiciones que permitieron hacer realidad este proyecto fue, entre otras, que las mujeres de las comunidades mayas donde se propuso, tenían experiencia en la cría de gallinas que, si bien son diferentes a las gallinas de alta postura, este conocimiento inicial y el hecho de que podían producir huevos desde su traspatio las animó a participar.

Según la FAO (2023), fortalecer la participación de las mujeres en los sistemas agroalimentarios contribuye significativamente a mejorar la producción agrícola, la seguridad alimentaria y la nutrición infantil. En el marco del proyecto, esta orientación se tradujo en una estrategia centrada en crear condiciones materiales concretas como el acceso a aves, capacitación técnica y acompañamiento continuo que permitieran a las mujeres no sólo producir alimentos desde sus hogares, sino también tener una mayor incidencia en las decisiones relacionadas con la producción, la distribución y el aprovechamiento de los recursos. Así, el conocimiento previo fue potenciado mediante herramientas que fortalecieron su autonomía económica y su protagonismo en los espacios comunitarios.

APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO: CAMBIOS A NIVEL PERSONAL Y DE LAS FAMILIAS

En el año 2019, en los estados de Oaxaca, Puebla y Chiapas se implementó el proyecto Hatching Hope, donde se entregaron paquetes de 30 aves con recursos propios y de 50 aves a través de financiamiento a mujeres que se atrevieron a cambiar modelos de producción de subsistencia por modelos de producción con enfoques comerciales. Este proyecto, a pesar de los grandes retos, obtuvo resultados

importantes desde el económico hasta el social. Un ejemplo de estos resultados es el grupo TEO conformado por una alianza de productoras de Teotitlán del Valle, San Juan Guelavía y San Marcos Tlapazola, quienes a casi cuatro años del término del proyecto han sostenido su actividad económica y se encuentran abasteciendo una parte del mercado local y sus alrededores.

Para la productora Elvira[3], una de las claves para que su proyecto sea sostenible es "la tolerancia de respetar el reglamento interno que tenemos. Yo creo que eso es lo importante como para permanecer unidas. Por eso nuestro grupo es de autoayuda. Hasta el momento como hemos trabajado, aunque somos mujeres de diferentes comunidades, aquí hay equidad, todas ponemos". Brenda añade: "Lo que funcionó es la perseverancia de cada una". Para Lucía, el proyecto les enseñó que, "más allá de tener pollos se puede emprender un negocio, porque en nuestra comunidad hay mucha gente que se acerca y nos pregunta cómo le hacemos porque empezamos con poco y ahora ya tenemos 200" (Heifer, 2025a).

Para la pregunta de qué es lo que las hace diferentes a otras productoras que no participaron ni en el proyecto ni como grupo, Elvira compartió: "el trabajo del telar es duro y tienen que trabajar mucho para poder tener dinero, en cambio yo, pues es más tranquilo el trabajo", lo que hace que pueda combinar sus actividades como madre de familia y comience a aportar ingresos en casa. Esto coincide con los resultados del proyecto, el cual generó ventas en promedio de 3,240 pesos por mes por familia (Heifer, 2021a). De acuerdo con lo señalado por Elvira: "otras señoras siguieron con el modelo de tener gallinas, pero nada más de traspatio, nada más de autoconsumo, y ya no miraron la visión de negocio. Yo puedo tener un ingreso extra para mí y para mi familia" (Heifer, 2025a).

Otra historia que comparte el grupo que coordina el señor Ángel, es acerca del trabajo en familia donde su tía nos cuenta que el trabajo involucra a sus hijas, a sus yernos e incluso a sus nietos, "ya se hace una cosa grandísima con esto de las granjas. Nuestras familias incluyen a muchísima más gente". Lo que también la ha ayudado en el mercado y en atención a los clientes, tal como comparte la señora Pilar "nuestra producción diaria y a la semana, pero sí, de repente en la demanda de que a mí me piden más y a ella no le pidieron, entonces me habla y me ofrece huevo. Precisamente hoy necesito completar un pedido o yo le digo a ella "fíjate que esta semana no tengo". A veces ella me los vende a un precio, así de socios, porque ya lo vende a otro precio a su cliente y a mí me da un precio, porque tú lo tienes que transportar y pues ayudarlo a tu gasolina, a veces nos prestamos. Entonces es lo bonito, que nos ayudamos. Entre nosotros mismos no nos hacemos competencia, al contrario" (Heifer, 2025b).

3 En esta sección y más adelante se recuperan testimonios recabados en entrevistas colectivas a los diferentes grupos de mujeres y hombres organizados en Oaxaca que siguen sosteniendo su emprendimiento de producción de huevo libre de jaula y estrés (Heifer México, 2025).

El empoderamiento puede observarse en tres dimensiones: la dimensión personal, la dimensión colectiva y la dimensión de las relaciones cercanas, representada en los vínculos con la familia y la pareja (Morcillo et al., 2024). En el caso de este grupo de trabajo, Elvira manifiesta "yo no había registrado el empoderamiento que nos da sentirnos capaces de tener un propio negocio, como que le estamos demostrando a la familia, porque vivimos en una comunidad machista, y yo siento que Heifer y Fundación Envía como que nos dan ese plus de seguir. Por el hecho de ser mujer, pues no basta con ser ama de casa, también puedes invertir tu poquito tiempo que tienes para cuidar pollitos, que esos pollitos no sean de autoconsumo que le pueda sacar provecho y decir "puedo ganar cinco pesos de un huevito" y, si compra otro pollito, otros cinco y otros cinco, de cinco en cinco. Pues sí, puedo. Soy capaz de generar un ingreso a la familia, un ingreso para mí y para mi propio negocio". En tanto, Brenda nos menciona "otra cosa que es incalculable e invaluable en mi caso es lo que me ha unido con mi familia. Por ejemplo, cuando salgo, entonces el que se queda a cargo de mi granja es mi esposo y él ha aprendido mucho de lo que yo he aprendido. Cuando las tengo que vacunar, él me ayuda, él es mi asistente y hasta le enseñé cómo abrazar a la gallinita y que extiéndele el ala y apachúrrale el ala y dame la pierna. Eso no se daba, ahora él les da de comer, colecta huevo, entrega huevo, cuenta el huevo" (Heifer, 2025a).

Figura 2.
Apoyo familiar en las granjas de aves en Oaxaca.



Fuente: Archivo del proyecto Hatching Hope.

El empoderamiento de las mujeres se promueve a partir de "estrategias orientadas a lograr que las mujeres fortalezcan su capacidad y autonomía en todos los ámbitos con el objetivo de mejorar sus condiciones de vida y superar las desigualdades de género. Así, el empoderamiento y la activación de competencias emprendedoras en las mujeres rurales ayuda a mejorar su calidad de vida y a incrementar la productividad de la economía rural. Esto permite a las mujeres de este contexto el contribuir de manera significativa en el desarrollo económico y social de sus comunidades

(Morcillo et.al., 2024). La tesis se corrobora con la historia que comparte Lucía donde expone que el dinero que ha podido ahorrar lo ha utilizado para comprar bienes: "En mi casa pusimos mi calentador solar. Sí, de veras. Llegó el momento de que llegaron mis hijos y no tenía y me acordé como tengo una jarrita y meto ahí algo de cuenta, cuando fui a contar habían $10,000 pesos. A mí nunca se me olvida eso que me sacó de apuros y entonces ahí me di cuenta yo, cuando quieres algo sí se puede".

Para el caso del proyecto en la Península de Yucatán, dos años después, el impacto económico fue significativo. El ingreso promedio anual por hogar pasó de $33,077 a $54,572 pesos. Para las mujeres nuevas en el proyecto, el ingreso generado por la venta de huevo se incrementó hasta en un 496%. Cada una produjo en promedio 13,889 huevos por año, lo que representó una fuente constante de ingresos que, aunque modesta, hizo la diferencia: inscripciones escolares, alimentos, reparaciones urgentes, ahorro. A medida que las mujeres comenzaban a producir huevo en sus traspatios, surgieron nuevas necesidades: asegurar calidad, cumplir con pedidos mayores, aprender a negociar. Fue entonces cuando comenzaron a organizarse. Las gallinas, que antes estaban en lo individual, empezaron a ser el motor de una organización colectiva que nacía desde abajo.

A nivel personal, el proceso de capacitación técnica jugó un papel fundamental en la transformación subjetiva de las mujeres participantes. Si bien al inicio muchas de ellas requirieron el apoyo de sus esposos o parejas para tareas como la construcción del gallinero, en la cual fueron los hombres quienes, en la mayoría de los casos, decidieron el diseño o la forma de ejecución, con el paso del tiempo y la asistencia constante a las sesiones formativas, las mujeres comenzaron a fortalecer su confianza y a validar sus propios saberes. La comprensión técnica de los manejos, sumada a la práctica cotidiana, les permitió asumir con mayor seguridad la gestión de su espacio productivo.

El hecho de salir de su casa para asistir a las reuniones o intercambios también generó impactos importantes en su bienestar emocional. Alejadas por un momento de las exigencias domésticas, las mujeres encontraron en estos espacios una oportunidad para reencontrarse consigo mismas, socializar con otras compañeras, compartir dudas, éxitos y aprendizajes. Estas experiencias no sólo mejoraron su estado de ánimo, sino que también propiciaron un sentido de pertenencia colectiva, donde la palabra y la escucha se convirtieron en herramientas de fortalecimiento mutuo.

Con el tiempo, esta red de vínculos fue consolidándose en formas de asociatividad más estructuradas. El paso de la producción individual al reconocimiento colectivo les permitió mirar más allá del autoconsumo y aspirar a establecer vínculos comerciales más estables. La organización como grupo ofreció mejores condiciones para la negociación y el acceso a apoyos, y cimentó una visión compartida de crecimiento, donde cada mujer se percibe a sí misma como criadora de aves, como una productora capaz de incidir en los mercados locales con productos de calidad y con identidad propia.

En comunidades como Maní, Teabo, Oxkutzcab y Tixméhuac, en Yucatán, y en comunidades de José María Morelos en Quintana Roo, surgieron comités de acopio que se convirtieron en espacios de coordinación, responsabilidad compartida y aprendizaje

colectivo. Las productoras comprendieron que unidas podían acceder a mejores mercados, negociar mejores precios y garantizar la calidad e inocuidad del producto.

AGENTES DE MERCADO: VINCULACIÓN EN LOS MERCADOS LOCALES Y REGIONALES

En referencia a las ventas generadas durante el proyecto Brenda, nos comparte: "nuestro producto nomás es a nivel local, no hemos salido a Oaxaca. Se nos acaba porque el huevo aquí tiene mucha demanda. Además de la calidad, es exclusivo. Es fresco y recién levantado se lo lleva el cliente. La gente ya no se conforma con comer huevo de hace un mes, pues sí, es que luego también desesperan las clientas, saben que nuestro producto tiene el manejo adecuado y es fresco. Entonces sí nos costó un poquito, pero pues ahora hasta nos buscan por el huevo" (Heifer, 2025a).

En este grupo de trabajo podemos observar un ejemplo de economía solidaria, ya que se conformaron como una unidad empresarial asociativa productora de bienes y servicios, regida por principios de cooperación, solidaridad, ayuda mutua y autogestión (Arango, 2023). Ayudándose mutuamente para vender no siendo competencia entre ellas ya que han respetado los clientes de cada una o generado otro tipo de estrategias tal como comparte María: "por ejemplo, a mí me sucedía mucho de que me pedían huevo, les decía, Elvira tiene. En el caso de Brenda comenta, "incluso a mí me tocó comprarles a ustedes, les compré hasta por caja, así que no tenía (Heifer, 2025a).

Por su parte, el grupo de productores del señor Ángel nos comenta: "Otra característica importante de esta experiencia es el encadenamiento de un proyecto (producción de huevo) a otro emprendimiento que aprovecha los saberes heredados (panadería). Ángel nos cuenta que aquí en Oaxaca es muy común el pan de yema, es tradicional, sobre todo en día de muertos. Aquí se hace el pan de muerto que es el pan de yema, que le ponen una mascarita y todo eso. Además, mi papá era panadero y lo hacemos con su receta original que yo le pasé a mi hermano.

Adicionalmente, la panadería es un ejemplo de generación de micro ecosistema de mercado que hace más eficiente la producción de huevo porque disminuye la merma y aumenta la calidad del producto por el uso de materia prima de alta calidad. A decir de Ángel: "hacemos ese tipo de pan dándole un sabor característico, diferente, porque nosotros le ponemos este huevo que no es comercial y es fresco, es lo que nosotros producimos. Entonces al nosotros ponerle este producto a nuestra masa, ya se imaginará, el sabor es diferente y es otra actividad que estamos haciendo, y también pensando que sea otra parte del mismo proyecto de nuestra granja" (Heifer, 2025b).

Por otra parte, uno de los mayores logros del proyecto en Yucatán, fue la creación de los centros de acopio comunitarios, espacios que surgieron de manera participativa y que han sido clave para garantizar la inocuidad del huevo, fortalecer la organización de las productoras y consolidar su presencia en el mercado. Estos centros se instalaron, en su mayoría, en las viviendas de las propias emprendedoras, eligiendo aquellas ubicaciones más accesibles para todas y asegurando condiciones de higiene, ventilación y privacidad. La decisión de quién albergaría el centro siempre se tomó por consenso y con respeto al espacio familiar.

Un centro de acopio comunitario es mucho más que un punto logístico. Es un espacio organizativo donde se materializa la corresponsabilidad, la autogestión y la confianza. Para su funcionamiento se requiere equipamiento básico como una mesa firme y limpia para el pesaje, una báscula, hojas de registro, etiquetas para trazabilidad, cajas transportadoras, cartones o fillers, una caja de seguridad para el dinero, y un tarjetero de inocuidad. Con estos insumos, se asegura que el huevo cumpla con los requisitos de calidad exigidos por los clientes.

Las mujeres se repartieron los roles de manera rotativa para evitar la sobrecarga. Entre las responsabilidades destacaban el registro, para lo cual una hay una encargada de anotar los datos de cada acopio y otra para pago. La tesorería, que maneja los recursos y realiza los pagos a las productoras y, por último, una persona para el control de calidad, que revisa limpieza, fisuras, peso y etiquetado del huevo. Esta estructura rotativa permitió que cada una aprendiera y asumiera responsabilidades diversas, fortaleciendo su liderazgo y confianza. Así, el centro de acopio se convirtió en una escuela de gestión comunitaria donde se toman decisiones, se rinde cuentas y se construye colectividad.

Figura 3.
Limpieza y pesaje de producto.



Fuente: Archivo del proyecto Mujeres emprendedoras.

La consolidación de la marca colectiva *Kikibá*, registrada oficialmente en agosto de 2021, marcó un parteaguas en el proceso de organización de las mujeres productoras. *Kikibá*, que en lengua maya significa "muy, muy rico", no es solamente una identidad comercial, sino el símbolo de un esfuerzo colectivo por posicionar un producto ético, sustentable y con arraigo comunitario en el mercado regional. El diseño de la marca incorporó elementos visuales distintivos, además de herramientas, como el sello individual en cada huevo y un código QR que permite a los consumidores rastrear su origen, fortaleciendo así la trazabilidad y la transparencia en toda la cadena de valor.

Figura 4.
Proyecto Mujeres Emprendedoras con la marca colectiva *Kikibá.*



Fuente: Archivo del proyecto Mujeres emprendedoras.

El proceso de desarrollo de la marca fue acompañado por sesiones de formación en marketing, identidad visual, empaque y presentación del producto. Las mujeres aprendieron a vender y a contar la historia de su experiencia como productoras de huevo, a narrar el valor del trabajo comunitario, del bienestar animal y del cuidado con el que se produce cada pieza. Este enfoque narrativo y diferenciador fue clave para acceder a mercados sensibles a la procedencia y calidad del alimento, como tiendas especializadas, cafeterías, restaurantes y plataformas digitales.

Durante el periodo comprendido entre enero de 2021 y junio de 2022, las mujeres del colectivo *Kikibá* produjeron un total de 1,055,588 huevos, de los cuales 92,528 piezas (9%) fueron destinadas al consumo familiar, fortaleciendo la nutrición del hogar y generando un ahorro para el ingreso familiar estimado en $231,318 pesos. Un 10% adicional, correspondiente a 111,183 huevos, fue utilizado para la transformación en alimentos o trueques comunitarios. El resto, 851,877 huevos (81%), fue comercializado generando un ingreso total de $2,079,585 pesos, con un precio promedio de venta de $2.44 por pieza.

Este ingreso representó un incremento considerable en los medios de vida de las familias. En promedio, cada emprendedora generó $12,128 pesos anuales adicionales, lo que significó una reducción del 24% en la brecha hacia el ingreso digno. Los canales de venta fueron diversos: desde ventas locales casa por casa, hasta colocaciones institucionales en restaurantes y plataformas digitales. Las mujeres identificaron que, dependiendo del canal, el precio podía oscilar entre $2.39 y $3.00 por unidad, permitiendo distintos márgenes de utilidad según el segmento.

Uno de los logros más relevantes fue el acuerdo comercial con Restaurant TOKS, que incorporó el huevo de *Kikibá* en dos de sus sucursales en Mérida. Además, el huevo se vendió en diferentes presentaciones: por pieza, reja de 30, media reja, cajas de 360 unidades e incluso por kilo, dependiendo del cliente. El precio promedio osciló entre $2.39 y $3.00 pesos, con mayor valor agregado en los segmentos de

venta institucional. Esta diversidad de canales y formatos permitió adaptar la oferta a diferentes públicos y maximizar los ingresos del colectivo.

Figura 5.
Vinculación con la empresa TOKS.



Fuente: Archivo del proyecto Mujeres emprendedoras.

Más allá de los números, lo transformador fue el proceso mismo. Las mujeres que antes no se concebían como productoras comenzaron a reconocer su capacidad para generar ingresos, tomar decisiones económicas y participar activamente en su comunidad. La producción de huevo se convirtió en un medio de sustento, a la vez que en una vía para ganar autoestima, autonomía y voz propia en el hogar y en los espacios colectivos.

CONCLUSIONES

Intentamos mostrar en este corto espacio que algunos de los proyectos diseñados e implementados por el equipo Heifer México en estados del sur sureste del país, han originado importantes estrategias para transformar la subjetividad de muchas mujeres, la manera en que se conciben y la manera en que gestionan su espacio doméstico. Pero esas transformaciones individuales y/o familiares, no sólo reducen la incidencia de la pobreza y el hambre en los hogares, también abren expectativas de vida y de proyectos nuevos tanto a nivel familiar como comunitario. No ha sido sencillo, hemos afrontado un sinfín de dificultades y fracasos, pero ha valido la pena aprender y hacer el esfuerzo de mejorar en cada nuevo proyecto.

Es de gran relevancia insistir en que, lo logrado a nivel individual y familiar, constituye la base para el desarrollo de una organización local en grupos de interés que se vinculan a mercados locales y regionales, hasta llegar a la creación de una marca que no sólo convierte a las mujeres asociadas a ella en agentes de mercado, sino que lo hacen afirmando y recreando su identidad cultural, como

personas pertenecientes a la cultura maya, en el caso de la Península de Yucatán, como mujeres que desbordan la gestión de sus espacios domésticos y acceden a los ámbitos de mercado que, probablemente, también se reconfiguren y presenten rasgos femeninos. Mencionaremos algunos fenómenos que apenas observamos a nivel de mercados regionales y que debemos explorar con mayor detalle.

Desde el enfoque de cadena de valor, algunos grupos asociados de mujeres o familias han controlado adecuados niveles de cantidad y calidad a nivel de la cría de aves y producción periódica de huevo. Pero es sólo un eslabón de la cadena. Hacia atrás, ya se han enfrentado al riesgo de insuficiencia de proveedores en la cadena de suministros: aves y alimento. Durante el año 2021, un total de 230 familias productoras integradas en el colectivo *Kikibá* lograron generar 1,055,588 huevos mediante sistemas de producción libre de jaula y con base comunitaria. Esta producción equivale aproximadamente al 0.057% del total de huevo producido en Yucatán ese mismo año, lo cual, si bien es una proporción reducida frente al volumen del modelo agroindustrial dominante, representa una expresión concreta de soberanía alimentaria construida desde abajo. Actualmente más de 700 granjas pertenecientes al proyecto mujeres emprendedoras 2 han generado una demanda de más de 35 mil aves ponedoras y más de 1200 toneladas de alimento al año, lo que demuestra el impacto que las mujeres tienen en la cadena de valor.

La experiencia organizativa de *Kikibá* evidencia la capacidad de las mujeres rurales para sostener procesos productivos significativos, también pone en cuestión la centralización del mercado alimentario y afirma la viabilidad de modelos alternativos de producción, distribución y consumo basados en la economía del cuidado, el trabajo colectivo y el bienestar común. Esta cifra, lejos de ser un simple dato técnico, encarna una apuesta política por la vida digna y la autodeterminación de los pueblos, principalmente desde el liderazgo de las mujeres. Por todo ello, algunas emprendedoras visionarias acarician la idea de emprender en esas áreas. No obstante los avances, persisten diversas barreras que limitan el acceso pleno de las mujeres a los sistemas agroalimentarios. La tenencia de la tierra, el acceso desigual a recursos y tecnologías, y las normas sociales que restringen su movilidad o su autonomía siguen presentes. Por ello, se vuelve imperativo seguir promoviendo su incorporación activa, justa y equitativa como productoras, como agentes políticas con derechos y capacidades para transformar los territorios rurales.

Finalmente, el reconocimiento que las mujeres han alcanzado dentro de sus comunidades como productoras de alimentos de calidad ha fortalecido su autoestima y su liderazgo. Esta transformación se refleja en los indicadores productivos o económicos, y en el modo en que las mujeres se relacionan consigo mismas, con sus compañeras y con su entorno. El proceso ha abierto caminos para construir autonomía, tejido comunitario y dignidad desde el trabajo colectivo y solidario.

REFERENCIAS

Aaker, J. (2007). *El Modelo Heifer de Desarrollo basado en Valores y fundamentos*. 3a. Ed. Heifer Internacional. Estados Unidos de América.

Arango, M. (2023). *Manual de cooperativismo y economía solidaria* (2a. ed.). Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. https://dx.doi.org/10.16925/9789587604429

De Diputados, C., Congreso De, D., Unión, L., & Ley, N. (n.d.). *Ley Agraria*. Título Primero Disposiciones Preliminares. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAgra.pdf

Consejo Nacional de Población y Vivienda (CONAPO) (2020). *Población total, indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación por entidad federativa*. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

FAO (2023). *La situación de las mujeres en los sistemas agroalimentarios: Panorama general.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://doi.org/10.4060/cc5060es

Instituto de Liderazgo Simone de Beauvoir y Heifer México (2021). *Mujeres rurales en México. Una mirada desde la perspectiva de género.* No disponible públicamente.

Heifer Internacional (2021). *Global Impact Framework.* No disponible públicamente.

Heifer Internacional (2015). *Gender Equity Strategy*. No disponible públicamente.

Heifer México (2021). *Estrategia Nacional 2021-2030.* No disponible públicamente.

Heifer México (2021a). *Proyecto Heifer México. Informe final Hatching Hope*. No disponible públicamente.

Heifer México (2025a.) *Proyecto Heifer México. Tejedoras de vida*. https://heifer-mexico.org/ experiencia-y-aprendizaje/tejedoras-de-vida/

Heifer México (2025b.) *Proyecto Heifer México. Gallinas felices detonando esperanza*. Gallinas felices detonando esperanza - Heifer

Morcillo, V., Carro, L., y Madrigal, B. (2024). Aportación de la mujer rural emprendedora a la economía: dos estudios de caso en el sur de Jalisco, México. *Revista de estudios de género*. Vol. 57. No. 59. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405 94362024000100322&script=sci_arttext

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 07 Chiapas.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972709/07_Chiapas_2025.pdf

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 20 Oaxaca.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972722/20_Oaxaca_2025.pdf

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 21 Puebla*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972723/21_Puebla_2025.pdf

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 04 Campeche.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972706/04_Campeche_2025.pdf

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 23 Quintana Roo.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972725/23_Quintana-Roo_2025.pdf

Secretaría de Bienestar (2025). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2025. 21 Yucatán.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/972733/31_Yucatan_2025.pdf









CAPÍTULO XIII

CONSTRUYENDO UNA RED DE INNOVACIÓN TERRITORIAL PARA LA GANADERÍA SOSTENIBLE EN LA SIERRA MADRE DE CHIAPAS. UNA EXPERIENCIA DEL TERCER SECTOR

Gregorio Wenceslao Apan Salcedo, Carla Aguilar De la Fuente, Pedro Daniel Cameras Velasco y José Fernando Rodríguez García[1]

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos treinta años, el estado de Chiapas ha transitado por un proceso complejo de prueba y error, aprendizaje y ajuste, en los esfuerzos por transferir e implementar sistemas silvopastoriles como un componente del modelo de ganadería sustentable para el estado de Chiapas (según la Ley de Desarrollo Rural del Estado de Chiapas), impulsados principalmente por organizaciones de la sociedad civil en colaboración con la academia y el gobierno en sus tres niveles (federal, estatal y municipal). Estas experiencias, lideradas por diversas organizaciones de la sociedad civil que representan el "tercer sector" de la economía en México (Anheier, 2005; Olvera, 2002), han generado avances significativos en la masificación de estos sistemas, como ha sido documentado en diversos estudios recientes (Zepeda et al., 2016; Murgueitio et al., 2015). No obstante, persisten importantes vacíos territoriales, sociales, y en las políticas públicas que limitan el escalamiento de estas tecnologías dentro del sector ganadero chiapaneco, a pesar del trabajo sostenido por parte de actores locales para superar los cuellos de botella institucionales y técnicos (Apan et al., 2021). Una de las preguntas recurrentes en los espacios de diálogo territorial que buscan escalar las prácticas ganaderas sostenibles, es: ¿Qué se debe hacer para que más productores repliquen estas buenas prácticas, entre ellas los sistemas silvopastoriles?

1 Fondo de Conservación El Triunfo.

En este contexto, el enfoque de redes de innovación emerge como una herramienta estratégica que permite orientar las acciones hacia un escalamiento más efectivo, no sólo de tecnologías agropecuarias sostenibles, sino también del fortalecimiento de capacidades sociales y técnicas a nivel local (Kilelu et al., 2011). En trabajos previos, se ha concluido que "la masificación de los sistemas silvopastoriles y otras tecnologías en la ganadería sostenible en Chiapas no depende únicamente de transferir tecnología, sino de construir redes de confianza, aprendizajes colectivos y agendas comunes entre actores diversos en los territorios rurales" (Solorio, et al., 2021; Rivera et al., 2021; Apan et al., 2021). Chiapas, reconocido por su alta diversidad biológica y cultural, enfrenta desde hace más de una década retos cada vez más graves. En particular, después de la pandemia de COVID-19, las comunidades de la Sierra Madre han experimentado un aumento en la vulnerabilidad socioambiental, intensificada por los impactos del cambio climático y el acceso desigual al agua. Esta crisis hídrica compromete no sólo el bienestar de la población, sino también la viabilidad de actividades productivas fundamentales, como la ganadería.

La ganadería representa un pilar económico en Chiapas, con una amplia distribución territorial y una contribución significativa al Producto Interno Bruto estatal (INEGI, 2018). Sin embargo, también ha sido identificada como un motor clave del cambio de uso de suelo, siendo responsable de la transformación de más del 60% de los bosques en áreas de pastizales, con impactos severos sobre los ecosistemas y su resiliencia (SEMAHN, 2022; Escobar y Castillo, 2021). Ante estos desafíos, las redes de innovación se proponen como un mecanismo eficaz para construir tejido social orientado a la transferencia y escalamiento de tecnologías sostenibles. Estas redes, entendidas como plataformas colaborativas entre productores, técnicos, instituciones académicas y organizaciones de la sociedad civil, permiten catalizar procesos de adaptación y mitigación frente al cambio climático (Hermans et al., 2011). De esta forma, no se trata únicamente de difundir sistemas silvopastoriles, sino de fomentar una gobernanza territorial que articule el conocimiento técnico con las necesidades locales.

Entonces, ¿qué es una red de innovación? Se trata de un entramado dinámico de actores que comparten conocimientos, experiencias y recursos con el propósito de resolver desafíos comunes mediante la cocreación y adopción de soluciones tecnológicas apropiadas a contextos específicos (Díaz et al., 2013; Muñoz et al., 2004). En el caso de Chiapas, estas redes representan una vía prometedora para reconciliar la conservación ambiental con el desarrollo rural sostenible.

Una red de innovación territorial (RIT) es un conjunto articulado de actores —productores, organizaciones sociales, instituciones académicas, gobiernos locales, empresas y técnicos— que interactúan en un espacio geográfico definido con el objetivo de generar, adaptar, compartir y escalar innovaciones productivas, sociales o institucionales. Estas redes se fundamentan en la idea de que la innovación no es un proceso lineal, sino una construcción colectiva basada en el aprendizaje social y en la circulación de conocimientos entre múltiples actores (Muñoz et al., 2018).

Desde la perspectiva desarrollada por la Universidad Autónoma Chapingo, las redes de innovación territorial permiten construir capacidades endógenas en el territorio y fortalecer el tejido social para enfrentar problemáticas comunes. Para ello, se apoya en la teoría de redes sociales, que permite identificar los vínculos estructurales entre actores y entender cómo circula la información y el conocimiento (Aguilar et al., 2016). La construcción de una red de innovación territorial, según Rendón et al. (2009), incluye al menos cuatro etapas fundamentales:

1. Identificación de actores clave: localizar personas y organizaciones con capacidad de influir en procesos de innovación y adaptación en el territorio.
2. Análisis de relaciones: estudiar los vínculos existentes (formales e informales) para comprender las dinámicas de colaboración, confianza y poder.
3. Mapeo de la red: visualizar gráficamente la estructura de la red para ubicar nodos estratégicos, vacíos de conexión y oportunidades de fortalecimiento.
4. Gestión activa de la red: promover estrategias de integración, comunicación y cocreación que permitan el escalamiento de innovaciones (Díaz et al., 2013).

Estas redes tienen un gran potencial en contextos rurales, especialmente en territorios con alta diversidad social y ambiental como Chiapas, pues permiten responder a retos sistémicos como el cambio climático, el acceso desigual a tecnologías y la fragmentación institucional. Además, constituyen una vía para democratizar la generación y apropiación del conocimiento (Muñoz et al., 2018). En palabras de Muñoz et al. (2004), el enfoque de redes de innovación representa "una estrategia para que las comunidades rurales no sólo adopten tecnologías, sino también construyan formas colectivas de gestionar su propio desarrollo".

En este contexto, el Fondo de Conservación El Triunfo (FONCET), en el marco del proyecto *Comunidades Prósperas y Sostenibles*[2] de The Nature Conservancy (TNC) —con el apoyo de USAID—, y del proyecto *Conecta: Conectando la Salud de las Cuencas con la Producción Ganadera y agroforestal sostenible*[3], financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) a través del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), emprendió la construcción de una Red de Innovación Territorial como primer paso hacia la masificación de los sistemas silvopastoriles y la adopción de buenas prácticas ganaderas. Este esfuerzo, en su esencia, no buscó únicamente articular grupos de trabajo en torno a proyectos específicos de desarrollo. El objetivo más ambicioso fue posicionar una nueva conceptualización del escalamiento territorial, basada en la identificación de actores clave de cambio que, por su capacidad de articulación y liderazgo local pudiesen facilitar la adopción y apropiación social de tecnologías sostenibles de manera más sólida y duradera.

2 https://www.facebook.com/share/p/1AMvgKxri1/
3 https://fmcn.org/es/proyectos/conecta

Si bien The Nature Conservancy ya ha implementado experiencias previas en innovación territorial —desarrollando incluso sus propias metodologías para el fortalecimiento de redes—, en nuestra propuesta hemos adaptado y complementado el enfoque de trabajo de Muñoz et al. (2009) y adaptado al contexto chiapaneco, incorporando elementos metodológicos derivados de la teoría de redes sociales, la construcción de capital social y el análisis territorial participativo, contando la experiencia de los autores, particularmente el proceso de transferencia incluyó una construcción de una visión a futuro de los predios de los productores que participaron en esta iniciativa, codiseñando las unidades de producción para comenzar el cambio en el manejo técnico en favor de sistemas silvopastoriles, pastoreo racional y las buenas prácticas de ganadería sostenible. Esta base nos permitió dar forma a una red con el potencial de una identidad propia, anclada en el territorio, y orientada a transformar las prácticas ganaderas desde una lógica de colaboración, aprendizaje colectivo e innovación local.

La construcción de una Red de Innovación Territorial para la Ganadería Regenerativa (RITER) en la Sierra Madre de Chiapas, responde a la necesidad de consolidar un enfoque integral productivo alineado con la necesidad de recuperar el capital natural del estado de Chiapas que permita escalar soluciones sostenibles dentro del sistema ganadero regional. Esta iniciativa se enmarcó en un contexto de alta vulnerabilidad socioambiental, donde los modelos convencionales de producción han contribuido significativamente a la pérdida de cobertura forestal, el deterioro de suelos y la disminución de la biodiversidad.

El objetivo de esta iniciativa fue conformar una RITER con productores líderes capaces de adoptar, adaptar y difundir tecnologías de ganadería sustentable y regenerativa, mediante una estrategia de vinculación multinivel entre actores del territorio. Se buscó promover la circulación horizontal del conocimiento y la apropiación social de la innovación. Aunque originalmente esta iniciativa se proyectó para concluir en marzo de 2026, cambios en la política de ayuda al exterior estadounidense, que derivó en realineación y evaluación de los paquetes de ayuda al extranjero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) obligaron al cierre anticipado en enero de 2025. Este documento presenta los avances alcanzados hasta ese momento con los recursos disponibles.

METODOLOGÍA

Formación de actores clave en RITER

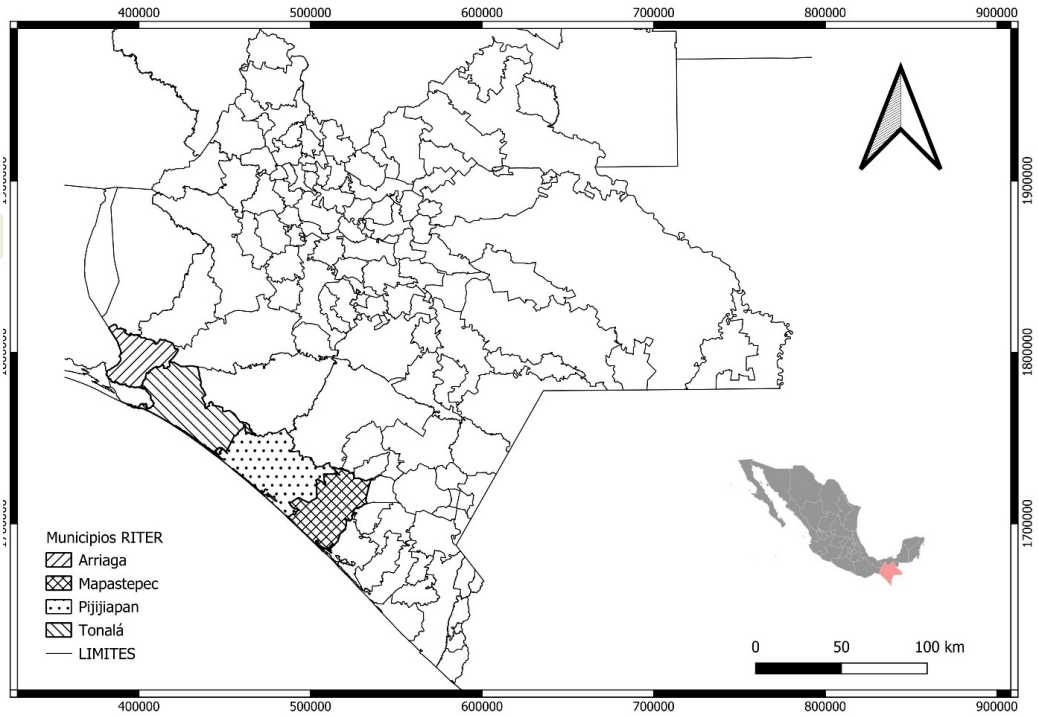
La Red de Innovación Territorial en Ganadería Sustentable (RITER) se construyó a partir del diseño de un perfil de Actor de Cambio (AC), entendido como un productor o productora con liderazgo comunitario, disposición para innovar, colaborar y adaptarse a nuevas tecnologías ganaderas como los sistemas silvopastoriles. Este perfil fue clave para identificar a quienes, aun con poco tiempo, están dispuestos a actualizarse, trabajar en equipo y buscar soluciones a las crisis productivas de sus ranchos. Para su identificación, se aplicaron entrevistas semiestructuradas a aliados estratégicos

del FONCET quienes, mediante la metodología de bola de nieve, refirieron a 65 actores locales —productores, docentes, líderes ejidales, representantes de asociaciones ganaderas, técnicos y queseros— en municipios como Arriaga, Pijijiapan, Mapastepec y Tonalá. A partir de este proceso se detonó la selección de los formadores/as de formadores/as. Las entrevistas incluyeron las siguientes preguntas detonadoras:

1. ¿A quién consideras el productor/a más proactivo/a o confiable para experimentar?
2. ¿Qué aprendizajes te ha dejado?
3. ¿Comparte sus conocimientos contigo?
4. ¿Se da tiempo para compartir sugerencias o mejorar la producción?
5. ¿Con quién no se relaciona y por qué? ¿Qué jóvenes buscan un futuro distinto?

La primera etapa centrada únicamente en la formación de la red se realizó durante el periodo febrero-julio de 2024, en la cual se incluyeron elementos para el perfil del actor de cambio, metodología de formación de formadores y temas de capacitación y se inició con el recorrido de construcción de la Red de Innovación a partir de la lista de actores clave identificados por los aliados ubicados en la región costera de la Sierra Madre de Chiapas. Se acordó que el proyecto abarcaría municipios específicos según el ordenamiento territorial estatal, como: Tonalá, Arriaga, Pijijiapan y Mapastepec, que representan los municipios con alta y muy alta densidad ganadera (FONCET, 2022).

Figura 1.
Municipios de formación RITER.



Uno de los compromisos asumidos en el marco de la RITER de ganadería fue la instalación de cinco Centros de Innovación Territorial (CITER). Para ello, se seleccionaron e invitaron a participar centros educativos relevantes de la región, con el objetivo de promover la inclusión activa de jóvenes dentro de la red y fortalecer la difusión del conocimiento a nivel de las unidades familiares, comenzando con las y los estudiantes como agentes clave del cambio. En estos espacios ocurrió la capacitación a los actores de cambio para que cada uno realizara sus réplicas en sus distintas comunidades y en sus unidades de producción con la red formada con ganaderos de confianza. Esto correspondió a la segunda etapa del proceso.

A partir de este proceso se realizó un análisis de la red que partió de un conjunto de datos estructurados que contenían información sobre los individuos pertenecientes a cada red social por actor de cambio. Los datos incluyeron los nombres de los participantes, características demográficas como género y edad, el número de vínculos que cada persona mantenía dentro de la red, así como una matriz de adyacencia que representaba las conexiones entre los diferentes nodos, es decir, las relaciones directas entre los actores. El análisis buscó determinar la distribución del número de vínculos en la red, calcular su densidad y obtener estadísticos descriptivos que permitieran comprender mejor la estructura y dinámica de las conexiones sociales entre los individuos. El procedimiento seguido comenzó con una inspección inicial del conjunto de datos. Se identificaron las variables relevantes destacando el número de vínculos y la matriz de adyacencia. Posteriormente, se generó un histograma en 7vortex con el fin de visualizar la distribución de los vínculos dentro de la red. Esta herramienta permitió identificar qué tan conectados estaban los individuos y detectar posibles nodos con un número de conexiones inusualmente alto o bajo.

A continuación, se calculó la densidad de la red como el cociente entre el número total de vínculos reales observados y el número máximo posible de vínculos. Finalmente, se calcularon estadísticos descriptivos del número de vínculos, incluyendo el promedio (media), la desviación estándar, los valores mínimos y máximos, y los percentiles 25%, 50% y 75%, lo que permitió tener una visión más detallada sobre la dispersión y concentración de las conexiones en la red.

RESULTADOS

Figura 2.
Sesión de información con actores de cambio en Mapastepec, 12 de marzo de 2024.



La RITER comenzó a formarse a partir de la difusión del proyecto con el contacto de asociaciones ganaderas locales, ejidales y mancomunales, así como con instituciones educativas agropecuarias. Se logró alcanzar a 76 personas ganaderas, identificando 5 formadores comunitarios con liderazgo regional.

Figura 3.
Sesión de información con actores de cambio en Pijijiapan, 13 de marzo de 2024.



Fuente: FONCET-TNC CPS.

En este proceso de difusión, los CITER seleccionados fueron:

- Centro de Educación Tecnológica Agropecuaria No. 43 (Mapastepec), Telesecundaria 621, Armando Duvalier Cruz Reyes (Pijijiapan), Telesecundaria 194 Carlos Fuentes (Pijijiapan), Universidad del Sureste de México (Pijijiapan), Universidad de Ciencias Administrativas 1-UNACH (Arriaga).

Para julio de 2024, se contó con la participación de 33 líderes ganaderos que decidieron integrarse a la RITER, con el objetivo de formarse en modelos de ganadería regenerativa. Cada uno de ellos asumió el compromiso de difundir los conocimientos adquiridos con al menos 20 personas dentro de sus redes personales, fortaleciendo así un modelo de aprendizaje colaborativo y multiplicador en sus comunidades. Una vez conformado el grupo de líderes, se planificaron las fechas de capacitación conforme a la metodología de formación para la transición hacia sistemas ganaderos regenerativos, la cual contempla el diseño e implementación de sistemas silvopastoriles. Esta metodología, desarrollada por Apan, incluye un total de nueve sesiones distribuidas en siete módulos formativos, una sesión inicial de socialización y una de arranque formal de la RITER.

Los contenidos fueron estructurados de acuerdo con las etapas del manejo integral de la ganadería regenerativa, integrando también componentes clave de conservación ambiental. Las actividades se desarrollaron bajo una lógica teórico-práctica, promoviendo la réplica del conocimiento por parte de los líderes en sus territorios. La agenda propuesta fue la siguiente:

- **Sesión de socialización de la RITER en tres municipios**: presentación de objetivos, alcances y criterios de participación.
- **Sesión 0 – Arranque formal de la RITER**: bienvenida, presentación de los participantes y definición de compromisos colectivos.
- **Módulo 1 – Ordenamiento parcelario**: 1 sesión con réplica en campo.
- **Módulo 2 – Salud del suelo**: 2 sesiones (una teórica y una práctica), ambas con réplica.
- **Módulo 3 – Ganadería regenerativa**: 1 sesión práctica con réplica.
- **Módulo 4 – Raza y reproducción animal**: 1 sesión práctica.
- **Módulo 5 – Bienestar animal**: 1 sesión práctica.
- **Módulo 6 – Manejo de agua**: 1 sesión teórico-práctica con réplica.
- **Módulo 7 – Conservación**: 1 sesión tipo conversatorio, orientada a integrar la visión de paisaje.

Esta estructura formativa permitió fortalecer las capacidades técnicas y organizativas de los productores, así como consolidar un enfoque de gestión regenerativa del territorio con énfasis en la sostenibilidad ambiental y social.

Inicio de la RITER

Para dar inicio al proceso formativo con los líderes de la RITER, se retomaron actividades presenciales con las y los productores identificados como agentes de cambio. Entre los días 12 y 14 de marzo de 2024 se llevaron a cabo tres sesiones de inducción en los municipios participantes: Mapastepec, Pijijiapan y la región compartida entre Tonalá y Arriaga. Estas sesiones estuvieron dirigidas a las organizaciones de productores y tuvieron como propósito presentar la estructura general del programa formativo, las fechas programadas, los módulos temáticos y las necesidades específicas en temas de interés previamente identificadas. Asimismo, se abordaron aspectos organizativos clave, como los horarios de los talleres, la conformación de grupos de 20 personas por organización y la resolución de dudas sobre el proceso metodológico. En total, participaron 24 personas en esta fase de socialización, de las cuales 7 fueron mujeres y 16 hombres.

Posteriormente, el 21 de marzo se llevó a cabo la sesión formal de arranque de la RITER, en las instalaciones de la comunidad de Pijijiapan, con el objetivo de reunir a todos los integrantes de la red y fortalecer su identidad como agentes de cambio en sus territorios, permitiendo que cada uno se reconociera, intercambiaran contactos y establecieran las expectativas y alcances que pudiesen lograr en su propia red con actores de confianza. Durante esta jornada se enfatizó el valor estratégico de las redes de colaboración para el fortalecimiento de la ganadería sostenible en la región Istmo-Costa, y se promovió una reflexión colectiva sobre la participación de los actores locales en procesos de innovación y transición hacia sistemas regenerativos. La dinámica incluyó la presentación de cada integrante y la realización de un juego de mesa denominado "Decisiones por el territorio" como herramienta lúdica para fomentar la socialización entre los participantes y reflexionar sobre su rol en la

transformación de la ganadería regional. En esta sesión participaron 23 líderes de la RITER (5 mujeres y 18 hombres), con un total de 32 personas asistentes.

Figura 4.
Sesión de arranque RITER con actores de cambio en Pijijiapan.



Fuente: Archivo FONCET-TNC Proyecto CPS RITER

Módulo 1

El primer módulo de la metodología de formación, titulado "ordenamiento parcelario", tuvo como objetivo brindar a las y los productores las herramientas necesarias para rediseñar sus parcelas de acuerdo con los objetivos productivos específicos de su ganadería, incorporando principios de sostenibilidad y eficiencia. Este rediseño incluyó la planificación e integración de componentes clave como bancos de proteína y energía, división estratégica de potreros y sistemas de captación, almacenamiento y distribución de agua. El módulo se llevó a cabo el 10 de abril de 2024 en las instalaciones del CEBETA en Mapastepec, uno de los Centros de Innovación Territorial (CITER) contemplados en el marco de la RITER. La sesión combinó contenido técnico con ejercicios prácticos, fomentando el análisis participativo de cada unidad de producción.

En esta actividad se capacitó a un total de 29 personas, de las cuales 7 fueron mujeres y 22 hombres, quienes asumieron el compromiso de replicar lo aprendido en sus respectivas comunidades productoras. Esta primera formación marcó un paso clave para el fortalecimiento de las capacidades locales en la planificación predial con enfoque regenerativo. Este enfoque permite a las y los productores dejar atrás modelos de ganadería extensiva tradicional —frecuentemente asociados con sobrepastoreo, degradación del suelo y baja productividad— para avanzar hacia sistemas planificados, eficientes y resilientes que integran el aprovechamiento racional del territorio, la conservación de recursos naturales y el bienestar animal.

El rediseño de las parcelas mediante el ordenamiento físico productivo es clave para establecer infraestructura básica para el manejo rotacional del pasto, favorecer la recuperación del suelo y el crecimiento de forrajes de alto valor nutricional, así como garantizar la disponibilidad y distribución del agua. Además, sienta las bases

para introducir prácticas agroecológicas, como la instalación de bancos de proteína y energía, que fortalecen la alimentación del ganado de forma natural y sostenible. Este módulo no sólo mejora la eficiencia productiva de cada unidad ganadera, sino que también promueve una visión integral de manejo del territorio, necesaria para enfrentar los desafíos del cambio climático y fortalecer la soberanía alimentaria local. En ese sentido, el ordenamiento parcelario es una pieza estratégica para consolidar un modelo de ganadería climáticamente inteligente, ambientalmente responsable y socialmente justo (GANADERÍA SUSTENTABLE, SOSTENIBLE, REGENERATIVA).

Módulo 2

El segundo módulo de la RITER, centrado en la salud del suelo, se llevó a cabo en dos sesiones complementarias —una teórica y otra práctica— los días 20 y 21 de junio de 2024, utilizando como sedes la Telesecundaria 1332 y el rancho del productor José Santos Yión. Este módulo abordó la importancia del suelo como base para un manejo silvopastoril exitoso, profundizando en los nutrientes esenciales, la estructura biológica del suelo y su papel en la regeneración productiva. Desde la propuesta formativa del FONCET, se promueve que cada módulo transfiera conocimientos técnicos, y genere prácticas concretas replicables por los grupos de productores. En este módulo, se implementaron tres prácticas clave:

- Cromatografías, como prueba cualitativa para evaluar la salud del suelo,
- Micorrizas, para el fortalecimiento de fertilización biológica a través de simbiosis con las raíces,
- La elaboración de supermagro, un fertilizante natural de bajo costo para mejorar la fertilidad del suelo sin impactos negativos.

Figura 5.
Cromatografía en papel, micorrizas y elaboración de Supermagro.



Fuente: Archivo FONCET-TNC. Proyecto CPS RITER.

A pesar de las condiciones climáticas adversas que limitaron la participación directa en las sesiones iniciales (con solo 9 asistentes), se activó una estrategia de réplica acompañada por el equipo técnico de FONCET. Esta alternativa permitió que productores líderes de la RITER replicaran el módulo con sus pares, logrando una asistencia total de 20 personas capacitadas, de las cuales 7 fueron mujeres y 13 hombres.

Este enfoque permitió cumplir con los objetivos del módulo y fortaleció la cohesión del grupo, promovió la autonomía en el aprendizaje colectivo y fomentó el intercambio horizontal de saberes, aspectos fundamentales en la transición hacia sistemas ganaderos sostenibles con base en la regeneración del suelo.

Módulo 3

Como parte del proceso de formación de formadores en el marco de la RITER, se llevó a cabo el tercer módulo enfocado en técnicas de ganadería regenerativa, el día 15 de agosto de 2024. Este módulo representó un punto clave en la metodología de aprendizaje, al integrar los conceptos abordados en los módulos anteriores —salud del suelo y ordenamiento parcelario— como fundamentos para el diseño e implementación de sistemas ganaderos regenerativos y silvopastoriles. Durante la jornada se abordaron los principios fundamentales de la ganadería regenerativa, con énfasis en su capacidad para restaurar la salud del suelo, regenerar la cobertura vegetal y aumentar la productividad de forma sostenible. Se profundizó en el diseño e implementación de sistemas silvopastoriles, destacando sus principales variantes:

- Sistemas silvopastoriles intensivos, con alta densidad de árboles forrajeros por hectárea.
- Sistemas silvopastoriles dispersos, con árboles distribuidos en potreros convencionales para sombra, forraje y regulación micro climática.
- Cercas vivas y corredores biológicos, que aportan conectividad ecológica y servicios ecosistémicos.
- Franjas arbóreas o alamedas, integradas en el diseño del paisaje productivo.

Figura 6.
Módulo 3 Técnicas para una ganadería regenerativa.



Fuente: Archivo FONCET-TNC. Proyecto CPS y CONECTA.

Además, se introdujeron herramientas clave para el manejo del pastoreo racional, particularmente el pastoreo Voisin, destacando conceptos como tiempo de ocupación, tiempo de descanso, carga animal ajustada y secuencia de rotación de potreros. Como parte de la fase práctica del módulo, se realizó un ejercicio de aforo de potreros, el cual permitió a las y los participantes aprender a estimar la disponibilidad de forraje en campo, calcular la carga animal adecuada y tomar decisiones informadas para evitar el sobrepastoreo.

Esta combinación de contenidos teóricos y prácticos fortaleció las capacidades técnicas del grupo y brindó herramientas aplicables de forma inmediata en sus unidades de producción. En total, se capacitaron 33 personas, de las cuales 8 fueron mujeres y 25 hombres, reafirmando el compromiso del grupo con la adopción de un enfoque regenerativo e inclusivo. El módulo representó un avance significativo hacia la construcción de una ganadería climáticamente inteligente, biodiversa y resiliente desde las prácticas del productor.

Módulo 4

Como parte del fortalecimiento de capacidades en la RITER y en el marco de la formación para la transición hacia sistemas ganaderos sostenibles, el 3 de octubre de 2024 se llevó a cabo el foro "Bienestar animal y ganadería regenerativa como base para la certificación ECOGAN", que correspondió al Módulo 4 del proceso formativo. Este evento fue concebido como un espacio de articulación técnica e interinstitucional, reuniendo a especialistas, instituciones gubernamentales y productores líderes para profundizar en los pilares técnicos y ambientales que sustentan la certificación ECOGAN. Durante el foro se realizaron cinco presentaciones magistrales que abordaron temas estratégicos desde distintos enfoques, proporcionando un panorama integral sobre los retos y oportunidades de la ganadería regenerativa:

1. FONCET – "¿Qué es la ganadería regenerativa?", a cargo del Dr. Wenceslao Apan Salcedo. Se presentó el contexto del cambio climático como catalizador para el rediseño de los sistemas ganaderos, destacando los componentes clave de la ganadería regenerativa y el proceso de construcción de la certificación ECOGAN como herramienta de innovación y trazabilidad.

2. INIFAP – "Manejo de potreros bajo sistemas agroforestales", por la Dra. Alma Liz Vargas de la Mora. Se compartieron experiencias con grupos de productores donde se evidenció el impacto positivo del manejo adecuado de potreros en el contexto del cambio climático, así como la relevancia de implementar sistemas agroforestales que aportan beneficios tanto ecológicos como productivos en sistemas de leche y engorda.

3. Comité de Fomento y Protección Pecuaria (CFPP)–"Sanidad y bienestar animal", presentado por la MVZ. Luisa Alejandra Lara Gerardo. Se expuso la importancia de la sanidad preventiva, incluyendo la planificación de calendarios de vacunación, el manejo profiláctico del agua y los alimentos, la cuarentena de nuevos animales y las certificaciones sanitarias necesarias para asegurar el bienestar animal en las unidades de producción pecuaria.

4. SEMAHN–"Indicadores de suelo, agua y conservación", a cargo del Ing. Favio Amores. Se reforzaron los conocimientos previos sobre el papel fundamental del suelo en la conservación del ecosistema productivo, promoviendo el uso de insumos orgánicos como bioles, micorrizas y caldos minerales como estrategias clave para la regeneración y sostenibilidad.

5. SAGyP–"Manejo alimenticio en sistemas ganaderos regenerativos", impartido por el MVZ. Ricardo Iturbe. Se abordaron técnicas para mejorar la alimentación del ganado desde un enfoque regenerativo, haciendo énfasis en la medición del aforo de potreros, el monitoreo del estado de los pastizales y la implementación del pastoreo rotacional, elementos esenciales para el equilibrio entre productividad y conservación.

Este módulo-foro fue uno de los eventos con mayor convocatoria dentro del proceso formativo, logrando la capacitación de 104 personas, de las cuales 23 fueron mujeres y 81 hombres. La diversidad de ponentes y enfoques consolidó la comprensión de que la ganadería regenerativa, el bienestar animal y la inocuidad son pilares indispensables para alcanzar la certificación ECOGAN, y que su implementación requiere la articulación de conocimientos científicos, prácticas tradicionales y políticas públicas.

Figura 7.
Módulo 4 Foro Bienestar animal y ganadería regenerativa: bases para ECOGAN. Chiapas".



Fuente: Archivo FONCET-TNC-FMCN. Proyecto CPS y CONECTA.

Módulo 5

El Módulo 5 del proceso de formación de la RITER se llevó a cabo el 24 de octubre de 2024 en el Rancho Tres Hermanas, ubicado en la comunidad San Isidro. Esta sesión estuvo enfocada en temas de bienestar animal e inocuidad en la producción lechera, facilitados por el personal técnico del Comité de Fomento y Protección Pecuaria (CFPP). Durante el taller se realizó una práctica especializada sobre detección de mastitis utilizando la prueba California, una técnica sencilla y efectiva para el diagnóstico temprano de esta enfermedad que afecta la calidad e inocuidad de la leche. Las y los productores participantes aplicaron la prueba de manera directa con

apoyo del equipo técnico, lo que permitió reforzar el conocimiento práctico sobre el cuidado de la glándula mamaria en bovinos.

Asimismo, se emitieron recomendaciones específicas de manejo higiénico en la parcela para la ordeña, incluyendo buenas prácticas en el lavado de utensilios, manejo de animales antes y después del ordeño, y almacenamiento seguro de la leche. Como resultado del módulo, se logró gestionar la vinculación formal con el CFPP, quien ofreció a las y los productores asesorías gratuitas en sanidad e inocuidad, fortaleciendo así la sostenibilidad técnica y sanitaria de las unidades productivas. En esta sesión se capacitó a un grupo focalizado de 11 personas productoras, de las cuales 4 fueron mujeres y 7 hombres, reafirmando el compromiso con una ganadería responsable, basada en el bienestar animal y la producción de alimentos seguros y de calidad.

Figura 8.
Módulo 5, Taller de bienestar e inocuidad animal.



Fuente: Archivo FONCET-TNC. Proyecto CPS.

Segunda Generación RITER – UNACH, Arriaga.

En atención al interés manifestado por la Actriz de Cambio, integrante de la RITER y académica de la Universidad, campus Arriaga, se estableció un convenio de colaboración entre la RITER y esta institución educativa. El acuerdo tuvo como objetivo integrar los contenidos formativos de los tres primeros módulos de ganadería regenerativa —ordenamiento parcelario, salud del suelo y técnicas de ganadería regenerativa— al programa educativo de la UNACH dirigido a estudiantes de la región. Esta iniciativa incluyó al estudiantado y permitió incorporar a productores ganaderos de diversos ejidos de la región Istmo-Costa, quienes mostraron interés en aprender y replicar las prácticas de ganadería regenerativa en sus comunidades. Esta sinergia fortaleció significativamente el componente de juventudes dentro de la RITER, al vincular centros educativos con procesos prácticos de sostenibilidad en el territorio.

Módulo 1 – Ordenamiento Parcelario

El primer módulo se llevó a cabo el 23 de octubre de 2024 y estuvo enfocado en el diseño y rediseño de las unidades de producción ganadera, integrando elementos

como bancos de proteína y energía, división de potreros y sistemas de captación de agua. La sesión contó con la participación de 31 personas, entre ellas 10 mujeres, incluyendo estudiantes y productores de la región. Este primer acercamiento permitió sentar las bases para un enfoque más técnico y consciente del uso del suelo y los recursos naturales.

Módulo 2 – Salud del Suelo

El segundo módulo se desarrolló en dos sesiones:

- Sesión 1–6 de noviembre de 2024. En esta jornada, se abordaron los principios fundamentales de la salud del suelo como base para los sistemas ganaderos regenerativos. Se realizaron prácticas como la identificación de estructuras del suelo, elaboración de bioles y reflexión sobre el impacto del manejo convencional. Participaron 13 personas, incluyendo 6 mujeres.
- Sesión 2–27 de noviembre de 2024. Esta segunda sesión se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Administrativas de la UNACH-Arriaga. Se centró en la elaboración de supermagro como fertilizante natural y la siembra de micorrizas, herramientas esenciales para la regeneración de la fertilidad del suelo. Asistieron 8 personas, incluyendo 1 mujer, en su mayoría personal académico y técnico de la universidad.

Al 24 de enero de 2025, se encontraba en proceso de planificación la realización de los últimos módulos del programa formativo de la RITER. Sin embargo, debido a cambios en la política exterior de Estados Unidos, el proyecto *Comunidades Prósperas y Sostenibles* —implementado por TNC— con el cual el FONCET había establecido una alianza para la operación técnica, logística y de financiamiento, fue dado por concluido de forma anticipada. Esto afectó directamente la continuidad del apoyo a los equipos técnicos y a las actividades de facilitación e intercambio de experiencias entre productores. Como consecuencia, los módulos finales previstos dentro de la metodología de formación no pudieron ser ejecutados en ese momento. No obstante, el FONCET ha decidido mantener activa la red de líderes formada, y se encuentra gestionando los recursos necesarios para completar las dos sesiones pendientes con financiamiento propio. Al momento de la redacción de este capítulo, dichas sesiones aún no habían sido realizadas, pero se reafirma el compromiso institucional de concluir el proceso de formación, asegurando la consolidación del aprendizaje técnico y organizativo que sustenta la RITER como modelo de ganadería regenerativa en la región Istmo Costa de Chiapas.

ANÁLISIS DE LA RED

La RITER de ganadería de la vertiente costera, fue analizada con 28 actores de cambio, de los cuales 18 actores se presentaron a procesos de formación de manera intermitente. En el cuadro 1, se exponen los resultados de la estructura de la red.

Cuadro 1.
Estructura y densidad de la RITER de ganadería sustentable de la Sierra Madre de Chiapas, vertiente costera.

Número de nodos	Número total de vínculos	Número máximo de vínculos posibles	Densidad de la red	Estadísticos básicos						
				Promedio	D.E.	Minimo de vínculos	Vinculo al 25% de la red	Vinculo al 50% de la red	Vinculo al 75% de la red	Vinculos máximo
46	616	2070	0.30	13.39	3.8	6	11	14	16	19

Fuente: Archivo de FONCET-TNC. Proyecto CPS.

Con base en los datos obtenidos, la RITER en la región Istmo Costa presenta una densidad del 30%, lo que significa que aproximadamente tres de cada diez conexiones posibles entre actores están consolidadas. Este valor sugiere que la red posee un nivel moderado de conectividad, si bien no todos los actores están directamente relacionados entre sí, existen suficientes vínculos para conformar una estructura funcional y operativa, capaz de sostener flujos de información, intercambio de experiencias y articulación territorial. En términos generales, la densidad en un análisis de redes sociales se refiere al grado de interconexión entre los miembros de una red. Una densidad cercana a 1 implicaría una red altamente interconectada, donde casi todos los actores están vinculados entre sí, favoreciendo la cohesión y la circulación rápida de información. Por el contrario, una densidad cercana a **0** indicaría que los vínculos son escasos, lo cual puede derivar en una red fragmentada o débilmente articulada.

La densidad ideal depende del tipo de red y su propósito. En contextos organizacionales, por ejemplo, Vieira y Rabelo (2015) encontraron que las redes internas de comunicación en empresas suelen tener densidades entre 0.2 y 0.5, suficientes para facilitar la interacción sin requerir una conectividad total entre todos los empleados. De manera similar, en el ámbito agropecuario, Aguilar et al. (2016) reportaron densidades de 0.2 a 0.4 en redes de innovación agrícola y transferencia tecnológica, reflejando que los actores clave (como productores líderes, técnicos y extensionistas) tienden a formar núcleos conectados, mientras que otros actores permanecen en la periferia con menor grado de vinculación.

Por otro lado, en redes académicas de colaboración científica, donde predomina la especialización y segmentación disciplinaria, Vivas (2004) documenta densidades bajas, incluso por debajo de 0.1, lo cual es típico de comunidades con vínculos esporádicos y centrados en temas específicos. En contraste, las redes comunitarias o de apoyo social, especialmente en contextos rurales, pueden alcanzar densidades elevadas (entre 0.4 y 0.6), debido a la cercanía física, los lazos de confianza y la cotidianidad compartida, como señalan Maya y Holgado (2015). En este sentido, el valor de densidad del 30% observado en la RITER se encuentra plenamente alineado con lo reportado en estudios de redes de innovación agrícola, donde el objetivo no es la conectividad total, sino la existencia de nodos estratégicos que actúan como multiplicadores de conocimiento y articuladores territoriales. Por tanto, la red construida en la vertiente Istmo Costa cumple con los criterios esperados para una red funcional orientada a la transferencia de tecnología y la innovación en

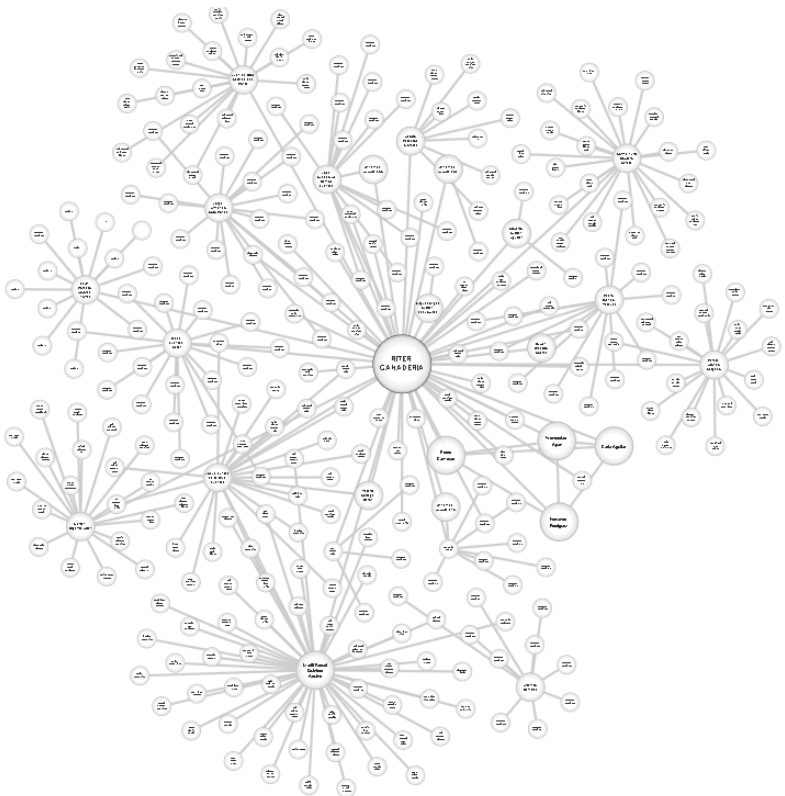
sistemas ganaderos sostenibles, constituyendo una base sólida para su consolidación y ampliación futura.

Figura 9.
RITER de Ganadería Regenerativa de la Sierra Madre de Chiapas, vertiente costera.



Fuente: Archivo FONCET-TNC. Proyecto CPS.

Figura 10.
Sociograma de la RITER de ganadería.



Fuente: 7Vortex[4]

4 https://www.7vortex.com/ecosystems/edd6f899-d34c-4718-bead-3b7a48d9eee9/view

REFLEXIONES

Participación en la RITER

Para septiembre de 2024, la RITER contaba con 32 integrantes que firmaron cartas compromiso para fungir como actores de cambio. Sin embargo, uno de los principales retos identificados para el acompañamiento técnico y consolidación de la red fue que, entre el grupo inicial de ganaderos y ganaderas, los actores de cambio que fueron referidos por tener mayor presencia en la región por los aliados del FONCET, son los que tuvieron un menor involucramiento en los módulos formativos, y ellos refirieron que se sentían limitados en tiempo para participar en la red voluntaria por sus compromisos sociales, una ironía en lo que se buscó desde el perfil del actor de cambio. Además, varios de ellos ya contaban con niveles avanzados de implementación de sistemas silvopastoriles o técnicas de pastoreo racional, lo que ha reducido su necesidad de acompañamiento técnico, privilegiando su interés en las medidas de sanidad y bienestar animal provistas en el proceso formativo. Durante el seguimiento, cuatro productores manifestaron su decisión de no continuar en el proceso, y se incorporó un nuevo productor, quedando un grupo activo de 28 integrantes con el cual se corrió el análisis de redes, de los cuales 25 habían asistido al menos tres módulos. Con la apertura de la segunda generación impulsada por la maestra AC de la UNACH y el FONCET, sumado a la realización del Foro de Ganadería Regenerativa, se sumaron cuatro personas más con el objetivo de fortalecer la ganadería regenerativa en la región Istmo Costa.

Réplicas de difusión de buenas prácticas por líderes RITER

Como parte del modelo de aprendizaje colaborativo, las AC de la RITER han replicado los contenidos de los módulos formativos en sus comunidades con buenos resultados y convocatoria, pues al permitir que cada AC facilitara las sesiones con sus colaboradores de confianza, aseguró un proceso de enseñanza más cómodo y horizontal sobre el ciclo formativo. Las réplicas realizadas alcanzaron a un número significativo de productores:

- AC 1: 2 módulos replicados, 17 capacitados (todos hombres).
- AC 2: 2 módulos replicados, 19 capacitados (10 mujeres, 9 hombres).
- AC 3 (CITER Pijijiapan): 2 módulos replicados, 22 capacitados (17 mujeres, 5 hombres).
- AC 4: 2 módulos replicados, 7 capacitados (todos hombres).
- AC 5: 2 módulos replicados, 19 capacitados (5 mujeres, 14 hombres).
- AC 6 (CITER Mapastepec): 2 módulos replicados, 17 capacitados (3 mujeres, 14 hombres).
- AC 7: 2 módulos replicados, 62 capacitados (11 mujeres, 51 hombres).
- AC 8: 1 módulo replicado (salud del suelo), 10 capacitados (3 mujeres, 7 hombres).
- AC 9 (ETA Mapastepec): 1 módulo replicado (ordenamiento parcelario), 25 estudiantes capacitados (16 mujeres, 9 hombres).

Perspectivas y proyecciones

Con la estructura actual, se proyectaba que para principios de 2026 se lograría alcanzar directamente a 600 productores y productoras con los temas del ciclo formativo, y a otros 600 para 2028, si se hubiese concretado la colaboración con el Gobierno del Estado de Chiapas a través de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP), sin embargo, la falta de presupuesto operativo deja en incertidumbre lograr estos números, aunque no demerita la estructura que se formó al cierre del proyecto. Se espera que varios productores activos de la RITER se consoliden como proveedores en redes de comercialización local, particularmente en las queserías regionales y la plataforma de acopiadores de carne que buscan proveedores que logren la certificación ECOGAN Chiapas, un incentivo público que certifica a las unidades de producción pecuaria, como sitios que hacen una ganadería con criterios de sostenibilidad. El fortalecimiento de las redes de proveeduría, especialmente en torno a queserías, representa una oportunidad clave para acelerar la aproximación territorial, identificar promotores locales y fomentar el intercambio de experiencias entre productores, contribuyendo a alcanzar una meta de 1,200 productores sensibilizados y vinculados al final del proyecto.

CONCLUSIONES

La experiencia de implementación de la RITER en la región Istmo Costa representa una apuesta innovadora por la masificación de tecnologías sostenibles en la ganadería, mediante un enfoque basado en redes de innovación y comunidades de aprendizaje. Al romper con el esquema tradicional de las escuelas de campo, esta propuesta demostró que la confianza, el reconocimiento social y el liderazgo local son catalizadores esenciales para construir procesos formativos más horizontales, contextualizados y de mayor impacto territorial.

Si bien la red alcanzó una densidad del 30%, lo que indica una conectividad aún en construcción, e incluso no puede interpretarse como una operación sólida, sí se logró consolidar una estructura funcional para sostener el intercambio de conocimientos y experiencias entre productores, facilitadores y actores institucionales. Esta red, aunque dispersa, reveló un alto potencial de crecimiento y articulación a futuro. La articulación entre una organización del tercer sector, como el FONCET, y metodologías académicas, permitió no sólo transferir conocimientos técnicos, sino también posicionar al tercer sector como un actor clave en la construcción de modelos de desarrollo sostenible en Chiapas. Sin embargo, esta misma dependencia de fondos internacionales expuso la fragilidad del modelo frente a cambios en la política exterior, que provocaron el cierre anticipado del proyecto y la interrupción del acompañamiento técnico especializado.

Pese a ello, los cinco módulos formativos iniciales fueron transferidos con éxito, y lo más importante: se formaron actores de cambio comprometidos, con capacidades técnicas, liderazgo territorial y voluntad de replicar lo aprendido. La sostenibilidad del proceso radica ahora en su capacidad de activar mecanismos locales

de financiamiento, ya sea a través de subsidios, alianzas con actores secundarios o redes de comercialización existentes como las queserías o la plataforma *Mancomún*. En suma, la RITER ha sentado las bases para un proceso emergente de fortalecimiento local en torno a la ganadería regenerativa. Su consolidación dependerá de la capacidad de los actores locales para sostener y escalar estas prácticas, promoviendo un modelo de producción que no sólo es viable desde el punto de vista técnico y económico, sino también profundamente comprometido con la conservación del territorio, el bienestar animal y la resiliencia frente al cambio climático.

Agradecimientos

Este proceso fue posible gracias al compromiso de los actores de cambio, ganaderas y ganaderos de la región, así como al apoyo financiero de The Nature Conservancy, USAID (Proyecto Comunidades Prósperas y Sostenibles), el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, el Banco Mundial y el GEF (Proyecto CONECTA), que suman hacia una ganadería regenerativa en Chiapas.

REFERENCIAS

Aguilar Gallegos, N., Muñoz Rodríguez, M., & Santoyo Cortés, V. H. (2016). Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y radialidad. *Estudios Gerenciales, 32*(140), 197–207. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300419

Anheier, H. K. (2005). Nonprofit organizations: Theory, management, policy. Routledge. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e5aa8b5a8792747e1e4c1a4ebc06260da0e720ed

Apan-Salcedo, G., Jiménez-Ferrer, J., Nahed-Toral, J., Pérez-Luna, E., & Piñeiro-Vázquez, A. (2021). Masificación de sistemas silvopastoriles: un largo y sinuoso camino. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 24*(3). https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3524/1693

Díaz-José, J., Rendón Medel, R., & Aguilar Ávila, J. (2013). Análisis dinámico de redes en la difusión de innovaciones agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4*(7), 1095–1102. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000700010

Escobar Flores, Rosa Elena & Castillo Santiago, Miguel Ángel (2021). Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *12*(66), 46-69. Doi: https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755

FONCET (2022), Diagnóstico ambiental y socioeconómico para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Chiapas, México, G.W. Apan-Salcedo (autor), Agencia Francesa de Desarrollo y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Diagnostico%20Chiapas.pdf

Hermans, F., Stuiver, M., Beers, P. J. & Kok, K. (2013). The distribution of roles and functions for upscaling and outscaling innovations in agricultural innovation systems. *Agricultural Systems*, 115, 1117-128. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X12001436?-via%3Dihub

INEGI (2023). *Producto Interno Bruto por entidad federativa 2018*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/

Kilelu, C. W., Klerkx, L., Leeuwis, C. & Hall, A. (2011). Beyond knowledge brokering: An exploratory study on innovation intermediaries in an evolving smallholder agricultural system in

Kenya. *Knowledge Management for Development Journal, 9*(1), 73–94. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19474199.2011.593859

Maya-Jariego, I., Holgado, D. (2015). Análisis de Redes Sociales e Intervención Comunitaria. *Intervención Psicosocial*, 24(3) https://scielo.isciii.es/pdf/inter/v24n3/editorial.pdf

Muñoz Rodríguez, M., Rendón Medel, R. & Aguilar Ávila, J. (2004). *Redes de innovación: Un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el desarrollo rural*. Universidad Autónoma Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/716b179a-2701-48cc-b273-cb8038a6e1f7/content

Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo-Cortés, V.H., Gómez-Pérez, D. & Altamirano-Cárdenas, J. R. (2018). ¡Otro campo es posible! Agenda pública y política con relación al campo mexicano. UACh-CIESTAAM. https://ciestaam.edu.mx/publicaciones2018/libros/otro-campo-es-posible.pdf

Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio M. X. y Molina, J. J. (2015). Los Sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina como alternativa sostenible para enfrentar el cambio climático en la ganadería. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volumen 49, Number 4, 541-554.

Olvera, A. J. (2002). Sociedad civil, esfera pública y democratización en América Latina: apuntes teóricos. *Revista Mexicana de Sociología, 64*(1), 33–67. https://doi.org/10.18800/968166762X

Rendón Medel, R., Aguilar Ávila, J., Altamirano Cárdenas, J. R.,& Muñoz Rodríguez, M. (2009). *Etapas del mapeo de redes territoriales de innovación*. Universidad Autónoma Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/9d213f4e-5a17-4c72-86b2-cf049d-dac992/content

Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del Gobierno del Estado de Chiapas (2022). Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Región Sierra Madre de Chiapas. https://www.semahn.chiapas.gob.mx/portal/descargas/ord_territorial/Estado_Chiapas/Resumen_ejecutivo.pdf

Solorio-Sánchez, J., Solorio-Sánchez, B., Ku-Vera, J.C., Aguilar-Pérez, C., Ramírez y Ávilés L., (2021). Modelo de Innovación en Ganadería Sostenibles. https://www.tncmx.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/Modelo_de_innovacion_en_ganaderia_sostenible.pdf

Vieira, S.R., Rabelo-Neiva, E. (2015). Redes Sociales en el Contexto de Cambio Organizacional *Interamerican Journal of Psychology,* vol. 49, núm. 3, 342-353. https://www.redalyc.org/pdf/284/28446020006.pdf

Vivas, J.R. (2004). Análisis de Redes Sociales de la Información Socio bibliométrica. *Psicologia: Ciência e Profissão*, 23(1), 32-41. https://www.scielo.br/j/pusf/a/N7XncqhkywtJvN7wRR4cgtB/?lang=es

Zepeda Cancino, Rubén Manuel, Velasco Zebadúa, María Eugenia, Nahed Toral, José, Hernández Garay, Alfonso, & Martínez Tinajero, Jaime Jorge. (2016). Adoption of silvopastoral systems and the sociocultural context of producers: support and limitations. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *7*(4), 471-488. Recuperado en 02 de mayo de 2025. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000400471&lng=es&tlng=en.









CAPÍTULO XIV

MILPA Y AUTOSUFICIENCIA. GESTIÓN COMUNITARIA, TECNOLOGÍAS APROPIADAS Y TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN KINIL, YUCATÁN, MÉXICO

José Roberto Grajales Mendoza[1]

INTRODUCCIÓN

La milpa maya representa mucho más que un sistema de producción agrícola, esta constituye una forma de vida, un principio organizador de la economía campesina y un eje central en la reproducción cultural de los pueblos mesoamericanos. Sustentada en la diversidad biológica, la asociación y rotación de cultivos y el conocimiento agrícola acumulado por generaciones, la milpa ha sido históricamente garantía de la soberanía alimentaria, la fertilidad del suelo y la resiliencia de los territorios rurales frente a condiciones adversas. No obstante, este sistema ha sido profundamente afectado por la expansión del agrocapitalismo, que promueve la especialización productiva, el uso intensivo de insumos externos y la sustitución de sistemas colectivos por esquemas individualizados y mercantiles. Como menciona Sánchez Cano (2014), las políticas de fomento a productos agrícolas a fines al monocultivo y la falta de tecnológica para la producción, han contribuido a una progresiva erosión de la milpa tradicional, poniendo en riesgo no sólo el sustento de las familias campesinas, sino también el patrimonio biocultural de los pueblos originarios.

En este contexto de transformación y amenaza, el presente estudio documenta y analiza la experiencia organizativa y productiva de la comunidad maya de Kinil, municipio de Tekax, Yucatán, México, en el marco del proyecto Milpa para la Vida, implementado por

1 Heifer Internacional México

Heifer Internacional México. Desde un enfoque agroecológico y comunitario, esta iniciativa ha buscado fortalecer las capacidades locales para la gestión sostenible de la milpa mediante la incorporación de prácticas climáticamente inteligentes, tecnologías apropiadas y mecanismos de organización colectiva del trabajo. A partir del trabajo en parcelas demostrativas y la revalorización del conocimiento campesino a través de las Escuelas de Campo de Agricultores, la experiencia de Kinil ofrece elementos valiosos para comprender cómo, en condiciones de adversidad, la milpa puede renovarse desde abajo, articulando tradición, innovación y solidaridad para enfrentar los desafíos de la crisis alimentaria, el cambio climático y la desarticulación comunitaria.

LA MILPA, SISTEMA AGROECOLÓGICO, CULTURAL Y POLÍTICO

La milpa no es simplemente una forma de producción agrícola, constituye un sistema que articula conocimientos ancestrales, relaciones sociales, manejo del ecosistema y cosmovisión comunitaria. Se trata de una forma histórica de organización de la vida campesina en Mesoamérica, cuya vigencia hasta el presente, habla de su profunda importancia. Como señalan Castillo López y Torres Carral (2022), la milpa es también un espacio de transmisión intergeneracional de saberes, donde se reproduce la identidad cultural y se sostiene la vida comunitaria desde una lógica campesina. Desde un enfoque político, la milpa debe entenderse como una estrategia de resistencia frente al avance del modelo agroindustrial, una práctica de autonomía territorial y un modo de producción sustentado en el trabajo familiar colectivo, la biodiversidad y el conocimiento campesino.

Bartra (2008), señala que "más que hombres de maíz, los mesoamericanos somos gente de milpa", enfatizando la importancia de este sistema agrícola en la organización socioeconómica y cultural de los pueblos mesoamericanos. La milpa, lejos de ser una mera parcela de cultivo, constituye un complejo sistema agroecológico basado en la diversidad biológica y en una gestión sostenible de los recursos naturales que contribuye al aprovisionamiento de alimentos de las familias milperas. Terán y Rasmussen (2009), explican que este modelo agrícola puede entenderse desde tres niveles: como sistema técnico, productivo y sociocultural. Además, Ku-Pech et al. (2020), destacan que la milpa peninsular, en su diversidad de colores, formas y usos del maíz nativo, constituye una expresión concreta de esta complejidad agroecológica, con un fuerte arraigo territorial y cultural.

A nivel técnico, la milpa se distingue por la siembra simultánea de diversas especies, maximizando el uso del suelo y reduciendo la vulnerabilidad ante plagas y variabilidad climática. Según Terán Contreras (2020), esta lógica responde a una racionalidad compleja que articula conocimiento empírico, biodiversidad funcional y adaptación agroecológica. A nivel productivo, además de la diversificación agrícola, implica la integración de actividades complementarias como la apicultura, la cacería y la cría de especies ganaderas nativas. Finalmente, a nivel sociocultural, la milpa es un eje organizador de la comunidad, definiendo roles de producción, gestión

de recursos y rituales que fortalecen la identidad colectiva. Esto deja ver, como lo señalan Castillo López y Torres Carral (2022), que la milpa, además de ser un productor de alimentos para la familia, es un centro de enseñanza/aprendizaje de los diferentes saberes y prácticas tradicionales que de allí se desprenden.

El cultivo principal de la milpa es el maíz, acompañado de frijol y calabaza, una asociación que no solo optimiza el uso del suelo, sino que mejora la fertilidad y protege contra la erosión. Además, la milpa integra una amplia variedad de especies secundarias como el chile, tomate, yuca y diversas plantas medicinales. Terán y Rasmussen (2009), documentan que en una sola unidad de producción pueden coexistir hasta 32 especies cultivadas y más de 100 variedades, lo cual confirma su relevancia en la conservación de la biodiversidad y la resiliencia agroecológica. A su vez, Ku-Pech et al. (2020), subrayan que los maíces nativos de la Península de Yucatán, con su diversidad de colores y composiciones nutracéuticas, constituyen una expresión concreta de esa riqueza biocultural, muchas veces subvalorada por dinámicas de mercado.

Históricamente, la milpa ha sido la base alimentaria y económica de los pueblos mayas y otros pueblos mesoamericanos. Durante el periodo prehispánico, permitió el desarrollo de sociedades complejas al garantizar la autosuficiencia alimentaria. Sin embargo, en la actualidad, su práctica ha disminuido debido a la expansión del agrocapitalismo, las políticas agrícolas orientadas a monocultivos y el bajo rendimiento que presenta debido a que las y los campesinos deben hacer otras actividades económicas. A pesar de ello, sigue representando un símbolo de identidad cultural (Jouault et al., 2018) y una forma que tienen las familias para complementar su sustento.

La milpa también tiene un fuerte componente ritual y cosmológico y vincula la siembra y la cosecha con ciclos sagrados, expresadas en ceremonias como el Ch'a' Cháak, en la que se pide por lluvias y cosechas abundantes (Batllori Sampedro, 2023). Además, los mitos de origen del maíz, como los narrados en el Popol Vuh, refuerzan la idea de que la milpa no solo es un espacio de producción, sino un lazo espiritual con la tierra y los ancestros (Román Montes de Oca & Licea Reséndiz, 2019).

En términos agroalimentarios, la milpa es fundamental para la soberanía alimentaria de las comunidades rurales. Debido a su variedad de cultivos, la milpa contribuye a satisfacer las necesidades alimentarias de una familia, proporcionando diversidad nutricional y autonomía frente a mercados externos. Asimismo, su manejo, cuándo es sustentable, permite la regeneración del suelo, la conservación de especies nativas y la reducción del impacto ambiental en comparación con sistemas de producción industrial (Santiago Vera et al., 2021).

Por ello, la milpa debe reconocerse como un modelo integral de agricultura regenerativa que articula diversidad biológica, saber local, prácticas rituales y trabajo colectivo. En contextos como el de Kinil, donde la presión del agrocapitalismo debilita la continuidad de las prácticas tradicionales, la milpa no solo sobrevive, se transforma en una estrategia de autonomía campesina, manteniendo su capacidad de sostener la vida desde el territorio.

METODOLOGÍA

El presente estudio se basa en un análisis multidimensional de la experiencia desarrollada en la comunidad maya de Kinil, municipio de Tekax, Yucatán, México, como parte del proyecto Milpa para la Vida implementado por Heifer Internacional México en el cual participaron 22 productores. El estudio se llevó a cabo entre febrero de 2024 y febrero de 2025, y se estructuró como un estudio de caso cualitativo, enfocado en documentar transformaciones agronómicas y organizativas vinculadas a la implementación de tecnologías en la milpa maya.

El área de estudio fue una parcela demostrativa colectiva establecida durante el ciclo primavera-verano 2024, con una superficie de 0.25 hectáreas, la cual se utilizó como parcela demostrativa colectiva, concebida como espacio estratégico para la producción agroecológica, la validación de tecnologías apropiadas y la organización comunitaria.

En esta parcela se implementó un sistema de riego de auxilio por gravedad, compuesto por un geotanque con capacidad de 1300 litros, equipado con un techo de láminas metálicas para la captación de agua de lluvia y un filtro de malla sombra que impide la entrada de residuos, como puede verse en la figura 1. El agua se distribuye a través de tuberías de CPVC con llaves intermedias, lo que permite el riego seccionado y se instalaron cintillas en toda la superficie cultivada, en la figura 2 puede verse el proceso de instalación de las cintillas para el riego en la milpa demostrativa de Kinil. Este sistema es operado directamente por las y los productores bajo un acuerdo colectivo que establece su uso en las etapas críticas del cultivo (germinación, floración y llenado de grano), activándolo cada tres días durante tres horas, siempre que no se haya registrado lluvia el día anterior.

Figura 1.
Geotanque para captación de agua de lluvia con capacidad para 1300 litros instalado en la comunidad de Kinil, Yucatán, México.



Fuente: Fotografía tomada por el equipo técnico del proyecto *Milpa para la Vida*, 2024.

Además, se habilitó una biofábrica comunitaria con dos tambores de 200 litros sellados con cinchos y adaptados con filtros de manguera que permiten la salida de gases

sin ingreso de aire. Esta biofábrica produce bioinsumos para el control de plagas, aplicados mediante bombas aspersoras y biofertilizantes que se distribuyen mediante un sistema Venturi. Los cultivos establecidos en la parcela fueron maíz, frijol y calabaza.

Figura 2.
Productores e Kinil instalando las cintillas de goteo como parte del sistema de riego de auxilio



Fuente: Fotografía tomada por el equipo técnico del proyecto *Milpa para la Vida*, 2024.

A la par del manejo técnico-productivo, la parcela funcionó como núcleo pedagógico y organizativo al desarrollar cinco sesiones de Escuelas de Campo de Agricultores. Estas sesiones se estructuraron en función de las etapas fenológicas de los cultivos, comenzando con el diseño del arreglo topológico y la nutrición del suelo previo a la siembra, seguido por el fortalecimiento nutricional de las plantas durante su fase vegetativa. Posteriormente, se abordaron prácticas de manejo integrado de plagas y enfermedades y, finalmente, se trabajó en la conservación de granos y semillas al cierre del ciclo. Estos espacios promovieron el intercambio de saberes entre campesinas y campesinos, la toma colectiva de decisiones, y el fortalecimiento de capacidades técnicas mediante una metodología práctica y situada. La experiencia consolidó a la parcela no solo como unidad productiva, sino como plataforma de aprendizaje colectivo y construcción de autonomía tecnológica.

Para la recolección de información en la dimensión técnico-productiva, se utilizó una bitácora de producción donde el productor líder registró las actividades de manejo, insumos aplicados y rendimiento estimado. Esta bitácora fue proporcionada por el proyecto Milpa para la Vida y acompañada por el técnico en agriculturas sostenible de la zona sur de Yucatán.

Al finalizar el ciclo, en noviembre de 2024, se realizó una medición directa de las condiciones del suelo mediante instrumentos técnicos, evaluando las siguientes variables: pH, el cual se midió con un medidor de pH de lápiz, conductividad eléctrica (dS/m), la cual se midió con un medidor integrado de CE, porcentaje de humedad, para el cual se utilizó un medidor de humedad y nitratos disponible (ppm) medidos con sensores LAQUAtwin fabricados en Japón por la marca Horiba. Los resultados se compararon con los datos de una parcela testigo bajo manejo convencional que posee las mismas características del suelo y que se encuentra a un costado de la milpa demostrativa.

En la dimensión organizativa, se emplearon técnicas cualitativas como la observación directa durante el desarrollo del ciclo agrícola y un grupo focal aplicado en febrero de 2025, orientado por una guía de preguntas abiertas. Esta herramienta permitió explorar percepciones sobre la toma de decisiones, distribución del trabajo, acuerdos colectivos, cooperación intergeneracional y apropiación de innovaciones tecnológicas.

La metodología permitió combinar evidencia cuantitativa y cualitativa para interpretar los resultados dentro del contexto territorial de Kinil y su proceso de transición agroecológica. Se aplicaron técnicas como la observación participante y la realización de grupos focales con los productores, lo cual permitió identificar prácticas, percepciones y dinámicas organizativas asociadas al cambio de modelo productivo.

En paralelo, se integraron instrumentos cuantitativos, incluyendo una línea base y la medición de rendimientos del ciclo primavera-verano 2024. Para interpretar los resultados productivos, se utilizó como línea base el rendimiento obtenido durante el ciclo primavera-verano 2023, permitiendo establecer una comparación directa. La estimación de la cosecha se realizó conforme al procedimiento técnico del Manual de determinación de rendimiento del CIMMYT, que contempla la obtención de submuestras representativas, el cálculo del contenido de humedad y la conversión a rendimiento seco por hectárea (CIMMYT, 2013).

La transición agroecológica fue evaluada a partir de la incorporación de bioinsumos y la reducción del uso de agroquímicos, considerados como indicadores clave de transformación. Esta estrategia metodológica integral permitió identificar no solo variaciones técnicas, sino también los procesos sociales que acompañan la transición hacia modelos productivos más sostenibles.

LA MILPA DEMOSTRATIVA DE KINIL, ESTUDIO DE CASO

Kinil es una localidad maya ubicada en el municipio de Tekax, Yucatán, México, con una población aproximada de 1,264 habitantes. Se localiza en las coordenadas 20°19′26″ de latitud norte y 89°08′00″ de longitud oeste, a una altitud media de 15 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 25.7 °C y precipitaciones que oscilan entre 1,000 y 1,100 mm al año. El paisaje presenta un relieve predominantemente plano, con suelos de escasa profundidad y alta pedregosidad (tipo rendzina y leptosol), y subsuelo calcáreo con presencia de cenotes. La vegetación original corresponde a selva mediana subcaducifolia, actualmente fragmentada por acahuales y parcelas agrícolas. En este entorno, la comunidad conserva una fuerte vocación agrícola, en la que la práctica de la milpa tradicional constituye una actividad central tanto para el sustento alimentario como para la reproducción cultural. La mayoría de las familias siembran maíz criollo en pequeñas parcelas de temporal, reproduciendo conocimientos ancestrales en torno al uso del suelo, la rotación de cultivos y la conservación de semillas nativas.

En este contexto, Kinil fue seleccionado para formar parte del proyecto “Milpa para la Vida”, una iniciativa impulsada por Heifer Internacional México, con

el financiamiento de Heifer Internacional y la Fundación John Deere. El objetivo principal del proyecto es fortalecer las capacidades locales para incrementar la productividad de la milpa, mejorar los ingresos familiares y fomentar la adopción de prácticas agroecológicas sostenibles. La propuesta se fundamenta en la articulación entre tecnología apropiada, organización comunitaria. Y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, reconociendo el potencial de la milpa como sistema resiliente frente al cambio climático y la inseguridad alimentaria.

LOS PROBLEMAS A LOS QUE SE ENFRENTA LA MILPA EN KINIL

Previo a la implementación del proyecto, las y los productores de Kinil enfrentaban a una serie de limitantes que condicionaban la viabilidad y sostenibilidad de la producción milpera. Entre los principales desafíos se identifican: baja productividad del maíz, falta de acceso a tecnologías hídricas, y escasa organización colectiva para la gestión de la milpa.

En Kinil, como en muchas regiones productoras de maíz, especialmente aquellas que dependen de formas tradicionales de agricultura, la productividad del cultivo se encuentra severamente limitada por su dependencia casi absoluta de las lluvias estacionales. Este patrón de temporalidad genera una alta vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas o lluvias intensas fuera de temporada. Cuando las precipitaciones no ocurren en los momentos críticos del desarrollo del cultivo, como la germinación o la floración, se compromete significativamente el rendimiento de la milpa, afectando la seguridad alimentaria y económica de las familias campesinas.

A esta situación se suma la falta de acceso a tecnologías hídricas adecuadas, como sistemas de captación de agua de lluvia, almacenamiento y distribución para riego y riego auxiliar. La ausencia de estas infraestructuras impide que los y las productoras puedan aplicar riego en los momentos claves del ciclo fenológico del maíz, lo que limitaría el impacto de las sequías y permitiría estabilizar la producción. La falta de estas herramientas no es únicamente un problema técnico, sino que es también el resultado de políticas públicas insuficientes y de una inversión limitada en el fortalecimiento de las capacidades locales.

Por otro lado, la escasa organización colectiva en torno a la gestión de la milpa representa una barrera adicional para el mejoramiento de la productividad. Sin estructuras comunitarias sólidas que permitan la planificación conjunta, el manejo compartido de recursos y la apropiación social de tecnologías, resulta difícil impulsar innovaciones adaptadas al contexto local, sobre todo entre productores que no cuentan con recursos económicos para implementar tecnologías individualmente. La fragmentación organizativa también limita la capacidad de incidencia política y de negociación de los productores ante instancias gubernamentales o proyectos de apoyo externo, lo que perpetúa las condiciones de exclusión y rezago en que se encuentra el campo.

Estas condiciones no solo limitan la productividad y el ingreso de las familias campesinas, sino que también generan desigualdad en el acceso a oportunidades,

desincentivan la participación de las y los jóvenes en las labores agrícolas y profundizan procesos de fragmentación del tejido comunitario. La falta de mecanismos de cooperación limita las posibilidades de construir soluciones colectivas, mientras que la escasez de infraestructura hídrica reducía la capacidad de adaptación frente al cambio climático. En suma, el modelo de milpa tradicional, aún vigente, se encuentra en un punto crítico, amenazado tanto por factores ecológicos como socioeconómicos.

IMPLEMENTACIÓN

La comunidad de Kinil comenzó a trabajar en el proyecto "Milpa para la Vida" durante el ciclo productivo primavera-verano de 2024, mediante el establecimiento de una milpa demostrativa de 0.25 hectáreas. En este espacio se incorporó un sistema de riego de auxilio, como parte de la implementación de tecnologías apropiadas orientadas a fortalecer la capacidad productiva del sistema milpa. Cabe señalar que, de acuerdo con los reportes de las y los productores, en el ciclo primavera-verano de 2022, antes del inicio de la intervención, el rendimiento promedio era de 0.63 toneladas por hectárea[2].

En el marco del proyecto "Milpa para la Vida", una parcela demostrativa es aquella en donde se desarrollan las Escuelas de Campo (ECA) y se implementan prácticas agroecológicas. Es decir, se trata del espacio donde las y los campesinos construyen el conocimiento de forma conjunta, a través de la observación, el intercambio de experiencias y la experimentación en condiciones reales.

Las Escuelas de Campo son una metodología de formación campesina basada en el aprendizaje horizontal, participativo y práctico. A diferencia de los enfoques tradicionales como el extensionismo, las ECA colocan al productor como sujeto activo en la generación de saberes, permitiendo que los conocimientos científicos, técnicos y locales se articulen para resolver problemas concretos del sistema de producción. En este sentido, la parcela demostrativa funciona como aula viva, donde se prueban y ajustan técnicas agroecológicas según las condiciones del territorio, promoviendo la apropiación colectiva del proceso de innovación.

En febrero de 2024, antes del inicio de la temporada de lluvias, se instaló en Kinil un tanque para captación de agua de lluvia con capacidad de 13,000 litros, fabricado con geomembrana de alta resistencia, como parte de un sistema de riego auxiliar para la milpa demostrativa, que para este ciclo se decidió trabajar de forma colectiva. El tanque fue colocado en una zona elevada de la parcela, lo que permitió operar el sistema por gravedad, evitando la necesidad de bombeo y reduciendo los costos energéticos.

El sistema se diseñó estratégicamente. La milpa, con extensión de 0.25 hectáreas, fue dividida en dos secciones con una llave de paso central, lo que permitió regar una sección a la vez, de forma escalonada, garantizando una presión constante

2 Datos recopilados durante la Línea Base del proyecto Milpa para la Vida en mayo del 2022.

y el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico disponible. Esta estrategia aplicada en momentos críticos del desarrollo del maíz, como la emergencia (VE), floración (VT-R1) y llenado de grano en estado lechoso (R3), contribuye a lograr incrementos significativos en el rendimiento del cultivo.

El sistema de riego auxiliar fue implementado durante el primer trimestre del 2024 en una parcela recientemente incorporada a la actividad agrícola, es decir, diferente a la parcela del ciclo productivo 2023. Antes de su instalación, las y los productores acordaron aspectos clave, incluyendo la designación de un productor líder, la organización del trabajo y la ubicación del tanque de captación de agua de lluvia.

Debido a la proximidad geográfica con la comunidad, se seleccionó la parcela de un productor del grupo que accedió a destinar su tierra para el cultivo colectivo sin que esto comprometa su derecho de propiedad. Para formalizar esta decisión, las y los productores firmaron acuerdos de trabajo en los que establecieron el comodato de la tierra por un período de 10 años. Además, se definió la obligación de participar en las actividades o designar un representante en su ausencia, así como la creación de un fondo comunitario para cubrir los gastos de la milpa.

Durante el ciclo productivo primavera-verano del 2024, los productores de Kinil trabajaron en la milpa demostrativa de manera colectiva y, bajo la coordinación del productor líder, organizaron y se dividieron las labores dentro de la milpa. La asignación de tareas se realizó bajo un criterio de equidad intergeneracional. Las actividades que requieren mayor esfuerzo físico, como la limpieza del terreno, la preparación de surcos y la aplicación de enmiendas al suelo, fueron asumidas principalmente por las personas más jóvenes. Por otro lado, las personas adultas mayores asumieron tareas menos exigentes pero de alto valor estratégico, siendo reconocidas como maestros milperos por su experiencia agrícola.

Uno de los cambios más significativos en la dinámica productiva fue la incorporación de una sembradora manual, una innovación relativamente sencilla pero con un impacto relevante en la planificación de la siembra. En sistemas tradicionales de milpa, la densidad de siembra suele ser resultado de la experiencia empírica y la adaptación al entorno, más que de una planificación precisa. El uso de esta herramienta permitió una distribución más homogénea de las semillas, sembrando una planta cada 20 centímetros sobre el surco y con una separación de un metro entre surcos. Esta configuración permitió establecer una densidad de 12,500 plantas de maíz criollo en 0.25 hectáreas lo que, proyectado a una hectárea, representa 50,000 plantas, densidad considerada óptima para sistemas de cultivo intercalado de maíz y leguminosas en la península de Yucatán de acuerdo con lo documentado por Fils Pierre (2022).

Junto con la sembradora, se incorporó también una desbrozadora, que permitió reducir el esfuerzo físico requerido para la limpieza del terreno y la preparación inicial de la parcela. Además, el proyecto dotó a la comunidad del equipamiento necesario para el establecimiento de una biofábrica a pequeña escala, con el propósito de fortalecer el enfoque agroecológico y reducir la dependencia de insumos externos. Este equipamiento incluye dos tambos de 200 litros, dos bombas aspersoras y capacitación

técnica específica para la elaboración de biofertilizantes y otros insumos orgánicos para el control preventivo de plagas, incluyendo la colocación de trampas en la milpa.

ORGANIZACIÓN COMUNITARIA

En los contextos rurales, el liderazgo comunitario y la organización colectiva no pueden comprenderse desde una visión reduccionista ni lineal. Lejos de concebirse como estructuras fijas o meros instrumentos técnicos, ambos deben entenderse como procesos sociales emergentes, profundamente vinculados con la cultura, las relaciones sociales, productivas y las dinámicas históricas de las comunidades. La teoría de la complejidad y los enfoques centrados en la construcción social a partir de las relaciones de producción, ofrecen marcos conceptuales útiles para analizar estas prácticas desde su carácter de sistemas adaptativos complejos y redes de decisiones autorreferenciales.

Desde esta perspectiva, el liderazgo comunitario se constituye como una expresión del capital social acumulado, del reconocimiento mutuo y del compromiso colectivo con el bienestar común. Tal como plantean Rojas Andrade (2013) y Reyes Rojas, Hernández Núñez y González Díaz (2019), es posible distinguir entre el liderazgo por la comunidad, encarnado por referentes legítimos que representan las aspiraciones colectivas y el liderazgo de la comunidad, entendido como la capacidad de influir y transformarse desde la acción colectiva. Ambos niveles coexisten y se refuerzan en procesos organizativos autónomos.

Durante el ciclo primavera-verano de 2024, en la comunidad de Kinil, se desarrolló una experiencia concreta de liderazgo comunitario ligado al trabajo colectivo en una milpa demostrativa. La coordinación del grupo recayó en un productor líder elegido por consenso, cuyo liderazgo fue reconocido por sus compañeros en función de su trayectoria, compromiso comunitario y capacidad de organizar el trabajo de forma justa y eficiente. Este tipo de liderazgo no se impone desde afuera ni responde a una lógica jerárquica tradicional, sino que se legitima socialmente en tanto expresa la voluntad del colectivo y organiza la acción en función de sus necesidades (Rojas Andrade, 2013; Reyes Rojas et al., 2019).

Este liderazgo no sólo articuló tareas y recursos, sino que facilitó espacios de participación, promovió el diálogo y sostuvo una organización interna coherente con los principios de equidad intergeneracional. De este modo, se cumplió una doble función: por un lado, movilizar al grupo hacia la consecución de metas comunes y, por otro, representar al grupo de trabajo ante actores externos, operando como una bisagra entre lo local y lo estructural (Reyes Rojas et al., 2019).

Para comprender esta experiencia en su totalidad, es necesario abordarla también desde una mirada organizacional compleja. Según Pastor y León (2007), las organizaciones deben entenderse como sistemas adaptativos complejos, esto es, redes no lineales de relaciones, autoorganizadas, abiertas al entorno y en constante evolución. Así, un grupo social de trabajo, como el de la milpa en Kinil, se constituye como tal cuando logra estabilizar procesos comunicacionales, definir sus fines,

establecer reglas de pertenencia y construir estructuras flexibles que permitan su reproducción organizativa.

De acuerdo con Sánchez Salinas (2020), los grupos comunitarios se organizan, en muchos casos, a partir de una necesidad colectiva sentida por sus integrantes. Arnold (2008), menciona que las organizaciones no responden pasivamente a estímulos externos, sino que construyen sus propios entornos, decisiones y estructuras internas a través de operaciones comunicativas autorreferenciales. Es decir, no ejecutan reglas impuestas, sino que producen sus propios marcos de interpretación, definen sus roles y delimitan lo que consideran relevante. Las organizaciones se constituyen por decisiones y subsisten mientras son capaces de seguir decidiendo.

En el caso de Kinil, esta dinámica se expresó claramente en la forma en que el grupo definió la distribución de las tareas. Las labores que requerían mayor esfuerzo físico, como la limpieza del terreno, la formación de surcos y la aplicación de enmiendas al suelo, fueron asumidas principalmente por los integrantes más jóvenes del colectivo. Por su parte, las personas adultas mayores se encargaron de funciones vinculadas a la logística, la orientación técnica y la supervisión del trabajo. Esta división funcional no fue establecida por jerarquías rígidas ni normas externas, sino que emergió del consenso, la experiencia acumulada y la lógica interna de la organización campesina. En este sentido, la distribución del trabajo no respondió únicamente a criterios de eficiencia productiva, sino también a una ética comunitaria basada en la reciprocidad, el respeto intergeneracional y la pedagogía práctica (Pastor & León, 2007).

Como afirman Rodríguez Pizarro y Bermúdez Peña (2013), este tipo de experiencias organizativas no se explican por modelos racionales-instrumentales, sino que deben ser comprendidas como: formas de hacer comprendiendo, donde la acción se entrelaza con el aprendizaje colectivo, el compromiso emocional y el sentido de pertenencia. La organización se convierte así en un espacio de construcción colectiva y de transformación social.

El caso de la milpa en Kinil muestra que el liderazgo comunitario y la organización campesina no son dimensiones separadas, sino que se coproducen en la práctica. El liderazgo surge de la organización, y la organización se sustenta en liderazgos legítimos que operan como facilitadores del proceso colectivo. Esta experiencia representa una forma de autogestión territorial que articula saberes locales, trabajo colaborativo, estructuras flexibles y relaciones horizontales capaces de sostenerse y adaptarse en medio de la incertidumbre.

Siguiendo lo planteado por Durston y López (2006), el capital social se construye a través del aprendizaje experiencial y la práctica de formas de trabajo colaborativo dentro de un grupo. En este caso, la interacción constante entre adultos jóvenes y adultos mayores permite que el conocimiento milpero no solo se conserve, sino que se enriquezca con nuevas prácticas adaptadas a las condiciones actuales del cultivo.

Este proceso de transmisión intergeneracional fortalece las relaciones comunitarias y fomenta la confianza mutua, elementos esenciales del capital social. Además,

al basarse en la cooperación y el reconocimiento de saberes, se refuerzan los lazos de solidaridad entre las y los productores, lo que a su vez incide en una mayor estabilidad del grupo de trabajo y en la sostenibilidad del sistema de producción.

La forma en que se organizan las tareas dentro del sistema milpero tiene implicaciones directas tanto en la eficiencia productiva como en la cohesión social del grupo. La distribución del trabajo basada en criterios de capacidad y conocimiento no sólo asegura la participación equitativa de todos los miembros, sin excluir a ningún sector de la comunidad, sino que también permite la transmisión de saberes tradicionales, garantizando así la continuidad de las prácticas agrícolas locales. Esta organización fortalece el sentido de pertenencia y responsabilidad colectiva entre los productores, lo que mejora significativamente la autogestión de la milpa. Además, propicia la construcción de mecanismos de solidaridad y cooperación, indispensables para enfrentar de manera conjunta desafíos como la escasez de recursos o los efectos del cambio climático sobre la producción.

La organización del trabajo en esta experiencia no solo responde a la lógica de eficiencia productiva, sino que también actúa como un mecanismo de cohesión social que fortalece la identidad comunitaria y el capital social. A través del reconocimiento de los saberes tradicionales y la distribución equitativa de las tareas, las y los productores han logrado generar un sistema de trabajo colaborativo que integra las fortalezas de cada par.

La estructura organizativa establecida por las y los productores no solo permitió la distribución equitativa del trabajo, sino que también generó las condiciones necesarias para la incorporación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente y la adopción de tecnologías que optimizan la producción agrícola, en el que los conocimientos tradicionales se articulan con nuevas herramientas y estrategias que buscan hacer más eficiente el sistema productivo sin perder su base agroecológica.

INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS

Figura 3.
Productor Germán Echeverría utilizando la sembradora manual, para sembrar en hileras



Fuente: Fotografía tomada por el equipo técnico del proyecto *Milpa para la Vida*, 2024.

El uso de la sembradora manual permitió una distribución más homogénea de las semillas, lo cual no solo contribuyó a alcanzar una densidad óptima de siembra, sino que simplificó considerablemente la ejecución del trabajo, permitiendo que se llevara a cabo con mayor rapidez y menor esfuerzo físico. Al mismo tiempo, esta herramienta no comprime el suelo como lo puede hacer la maquinaria pesada. En la figura 3 puede verse la forma en que se utiliza la sembradora manual.

El incremento sustancial en el rendimiento del maíz en la milpa demostrativa de Kinil, alcanzando 1.500 kilogramos en una superficie de 0,25 hectáreas, equivalente a 6 toneladas por hectárea[3], no solo representa una mejora en la productividad agrícola, sino que revela un proceso de transformación en la organización del trabajo y en la relación de los productores con los medios de producción. Este resultado no es un fenómeno aislado, sino la expresión de una convergencia de factores productivos, tecnológicos y sociales que han reconfigurado la dinámica de producción dentro de la milpa.

El factor material determinante ha sido la incorporación de infraestructura hídrica mediante el sistema de riego auxiliar, lo que permitió superar la dependencia absoluta de las lluvias, una de las principales limitantes en la agricultura de temporal. Este cambio ha permitido un mayor control sobre el proceso productivo, garantizando la aplicación de agua en los momentos fenológicos críticos del maíz y optimizando su desarrollo. La transición desde un modelo de subsistencia dependiente de la variabilidad climática hacia un modelo con mayor capacidad de regulación sobre sus insumos representa un avance en la autonomía productiva de los agricultores y una reducción de la vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático.

No solo se incrementó el rendimiento de maíz, sino que el geotanque permitió ampliar el calendario agrícola, ya que, al concluir el ciclo principal, se sembraron cultivos complementarios como tomate, xpelón, lechuga y 0.04 hectáreas de maíz de ciclo corto, favoreciendo la diversificación productiva, la soberanía alimentaria y el uso eficiente del suelo y del agua.

Sin embargo, la infraestructura material por sí sola no explica completamente el éxito del proyecto. El fortalecimiento del capital social ha jugado un papel central en la consolidación de un esquema organizativo basado en la cooperación y la gestión colectiva de los recursos. La organización comunitaria ha permitido repartir las tareas productivas de manera más eficiente, reduciendo la carga de trabajo individual y permitiendo una especialización progresiva en función del conocimiento y las capacidades de cada productor. Esta organización colectiva, más que una simple redistribución de funciones, implica una reconfiguración de las relaciones sociales de producción, donde el trabajo ya no se organiza exclusivamente en función de la propiedad individual de la tierra, sino en torno a un modelo de gestión compartida que optimiza el uso de los medios de producción y multiplica los beneficios colectivos.

3 Datos recopilados a través del instrumento de estimación de cosecha del sistema de monitoreo y evaluación del proyecto Milpa para la vida en febrero del 2025

La experiencia de Kinil demuestra que la implementación de tecnologías productivas no solo impacta la cantidad de producción, sino que también abre la posibilidad de modificar la estructura productiva local, planteando nuevas estrategias como la rotación con hortalizas y la diversificación de cultivos. Esto no solo responde a una lógica de maximización del rendimiento, sino que introduce una nueva racionalidad productiva basada en la sustentabilidad y la soberanía alimentaria trabajada de manera colectiva, diferenciándose de la lógica de monocultivo impuesta por el agrocapitalismo.

Lo ocurrido en Kinil es un ejemplo de cómo las fuerzas productivas (tecnologías, conocimiento agrícola, infraestructura hídrica) y las relaciones de producción (colaboración, distribución del trabajo, gestión de recursos) interactúan dialécticamente para transformar la base económica de la comunidad.

LAS PRÁCTICAS DE AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTES Y EL DESGASTE DEL SUELO

En la milpa demostrativa de Kinil, Yucatán, se implementaron diversas prácticas de agricultura climáticamente inteligente con el objetivo de mejorar la producción agrícola y fortalecer la sostenibilidad ambiental. Estas estrategias incluyen:

- Arreglo topológico, optimizando la distribución espacial de los cultivos.
- Diversificación, asociación e intercalado de cultivo, fomentando la resiliencia del agroecosistema.
- Labranza de conservación, reduciendo la erosión del suelo y mejorando su estructura.
- Manejo agroecológico de arvenses, minimizando la competencia de malezas sin recurrir a agroquímicos.
- Manejo integrado de plagas, utilizando estrategias biológicas y culturales para su control.
- Uso de biofertilizantes, como biofertilizante líquido fermentado enriquecido (supermagro) y biofertilizante activado con Microorganismos de Montaña, promoviendo la fertilidad natural del suelo.
- Incorporación de variedades nativas, asegurando la conservación de la biodiversidad y la adaptación a condiciones locales.
- Captación de agua, mejorando la eficiencia en el uso del recurso hídrico.

Estas ocho prácticas, impulsadas mediante el acompañamiento técnico, no solo buscan optimizar el rendimiento productivo, sino también consolidar un modelo agrícola sustentable que contribuya a la conservación del medio ambiente. Las prácticas se enseñaron de manera teórico-práctica para que las y los productores pudieran asimilar el conocimiento. En la figura 4 se muestra a las y los productores realizando biofertilizante supermagro.

Para analizar la eficiencia de las Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligentes reflejada en la calidad edáfica, se realizó un análisis comparativo en la parcela

demostrativa de Kinil, donde se implementaron prácticas de agricultura regenerativa y su contraparte, manejada de manera convencional, es decir, con agroquímicos. El análisis de suelo se inició con la recolección de cinco kilogramos de tierra por parcela, utilizando la técnica conocida como "cinco de oro". Las muestras fueron trasladadas a la oficina regional de Heifer Internacional México, donde se procedió a mezclar los cinco kilogramos de cada parcela hasta obtener una muestra única representativa por unidad de análisis. Posteriormente, esta muestra fue homogeneizada con agua destilada y evaluada mediante sensores específicos de medición, con el fin de determinar parámetros clave de calidad edáfica. Ambos suelos fueron clasificados como luvisoles, identificándose las siguientes diferencias:

Figura 4.
Productores preparando supermagro.



Fuente: Fotografía tomada por el equipo técnico del proyecto *Milpa para la Vida*, 2024.

Cuadro 1.
Análisis del suelo, comparación de resultado en la milpa demostrativa y la milpa testigo en Kinil, Yucatán, México.

Tipo de Milpa	pH	CE (dS/m)	Humedad (%)	Nitratos (ppm)
Demostrativa	7.1	0,91	0.36	27
Convencional	7.5	0.7	0.29	17

Fuente: Datos recopilados por el equipo de Heifer Internacional México.

En la parcela con prácticas climáticamente inteligentes, el pH registrado fue de 7.1, un valor que se encuentra dentro del intervalo óptimo para la mayoría de los suelos agrícolas, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos en la región. En contraste, la parcela con manejo convencional presenta un pH de 7.5, lo que supera el rango ideal de 6 a 7 y puede restringir la absorción de nutrientes, afectando negativamente la productividad del cultivo.

La conductividad eléctrica, parámetro que refleja la concentración de sales en el suelo y su influencia en la absorción de agua y nutrientes, presentó una diferencia

superior a 0,2 dS/m entre ambas parcelas. Aunque ambos valores permanecen por debajo del umbral crítico de 1.7 dS/m para el cultivo de maíz, se obtuvo una reducción más pronunciada en la parcela manejada con agroquímicos, lo que puede afectar la dinámica de intercambio iónico en la rizosfera.

En cuanto a la retención de humedad, la parcela agroecológica con riego auxiliar mostró una capacidad de retención del 36%, mientras que la parcela convencional retuvo solo el 29% de la humedad. Esto sugiere que el manejo agroecológico, principalmente el uso de coberturas y acolchados y el riego auxiliar optimizan la disponibilidad hídrica para los cultivos, reduciendo la vulnerabilidad ante períodos de estrés hídrico.

Además, la concentración de nitratos disponibles en el suelo era 10 ppm superior en la parcela demostrativa (27 ppm) en comparación con la parcela convencional (17 ppm. Este resultado indica que, a pesar del mismo tiempo de manejo en ambas parcelas, el desgaste de nutrientes en la milpa convencional es mayor, lo que podría comprometer la sostenibilidad del suelo a mediano y largo plazo.

Figura 5.
Milpa demostrativa de Kinil, Yucatán, México.



Fuente: Fotografía tomada por el equipo técnico del proyecto *Milpa para la Vida*, 2024.

Los resultados del análisis comparativo entre la milpa demostrativa y la milpa convencional en Kinil, Yucatán, sugieren que hay un impacto positivo de las prácticas de agricultura climáticamente inteligentes en la conservación y mejora de la calidad del suelo. A través de la implementación de estrategias como la labranza de conservación, el manejo agroecológico de arvenses y el uso de biofertilizantes, se lograron condiciones edáficas más favorables para el desarrollo agrícola sostenible.

Los parámetros evaluados reflejan que la milpa manejada bajo un enfoque agroecológico mantiene un pH óptimo, una mayor retención de humedad y una mayor concentración de nitratos disponibles en comparación con la milpa convencional, lo que favorece el crecimiento de los cultivos y reduce la dependencia de insumos externos. Asimismo, la conductividad eléctrica del suelo, aunque dentro de los rangos adecuados en ambos casos, mostró una mejor estabilidad en la parcela agroecológica, lo que sugiere un equilibrio más eficiente en la absorción de nutrientes y agua por parte de los cultivos.

Estos hallazgos resaltan la importancia de adoptar un manejo agrícola regenerativo, capaz de contrarrestar el desgaste del suelo generado por el uso prolongado de agroquímicos y las prácticas intensivas. La evidencia sugiere que las PCI no solo optimizan la productividad de la milpa a corto plazo, sino que también contribuyen a la sostenibilidad del ecosistema agrícola al preservar la fertilidad del suelo, mejorar su estructura y promover la resiliencia hídrica.

CONCLUSIONES

La transformación de las relaciones de producción en Kinil, al pasar de formas individualizadas hacia el trabajo colectivo, permitió una gestión más racional de la fuerza de trabajo, la tierra y los recursos disponibles. La organización en colectivo no solo aumentó la eficiencia en espacios reducidos de tierra, sino que rompió con el aislamiento del pequeño productor, facilitando una distribución más equitativa de las tareas y de los beneficios del trabajo.

La introducción de tecnologías apropiadas, como el riego de auxilio, sembradoras manuales, captación de agua, biofábricas, operó como un salto en el desarrollo de las fuerzas productivas. Lejos de reproducir la lógica del capital, estas herramientas se insertan en una racionalidad técnica al servicio de la reproducción social, permitiendo una mayor productividad sin dependencia de insumos agroindustriales. Con ello, se redujo la subordinación al mercado externo y se abrió la posibilidad de una autosuficiencia alimentaria real, basada en el control directo de los medios de producción por parte de los propios productores.

El problema del campo no radica en un abandono abstracto ni en la supuesta falta de vocación productiva de las comunidades campesinas, sino en las condiciones de baja rentabilidad impuestas por un modelo económico que margina a la agricultura no capitalista. Las experiencias de trabajo colectivo y tecnificación agroecológica, como en Kinil, demuestran que la baja productividad es una condición históricamente determinada y, por tanto, transformable. La colectivización del trabajo, acompañada de innovaciones técnicas de bajo costo, hace posible revertir estas condiciones y dotar al campesinado de medios efectivos para sostener su material de reproducción sin depender del mercado global.

El uso compartido de la tierra no solo mejora el rendimiento, sino que también permite una gestión territorial más racional. Al evitar la expansión desordenada de la frontera agrícola, se preservan superficies de monte, se reduce la presión sobre los ecosistemas locales y se consolidan espacios de producción ordenados, compatibles con la conservación ambiental. La organización espacial del trabajo agrícola, pensada colectivamente, permite armonizar la producción con el equilibrio ecológico.

La milpa, como sistema agroalimentario tradicional, encierra una complejidad biológica, técnica y cultural que ha garantizado la supervivencia de las comunidades mayas durante siglos. No se trata de una reliquia, sino de un modelo agrícola funcional y adaptativo. La tecnificación y colectivización de la milpa, si se implementan de forma proporcional al tamaño de la población y respetando la lógica del

policultivo, pueden fortalecer la soberanía alimentaria, reducir la dependencia de importaciones y disputar en los hechos el discurso que presenta a la agroindustria como única vía de desarrollo.

En Kinil, la articulación de tecnología, conocimiento campesino y cooperación colectiva permitieron aumentar la productividad. La rotación con hortalizas, la diversificación productiva y la introducción de infraestructura hídrica mostraron que es posible modificar la estructura productiva local sin cambiar al monocultivo. No se trata de maximizar el rendimiento a cualquier costo, sino de construir una racionalidad productiva orientada a la sustentabilidad, la autosuficiencia y la reproducción de la vida. Esta orientación choca frontalmente con la lógica de acumulación que rige el modelo agroexportador.

Las fuerzas productivas y las relaciones de producción se transforman simultáneamente. En Kinil, las herramientas, los conocimientos, los recursos naturales y las infraestructuras se articularon con nuevas formas de organización del trabajo, redistribución de funciones y toma de decisiones. Esta interacción dialéctica generó una nueva base material, sobre la cual se reconfiguraron también las relaciones sociales: surgieron liderazgos rotativos, mecanismos colectivos de planificación y una conciencia productiva orientada al bien común.

La experiencia de Kinil demuestra que la mejora en los rendimientos no es un fin en sí mismo, sino un medio para fortalecer la autonomía local. El control sobre los medios de producción, la cooperación comunitaria y el acceso equitativo a los recursos permiten a los campesinos enfrentar con mayor solidez las crisis alimentarias y climáticas. La viabilidad de este modelo dependerá de su capacidad para resistir las presiones del capital, consolidar su organización interna y expandirse territorialmente sin perder su carácter comunitario.

Donde antes reinaba la fragmentación, ahora hay colectividad; donde había dependencia, comienza a emerger soberanía; donde la lógica del capital impuso monocultivo, comienza a desarrollarse una racionalidad agroecológica integral. La lucha por el campo no es simbólica: es una lucha por el control de las condiciones materiales de la vida.

REFERENCIAS

Arnold, M. (2008). Las organizaciones desde la teoría de los sistemas sociopoiéticos. *Cinta de Moebio*, (32), 90–108.

Bartra, A. (2008). Hacer milpa. *Ciencias,* 92-93, 42-45.

Batllori Sampedro, E.A. (2023). La práctica biocultural de la milpa maya y los derechos humanos en Yucatán. *Revista Latinoamericana de Derechos Humanos,* 34(2).

Boege, E. (2022). El sistema milpa y el patrimonio biocultural de los pueblos indígenas y comunidades campesinas equiparables de México. En C. Méndez Domínguez (Coord.), *El sistema milpa y el patrimonio biocultural de los pueblos indígenas y comunidades campesinas* (pp. 173–195). Secretaría de Cultura-INAH.

Castillo López, S. y Torres Carral, G. A. (2022). Milpa y saberes mayas en San Sebastián Yaxché, Peto, Yucatán. *Estudios de Cultura Maya*, LIX, 171–189.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (2013). *Manual de determinación de rendimiento*. MasAgro, SAGARPA, CIMMYT. ISBN 978-607-95844-7-4.

Durston, J. y López, E. (2006). Capital social y gestión participativa en la cuenca de Pátzcuaro. *Revista de la CEPAL*, 90, 105-128.

Fils Pierre, J. (2022, 10 de noviembre). *Incrementar directrices para el rendimiento de grano en sistemas de cultivos asociados.* Desde el Herbario CICY, 14, 241–245. Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC.

Jouault, S., Enseñat-Soberanis, F., & Balladares-Soberano, C. (2018). La milpa maya en Yucatán: ¿una transición entre la patrimonialización y la turistificación? *Gremio, 5*(10), 9-16.

Katz, D. y Kahn, R. (1981). *Psicología social de las organizaciones*. McGraw-Hill.

Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Simá-Gómez, J. L., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., & Latournerie-Moreno, L. (2020). Los maíces nativos de la Península de Yucatán: la maravilla en sus colores. *Desde el Herbario* CICY, 12, 74–79.

Mijangos-Cortés, J. O., Simá-Gómez, J. L., & Ku-Pech, E. M. (2019). Revalorizando a la milpa maya en Yucatán: incremento de la capacidad productiva. *Desde el Herbario CICY*, 11, 180–184.

Montesillo-Cedillo, J.L. (2016). Rendimiento por hectárea del maíz grano en México: distritos de riego vs temporal. *Economía Informa*, 398, 60-74.

Pastor, J., & León García-Izquierdo, A. (2007). Complejidad y psicología social de las organizaciones. *Psicotema,* 19(2), 212–217. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72719205

Reyes Rojas, GE, Hernández Núñez, OG, & González Díaz, F. (2019). Liderazgo comunitario y su influencia en la sociedad como mejora del entorno rural. *Revista INNOVA ITFIP*, 5(1), 15–27.

Rodríguez Pizarro, AN, & Bermúdez Peña, C. (2013). *Intervención social y organizaciones comunitarias/populares en Cali.* Universidad del Valle, Programa Editorial.

Rojas Andrade, R. (2013). El liderazgo comunitario y su importancia en la intervención comunitaria. *Psicología para América Latina*, 25, 57–76.

Román Montes de Oca, E., & Licea Reséndiz, J.E. (2019). La milpa como símbolo de identidad. *Inventio*, 19(1), 19-24.

Sánchez Cano, J.E. (2014). La política agrícola en México, impactos y retos. *Revista Mexicana de Agronegocios,* 35, 946-956.

Sánchez Salinas, R. (2020). *Las políticas culturales y su rol en la definición de elementos identitarios en organizaciones comunitarias: el caso de Chacras para Todos en la provincia de Mendoza (Argentina).* Cuadernos de CENDES, 37(116), 182–206.

Santiago Vera, T., Rosset, PM, Saldívar Moreno, A., Méndez, VE y Ferguson, BG. (2021). La milpa: sistema de resiliencia campesina. Estudio de dos organizaciones campesinas en Chiapas. *Región y Sociedad*, 33, e1432.

Terán, S. y Rasmussen, C. (2009). *La milpa de los mayas: La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noroeste de Yucatán*. UNAM-Universidad de Oriente.

Terán Contreras, S. (2020). Milpa, biodiversidad y diversidad cultural. *En Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán* (págs. 54-56).









CAPÍTULO XV

LA IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN DE CLÚSTERES INDUSTRIALES Y DEL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS: LA EXPERIENCIA DE EL SALVADOR

Sadao Takahashi[1]

INTRODUCCIÓN

La agricultura de América Latina, en particular de Centroamérica, ha sido durante décadas la base de la economía nacional y de las sociedades rurales gracias a abundantes recursos naturales y condiciones climáticas favorables. Sin embargo, el avance de la urbanización, la intensificación de la competencia en mercados globales, el éxodo poblacional desde zonas rurales y el envejecimiento de la mano de obra agrícola han debilitado la importancia de la agricultura tradicional. En El Salvador, la participación de la agricultura en el PIB de 2023 es apenas del 4.6%, y la tasa de autosuficiencia alimentaria se sitúa en un bajo 43%, lo que evidencia la gravedad de la dependencia de importaciones y la necesidad urgente de transformar la estructura productiva (FAO, 2022; Banco Mundial, 2023).

Históricamente, El Salvador se desarrolló con base en la producción de materias primas de exportación. Desde la época colonial hasta el siglo XIX, el añil (*Indigofera suffruticosa*) fue el principal producto de exportación; en el siglo XX, el café (*Coffea arabica*) sostuvo las finanzas del país. No obstante, las fluctuaciones del mercado internacional y reformas agrarias internas provocaron la decadencia de productos tradicionales como el bálsamo (*Myroxylon balsamum*), el algodón (*Gossypium hirsutum*) y la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

1 Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Experto asignado en El Salvador, Asesor Principal del Proyecto para Fortalecer la Cadena de Valor de Cultivos Agroindustriales en El Salvador (Proyecto CREVAS).

Ante este panorama, para reconvertir la agricultura salvadoreña en una industria atractiva también para las nuevas generaciones, no basta con mantener la producción tradicional; es indispensable fomentar el aumento de valor agregado mediante el impulso de cadenas de valor (VC) y la formación de clústeres industriales agrícolas. Asimismo, para materializar este cambio se requiere fortalecer la formación de talento humano y cultivar una renovada mentalidad emprendedora que actúe como motor del proceso.

En este capítulo se examinan la situación actual y los desafíos del sector agroindustrial en El Salvador y la región centroamericana y se discute el significado y las perspectivas de las iniciativas de clusterización industrial y capacitación de recursos humanos. En particular, se analiza el caso del proyecto de cooperación técnica de JICA (Japan International Cooperation Agency) mediante el Proyecto para Fortalecer la Cadena de Valor de Cultivos Agroindustriales (Proyecto CREVAS) "Creando Valor Agregado para El Salvador", implementado desde agosto de 2021 en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, para evaluar cómo el enfoque de plataforma empleado promueve la creación de mercados y el apoyo a emprendedores, contribuyendo al crecimiento de las industrias locales. A través de este estudio, se ilustrará de qué manera una plataforma colaborativa puede acelerar la innovación y el desarrollo empresarial en la agroindustria y cómo ello incide en la competitividad regional.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA AGROINDUSTRIA EN CENTROAMÉRICA

La región centroamericana, por sus características geográficas y climáticas, tiene el potencial de producir una gran diversidad de productos agropecuarios. Sin embargo, en países como El Salvador, Honduras y Guatemala, a pesar de la alta dependencia histórica de la agricultura tradicional, los cambios recientes en la estructura económica han puesto de manifiesto la necesidad de mejorar la productividad y fortalecer la competitividad del sector agrícola. En El Salvador, la tendencia decreciente de la proporción de la agricultura en el PIB evidencia la disminución de la contribución económica del sector año tras año, mientras que la baja autosuficiencia alimentaria refleja una dependencia preocupante de las importaciones (Banco Mundial, 2023).

Paralelamente, las zonas rurales enfrentan disminución poblacional y envejecimiento, ya que muchos jóvenes migran hacia áreas urbanas o al extranjero y abandonan las actividades agrícolas. Esta situación no solo debilita la base económica rural, sino que también pone en riesgo la transmisión del conocimiento y las técnicas tradicionales de cultivo de generación en generación. Datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2022) y un informe del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (IFAD, 2021) señalan la escasez de mano de obra rural y el rezago en infraestructura agrícola en la región, indicando que un cambio de políticas agrícolas es impostergable para revertir estas tendencias.

PERSPECTIVAS Y DESAFÍOS DEL DESARROLLO INDUSTRIAL

Para revitalizar la industria agrícola en Centroamérica —y en especial para hacer del agro un sector atractivo para la juventud— se requiere un cambio de paradigma: es preciso pasar de un enfoque centrado en la producción primaria a otro orientado a la creación de valor agregado. Esto implica fomentar las cadenas de valor (VC) y la formación de clústeres industriales que integren las etapas de procesamiento, distribución y comercialización de los productos agrícolas, estableciendo mecanismos de apoyo a lo largo de toda la cadena. La conformación de un sistema integral que abarque desde la producción hasta la venta final es clave para fortalecer la competitividad en el mercado internacional y aprovechar las oportunidades comerciales.

LA CLUSTERIZACIÓN INDUSTRIAL Y EL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

Un clúster industrial se define como: la concentración geográfica de empresas de una misma industria o industrias relacionadas, junto con instituciones de investigación, educativas y gubernamentales, que compiten y cooperan entre sí mientras crecen de forma conjunta (Porter, 1998). Un clúster no es una mera aglomeración física, sino un ecosistema en el que la colaboración e interconexión entre empresas e instituciones propician el intercambio de conocimientos, la innovación tecnológica y, en última instancia, la mejora de la competitividad. Porter (1998), describe desde la perspectiva de la ventaja competitiva, cómo los clústeres industriales contribuyen a elevar la competitividad empresarial, revitalizar las economías regionales y generar nuevos mercados.

Concretamente, la formación de un clúster industrial puede proporcionar, los siguientes beneficios:

1. Intercambio de conocimientos e innovación tecnológica (Krugman, 1991)
2. Reducción de costos y mejora de la eficiencia (Marshall, 1920)
3. Incremento de la competitividad y creación de nuevos mercados (Porter, 1998)
4. Formación de recursos humanos y generación de empleo (vinculado a la dinamización de la economía local) (Schultz, 1961)
5. Emergencia de nuevos negocios y fomento del emprendimiento

Por otra parte, la formación de capital humano es indispensable para el desarrollo sostenible de un clúster industrial. Según Schultz (1961), la inversión en la educación y capacitación de las personas es uno de los principales motores del crecimiento económico; esto cobra especial relevancia en los países en desarrollo, donde la oferta de educación y entrenamiento técnico tiene un impacto directo en el progreso industrial. En este capítulo se examinan en detalle las iniciativas de formación de recursos humanos en El Salvador y sus efectos en la transformación del sector agrícola.

INICIATIVA DEL PROYECTO PARA FORTALECER LA CADENA DE VALOR DE CULTIVOS AGROINDUSTRIALES (PROYECTO CREVAS)

En El Salvador, el Proyecto CREVAS "Creando Valor Agregado para El Salvador", actualmente en ejecución, busca impulsar las cadenas de valor de ciertos cultivos agroindustriales mediante la conformación de una plataforma que congrega a productores, procesadores, comercializadores, instituciones de investigación y otros actores relevantes. El proyecto sigue un proceso estructurado de formación de clúster a través de la plataforma, compuesto por las siguientes etapas (Cuadro 1):

Cuadro 1.
Enfoque de formación de la Plataforma.

Etapa	Contenido específico
1. Selección de productos agrícolas objetivo	Considerando cuatro elementos —impacto económico, impacto social, carga ambiental y adecuación institucional—, se seleccionan cultivos que permitan un desarrollo sostenible. Se utiliza el análisis FODA para evaluar la potencialidad de mercado y la capacidad de producción de los agricultores (Figura 1).
2. Mapeo de la cadena de valor (VC Mapping)	Se identifican los principales actores (productores, procesadores, distribuidores, consumidores) de cada producto agrícola seleccionado y se organiza el flujo desde la producción hasta el mercado, aclarando los cuellos de botella y los puntos de mejora.
3. Establecimiento de grupos focales	Se conforman pequeños equipos especializados (pequeñas plataformas) que aborden problemas específicos como la mejora de calidad y el fortalecimiento de redes de distribución (figura 2). Por ejemplo, se realizan capacitaciones para mejorar la técnica de fermentación dirigida a productores de cacao, promoviendo la producción de cacao fino de aroma (figura 3).
4. Expansión de la plataforma	Los resultados obtenidos por los grupos focales se comparten con otros productores e instituciones relacionadas, ampliando así la participación. A través del fortalecimiento de redes industriales y la acumulación de conocimientos y técnicas, se aspira a formar un amplio clúster industrial (figura 4).

Fuente: Elaboración propia a partir del Proyecto CREVAS.

Figura 1.
Realización del análisis FODA para los posibles rubros a trabajar en el proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.
Establecimiento de grupos focales con productores, comercializadores y exportadores.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.
Capacitaciones para mejorar la técnica de fermentación dirigida a productores de cacao.





Fuente: elaboración propia.

Figura 4.
Reunión con la Dirección General de Comercio Agropecuario del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, explicando los resultados de los grupos focales.



Fuente: elaboración propia.

Mediante este enfoque, el proyecto busca no solo promover la agricultura sino desarrollar una industria regional sostenible. La plataforma creada actúa como núcleo de coordinación, integrando a los participantes alrededor de un objetivo común. A diferencia de iniciativas agrícolas aisladas, se pretende construir un ecosistema en el cual las mejoras en productividad, calidad y comercialización ocurran de forma concertada entre todos los actores de la cadena.

El proyecto CREVAS trabaja con diversos productos agrícolas objetivo, definiendo para cada uno un mercado meta claro y una estrategia de plataforma adecuada a sus características. En el Cuadro 2 se resumen las iniciativas diferenciadas por producto, que ilustran cómo se ajustan las estrategias a las particularidades de cada rubro:

Cuadro 2.
Iniciativas por producto objetivo en el Proyecto CREVAS.

Producto objetivo	Contenido de la intervención	Logros	Desafíos
Ajonjolí (*Sesamum indicum L.*)	Mejoramiento de variedades locales (11 generaciones), registro de semillas certificadas	Aumento de productividad, mejora de la competitividad en el mercado	Acelerar el proceso de registro de semillas certificadas
Loroco (*Fernaldia pandurata*)	Expansión del mercado nacional, promoción de exportaciones	Formación de nuevos emprendedores, desarrollo de productos	Revisión de las exportaciones a EE.UU., apertura de nuevos mercados
Cacao (*Theobroma cacao L.*)	Producción estable de cacao fino de aroma de alta calidad, exportación	Ingreso a los mercados de Japón y Francia	Estabilizar la calidad a un nivel elevado
Bálsamo (*Myroxylon balsamum*)	Conservación de técnicas tradicionales y recursos naturales, vinculación con el sector turístico	Conservación de recursos naturales, diversificación industrial	Considerar el registro como Patrimonio Cultural y Natural de la UNESCO
Vainilla (*Vanilla planifolia*)	Mejora de la técnica de curado, fortalecimiento de la producción de plántulas	Aumento de productores, mejora de la técnica de curado	Desarrollo de mercados nacionales e internacionales
Abejas sin aguijón (*Meliponinae spp.*)	Promoción de la meliponicultura y conservación ambiental	Conservación de ecosistemas, modelo de ingresos sostenibles	Asegurar producción y calidad estables

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Proyecto CREVAS (Universidad de El Salvador/JICA).

Como se observa en el cuadro anterior, para cada cultivo el proyecto identifica nichos de mercado específicos (ya sea local, regional o internacional) y despliega una estrategia de plataforma acorde. Por ejemplo, en productos con potencial de exportación como cacao o miel melipona, las acciones se orientan a cumplir estándares de calidad internacionales y certificar los productos; en otros de consumo interno, como ajonjolí

y loroco, se busca agregar valor mediante la agroindustria local y sustituir importaciones. En todos los casos, la capacitación de productores en técnicas de procesamiento y comercialización constituye un pilar fundamental de la intervención.

IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN DE LA PLATAFORMA.

Antes de impulsar la clusterización industrial, es imprescindible establecer una plataforma de colaboración que permita la coordinación entre todos los actores involucrados. Esta plataforma funciona como una base donde confluyen diversas partes interesadas —gobierno, instituciones de investigación, cooperativas de agricultores, agroindustriales, inversionistas en apoyo emprendedor e incluso organismos internacionales— para compartir información, brindar asistencia técnica y articular financiamiento de manera conjunta. Al contar con una plataforma bien estructurada, los diferentes participantes refuerzan su alineación hacia objetivos comunes, lo cual sienta las bases para la formación efectiva de clústeres industriales. En otras palabras, la plataforma no es solo un espacio de diálogo, sino un mecanismo operativo que facilita la puesta en marcha de proyectos piloto, la realización de capacitaciones técnicas, el apoyo en mercadeo y otras acciones concretas de colaboración. De este modo, la plataforma crea las condiciones para que un clúster pueda emerger y consolidarse. En el marco del proyecto CREVAS, las funciones principales de dicha plataforma se resumen en el Cuadro 3.

Cuadro 3.
Funciones y roles principales de la plataforma colaborativa.

Función	Contenido específico
① Función de emparejamiento (Matching)	• Apoyar el emparejamiento adecuado entre productores y procesadores/comercializadores • Formulación de estrategias de producción basadas en las necesidades del mercado • Construcción de redes entre proveedores de materias primas y procesadores
② Función de reducción de costos	• Reducción de costos mediante compras conjuntas (fertilizantes, materiales, maquinaria) • Reducción de costos logísticos mediante la optimización del transporte • Creación de economías de escala a través de la utilización de cooperativas
③ Función de marca (Branding)	• Establecimiento de marcas y sellos de certificación como “Producto de El Salvador” • Apoyo al desarrollo de productos y empaques para mercados de exportación • Utilización de sistemas de protección como las indicaciones geográficas (IG)

Continúa...

④ Efecto de red externa mediante la formación de comunidades	• Fortalecimiento de la colaboración entre productores locales y procesadores • Vinculación con organismos gubernamentales y agencias internacionales • Apertura de mercados a través de eventos locales y ferias comerciales
⑤ Función de conexión de grupos multidimensionales	• Iniciativas que conectan directamente a productores y consumidores • Formación de redes con instituciones financieras, inversionistas y centros de investigación • Promoción de colaboraciones intersectoriales (como turismo y procesamiento de alimentos)
⑥ Función de centro de ventanilla única (One-Stop Center)	• Provisión integral de servicios como apoyo técnico, gestión de financiamiento y asesoría legal • Compartición de información utilizando plataformas digitales • Análisis y provisión de datos de mercado
⑦ Apoyo al emprendimiento	• Apoyo al lanzamiento de nuevos negocios agrícolas • Asistencia en la elaboración de planes de negocios

Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior ilustra cómo la plataforma cumple un papel multifacético dentro del ecosistema de la cadena de valor. Al facilitar la comunicación, la capacitación, el acceso a recursos financieros y la colaboración, la plataforma sienta las bases para que los participantes puedan innovar y mejorar continuamente. Cabe destacar que muchas de estas funciones se refuerzan mutuamente: por ejemplo, el intercambio de información potencia las alianzas estratégicas y la capacitación técnica, prepara el terreno para la implementación exitosa de proyectos innovadores. En conjunto, estas funciones crean un entorno propicio para que el clúster industrial se desarrolle de forma sostenible.

IMPORTANCIA DEL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS

Susomrith et al. (2019), mencionan que el desarrollo de recurso humano es un proceso a corto plazo y una inversión a largo plazo. Ya que, cuando hay los planes de capacitación bien ejecutados se logra el aumento del conocimiento, las competencias y el desempeño laboral, lo que conlleva a elevar la calidad y la productividad de la organización. Así mismo destacan que hay una relación positiva entre los programas de capacitación y el desempeño, mostrando que mientras este proceso sea constante se logra que la calidad del trabajo sea más eficiente y se consiga la mejora de las actividades del desempeño en la entidad.

El proyecto CREVAS, al capacitar a sus miembros, está fortaleciendo el desarrollo de recursos humanos de manera estratégica:

- Mejorando la calidad y eficacia del proyecto, adquiriendo nuevas habilidades y conocimientos que optimizan la ejecución de las iniciativas dentro del proyecto
- Promoviendo la innovación, pues con las temáticas en los que se han capacitado permiten aplicar enfoques modernos y soluciones innovadoras en el ámbito agronómico, de procesamiento y de estrategias de mercado.

- Facilita la transferencia del conocimiento, todos los miembros capacitados deben de compartir lo aprendido con otros docentes, estudiantes y productores, logrando con ello una difusión asertiva, multiplicando el impacto del proyecto.

- Incrementa la colaboración y sinergias con actores clave, la preparación técnica y profesional de los miembros ayuda a fortalecer y a crear nuevos vínculos con instituciones, productores y organismos que pueden apoyar el desarrollo del proyecto.

- Asegura la sostenibilidad del proyecto: Al empoderar al equipo de trabajo con conocimientos actualizados, se garantiza que sus iniciativas tengan continuidad y evolución a lo largo del tiempo.

Los cursos en los que han participado miembros del equipo CREVAS son:

- Construcción de Marcas Territoriales (Territorial Branding) para la Revitalización Comunitaria en países latinoamericanos.

- Promoción de la cadena de valor alimentaria para agronegocios basados en la comunidad

- Developed Market Oriented Export Promotion Strategy/ Marketing Strategy

- Desarrollo de recursos humanos para la transformación digital agrícola y rural y la creación de cadena alimentaria inteligente bajo una alianza pública, privada y académica

LA IMPORTANCIA DEL APOYO AL EMPRENDIMIENTO

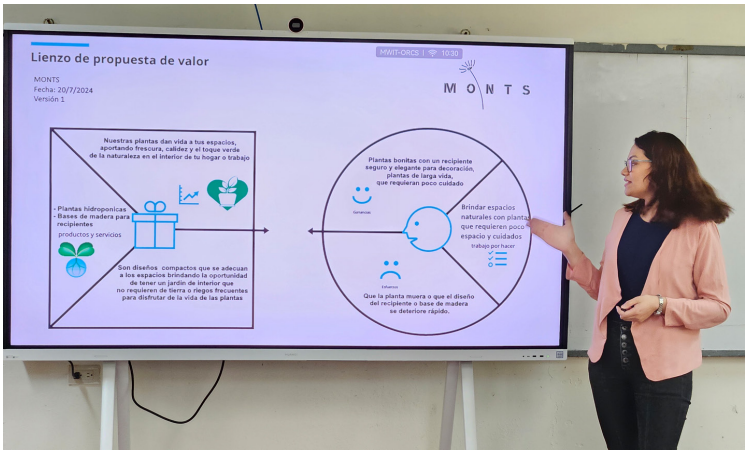
Desarrollar industrias agrícolas sostenibles requiere formar a la próxima generación de líderes agrarios y fomentar el espíritu emprendedor en el sector. En Centroamérica, mientras la población agrícola envejece, los jóvenes tienden a migrar a centros urbanos, lo que plantea la necesidad de hacer la agricultura más atractiva mediante innovaciones. Iniciativas como la introducción de tecnologías agrícolas avanzadas (AgriTech), la creación de negocios enfocados en solucionar problemas sociales mediante una agricultura sostenible, o el desarrollo de productos agrícolas de alto valor, son vías para captar el interés de la juventud y reincorporarla activamente al ámbito rural. Para lograrlo, es esencial construir un entorno que estimule a los jóvenes a involucrarse en la agricultura de manera creativa y empresarial.

En el marco del proyecto CREVAS, se ha implementado en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador un Diplomado en Agroemprendimientos Sostenibles, dirigido a jóvenes y mujeres interesados en el emprendimiento y los negocios en el sector agrícola. Este programa académico, desarrollado en coordinación con JICA, busca dotar a los participantes de los conocimientos y habilidades necesarios para identificar y aprovechar oportunidades de negocio modernas en el agro, a la vez que se fortalece su vocación emprendedora. El diplomado incluye tanto capacitaciones técnicas tradicionales (por ejemplo, buenas prácticas agrícolas, conceptos de cadena de valor y mejora continua tipo Kaizen) como módulos de innovación empresarial: se incorporan herramientas gerenciales contemporáneas como el Lienzo de Propuesta de Valor (VPC) y el Lienzo de Modelo de Negocio (BMC), con el fin de que los participantes aprendan a clarificar

las necesidades de sus clientes, definir el valor que ofrecerán,y diseñar modelos de ingresos sostenibles para construir proyectos agroempresariales competitivos (figura 5). Asimismo, el programa enfatiza la importancia de la responsabilidad ambiental y social, incentivando a los emprendedores a desarrollar negocios que contribuyan a resolver problemas sociales (por ejemplo, seguridad alimentaria, conservación ambiental, desarrollo comunitario) a través de la agricultura sostenible.

En el largo plazo, se espera que este curso especializado evolucione hacia una entidad incubadora de emprendimientos agrícolas, que continúe apoyando a los graduados en la puesta en marcha de sus iniciativas empresariales.

Figura 5.
Participante del Diplomado de Agroemprendimientos Sostenible explicando el lienzo de propuesta de valor.



Fuente: Elaboración propia.

El agroemprendedor formado bajo este enfoque está llamado a desempeñar un rol clave: debe ser capaz de visualizar la cadena de valor de manera integral, gestionar su iniciativa como un negocio viable y, al mismo tiempo, actuar como articulador entre los diversos actores (productores, proveedores, consumidores), fortaleciendo la colaboración en el clúster y contribuyendo a solucionar desafíos sociales mediante la innovación. Para asegurar la sostenibilidad de sus emprendimientos, estos nuevos empresarios agrícolas necesitan adoptar una visión de largo plazo y un profundo sentido de responsabilidad hacia el medio ambiente y la comunidad. En la práctica, ya se observan avances en esta dirección: por ejemplo, se están impulsando iniciativas como servicios de consultoría que asisten a los agricultores en trámites legales complejos (registro de marcas, procedimientos de exportación, cumplimiento de normativas sanitarias y ambientales) o la creación de aplicaciones móviles que conectan directamente a productores con consumidores, acortando la cadena de intermediación. En general, en la región centroamericana se espera que los esfuerzos de estos emprendedores contribuyan a dinamizar las economías rurales y a la renovación de las comunidades agrícolas, demostrando que la agricultura puede ser un campo lleno de oportunidades para las nuevas generaciones.

IMPORTANCIA DE ADOPTAR UNA PERSPECTIVA DE CREACIÓN DE MERCADOS

La creación de nuevos mercados es una perspectiva indispensable para países pequeños como El Salvador y otros de Centroamérica. Estas naciones, con territorio y población reducidos, enfrentan límites para su crecimiento económico si dependen únicamente de la demanda de sus mercados internos. Por ello, es crucial no conformarse con los mercados existentes, sino generar nuevas demandas tanto a nivel doméstico como internacional, para impulsar el desarrollo. Crear mercado implica identificar y despertar necesidades latentes en los consumidores, ofreciendo productos y servicios novedosos que aporten un valor diferente.

Por ejemplo, se puede revalorizar cultivos tradicionales transformándolos en productos adaptados a las tendencias actuales de consumo saludable, desarrollando líneas de alimentos funcionales o ingredientes naturales a partir de ellos. El Salvador ya cuenta con casos emblemáticos como la producción de café de especialidad y de cacao fino, donde la calidad excepcional y la diferenciación han abierto nichos en mercados exigentes del exterior. De igual modo, los recursos rurales pueden aprovecharse en actividades complementarias: la riqueza natural y cultural de las zonas agrícolas puede dar lugar a iniciativas de ecoturismo rural —siguiendo el ejemplo de Costa Rica, reconocida por su ecoturismo—, atrayendo visitantes interesados en experiencias agroecológicas y fomentando nuevas fuentes de ingreso para las comunidades campesinas. Otra vía es adoptar esquemas de comercio justo y certificaciones que agreguen valor ético a los productos; por ejemplo, en Nicaragua ha surgido la producción agrícola certificada con Comercio Justo, permitiendo a pequeños productores acceder a consumidores conscientes dispuestos a pagar un sobreprecio por productos socialmente responsables. Estas iniciativas, centradas en los recursos y peculiaridades de cada región, demuestran que al aprovechar las fortalezas locales para crear productos y experiencias originales, es posible diversificar la economía regional y dinamizarla.

En síntesis, para los países centroamericanos de menor tamaño, pensar en la creación de mercados más allá de las fronteras nacionales no es solo deseable sino imprescindible. Al generar nuevas oportunidades de negocio y nichos de mercado, se logra superar las limitaciones impuestas por la estrechez del mercado interno, estableciendo una presencia en el mercado global. Ello conduce a una mayor diversificación económica, refuerza la competitividad internacional y sienta las bases para un crecimiento sostenible a largo plazo.

MECANISMOS DE APOYO PARA EL ÉXITO

Para que las iniciativas descritas alcancen el éxito esperado, es necesario contar con un sólido sistema de apoyo institucional y financiero. En primer lugar, el gobierno tiene un papel fundamental mediante la provisión de incentivos adecuados: políticas como exenciones o facilidades fiscales, subvenciones específicas y programas de promoción de exportaciones pueden crear un entorno favorable para que los nuevos emprendimientos agrícolas prosperen. En segundo lugar, el respaldo técnico a través

de la cooperación internacional y alianzas con instituciones especializadas resulta crucial, la transferencia de conocimientos y la asistencia de expertos (incluso de terceros países) ayudan a superar barreras tecnológicas y de capacidad productiva. Igualmente, el involucramiento de instituciones financieras y de inversión es importante: acceso a crédito, capital semilla para emprendedores, mentorías de negocios y oportunidades de networking ofrecidas por inversionistas pueden acelerar la consolidación de los proyectos emergentes. A nivel local, también se requiere apoyo para fortalecer las redes entre los actores de la plataforma: eventos de vinculación, mesas de trabajo intersectoriales y otras actividades que aumenten la confianza y cooperación entre productores, empresas y entidades públicas. Con este conjunto de apoyos, es posible construir modelos de negocio sostenibles e incluso un ecosistema donde converjan diversas iniciativas que se refuercen mutuamente para resolver problemas sociales y económicos.

En última instancia, la sinergia de políticas públicas, cooperación técnica, financiamiento oportuno y colaboración público-privada conduce a la creación de un entorno fértil para la innovación y el crecimiento inclusivo. Este ecosistema de apoyo permite que las ideas germinen y se conviertan en proyectos exitosos, que las pequeñas empresas escalen su impacto y que las comunidades se beneficien de un desarrollo endógeno.

La experiencia muestra que, cuando estos mecanismos de apoyo funcionan coordinadamente, los esfuerzos de emprendedores y agricultores logran sostenerse en el tiempo y transformarse en motores de desarrollo regional.

CONCLUSIONES

La revitalización de la agricultura en El Salvador y en los países de Centroamérica requiere adoptar enfoques integrales centrados en la clusterización industrial, la formación de talento humano y la visión de creación de valor agregado orientada a nuevos mercados. Frente a limitaciones estructurales como un territorio reducido o el envejecimiento de la población rural, la construcción de plataformas de colaboración entre actores se revela fundamental para articular esfuerzos. El caso del proyecto CREVAS en El Salvador —especialmente la implementación del diplomado de "Agroemprendimientos Sostenibles"— ejemplifica cómo, apoyándose en cultivos tradicionales y técnicas locales, pero incorporando modelos de negocio innovadores, es posible dinamizar la economía regional. Estas acciones han comenzado a demostrar un modelo en el que la combinación de innovación y tradición impulsa el desarrollo económico local.

De cara al futuro, profundizar en la formación de clústeres industriales, consolidar plataformas colaborativas y expandir los programas de capacitación de recursos humanos elevará significativamente las posibilidades de un desarrollo agrícola sostenible no solo en El Salvador, sino en toda la región centroamericana. La experiencia salvadoreña sugiere que para países donde la expansión agrícola cuantitativa enfrenta límites, es imprescindible enfocarse en el crecimiento cualitativo a través

de la creación de valor y la formación de capacidades. En este sentido, El Salvador ofrece un ejemplo aleccionador de la importancia de agregar valor y desarrollar el talento humano para lograr que el sector agroindustrial alcance nuevos niveles de competitividad y resiliencia.

Finalmente, es esencial mantener y fortalecer la colaboración entre el gobierno, los organismos internacionales, las empresas privadas y las comunidades locales. Solo mediante una acción coordinada y la continua incorporación de innovaciones —sin perder de vista las valiosas prácticas tradicionales— se podrá lograr el salto cualitativo que esperan la agricultura salvadoreña y centroamericana. Se alberga la esperanza de que, siguiendo este camino, el sector agroindustrial de El Salvador y de los países vecinos experimente un progreso sostenido, convirtiéndose en un pilar renovado de sus economías y un motor de bienestar social en las zonas rurales.

REFERENCIAS

Banco Mundial. (2023). *Indicadores del desarrollo mundial: El Salvador* [Base de datos]. Washington, DC: Banco Mundial.

FAOSTAT. (2022). *Base de datos estadísticos de la FAO* [Conjunto de datos]. Roma: FAO.

International Fund for Agricultural Development (IFAD). (2021). *Rural Development Report 2021: Transforming Food Systems for Rural Prosperity*. Roma: IFAD.

Hart, S. *L., & Christensen, C. M*. (2002). The great leap: Driving innovation from the base of the pyramid. *MIT Sloan Management Review*, 44(1), 51-56.

Kanter, R. M. (1999). From spare change to real change: The social sector as beta site for business innovation. *Harvard Business Review*, 77(3), 122-132.

Krugman, P. (1991). Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy,* 99(3), 483-499.

London, T., & Hart, S. L. (2004). Reinventing strategies for emerging markets: Beyond the transnational model. *Journal of International Business Studies*, 35(5), 350-370.

Marshall, A. (1920). *Principles of Economics* (8th ed.). London: Macmillan.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022) . *Datos sobre el sector agrícola de El Salvador*. Roma: FAO.

Porter, M. E. (1998). Clusters and the new economics of competition. *Harvard Business Review*, 76(6), 77-90.

Susomrith, P., Coetzer, A., & Ampofo, E. (2019). Training and development in small professional services firms. *European Journal of Training and Development*, https://scispace.com/pdf/training-and-development-in-small-professional-services-18vwjy2742.pdf

Schultz, T. W. *(1961)*. Investment in human capital. American Economic Review, 51(1), 1-17.









CAPÍTULO XVI
LOS AGRONEGOCIOS, BASE SOCIOECONÓMICA EN LA REGIÓN DEL SOCONUSCO, CHIAPAS-MÉXICO

Roberto Alfredo Rosales Rodríguez[1]

INTRODUCCIÓN

Se considera a la región del Soconusco, la zona económica de Chiapas, ubicada en la costa del estado, y haciendo frontera con la República de Guatemala. Esta región cuenta con más de 5 mil cuatrocientos kilómetros cuadrados de superficie, delimitado por la cordillera Sierra Madre de Chiapas, regada por sus 40 ríos a lo largo de su territorio que habilitan la existencia de una gran variedad de microclimas con tierras fértiles, posibilitando una diversidad de fauna y flora, misma que ayuda a desarrollar la actividad forestal, la agricultura y la ganadería. Debido a que el Soconusco también cuenta con un litoral en la costa del Océano Pacífico, los habitantes de esta zona han desarrollado la pesca y la acuacultura. Todo ello ha sido base para la creación de agroindustria variada y especializada, según se requiera por cultivo y/o actividad. Por todo lo anterior, comprender la importancia del conocimiento y la aplicación del concepto agronegocios, resulta de gran relevancia para impactar en: a) un incremento en la calidad de vida de la gente trabajadora, b) sostenibilidad medioambiental y, c) apertura a nuevos mercados.

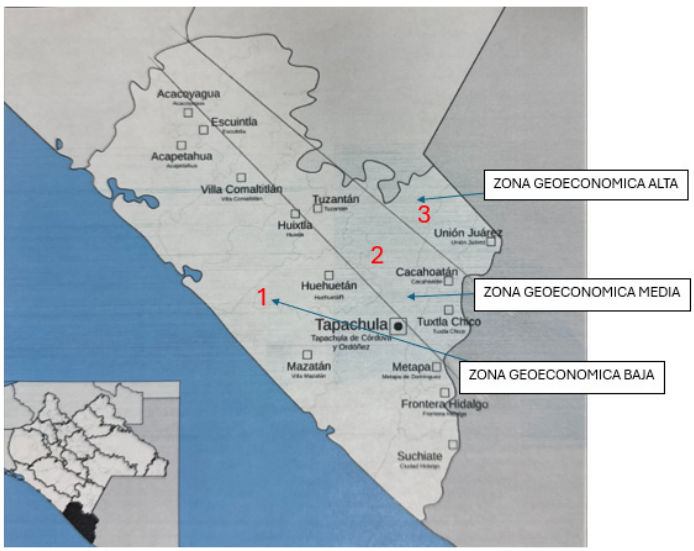
La importancia de los agronegocios estriba en que si están bien organizados permiten la inclusión de sectores históricamente marginados como las mujeres, los jóvenes y los pueblos indígenas. Para contextualizar la actividad de los agronegocios como generador

1 Red Iberoamericana de Academias de Investigación (Red Ibai).

de desarrollo socioeconómico en la región Soconusco, propongo la formación de tres zonas geoeconómicas (Figura 1), desarrolladas desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, clasificadas según su desarrollo económico basándose en su entorno, infraestructura y desarrollo.

- La primera zona geoeconómica en el Soconusco (zona baja) sería la planicie costera, desde el nivel del mar hasta los 1,100 msnm. Ella es rica en producción pesquera (de mariscos, pescados), producción de cereales, frutales (banano, mango ataúlfo, papaya), palma africana, caña de azúcar y ganadería. Cuenta con el desarrollo urbano, de infraestructura, maquilas, agroindustria, red carretera, portuaria, marítima y aeroportuaria.
- La segunda zona geoeconómica, es la parte de las faldas de la serranía con una altitud de los 1,100 msnm a 2,100 msnm, con suelos volcánicos ricos en diversos elementos minerales en donde se desarrolla principalmente la producción de cacao (cultivo prehispánico) y la cafetalera desarrollada principalmente por inmigrantes europeos (alemanes, italianos, españoles) desde finales del siglo XIX. Es también lugar de desarrollo de actividades alternativas como la producción de flores exóticas y turismo rural.
- La tercera zona geoeconómica sería la parte alta de la Sierra Madre de Chiapas, donde se producen frutales de clima templado, muy poca ganadería y el aprovechamiento de especies maderables como pino y otras maderas preciosas.

Figura 1.
Zonas geoeconómicas del Soconusco.



El Soconusco está integrado por 15 municipios, entre ellos:

1. Acacoyagua. En este lugar predomina el cultivo del arroz desarrollado por inmigrantes japoneses que llegaron a la región hace más de cien años.

2. Acapetahua. Rico en ganadería bovina, palma africana, en pesca y en recursos turísticos vírgenes como la zona de mangle y los kilómetros de playas. Excelente desarrollo ganadero,

con hatos de sobresaliente calidad genética, tiene agroindustria de los derivados de productos lácteos, siembra de palma africana, y producción pesquera, con 34,000 habitantes.

3. Escuintla. Región productora de mango, ganadería y café.

4. Huixtla. Productora de azúcar, ganado y café, cuyo distintivo es una enorme piedra de 87 metros de altura que ofrece un gran potencial para el deporte alternativo, como el alpinismo y el rapel.

5. Villa Comaltitlán. Productor de mango, ganado, elaboración de queso, palma africana.

6. Tapachula. Con Puerto Chiapas, el municipio con más desarrollo e infraestructura industrial y portuaria. Desarrolla ganadería, siembra de granos, frutales, café, cacao y agroturismo.

7. Metapa. Productor de granos y cereales, así como banano.

8. Huehuetán. Producción de palma africana, mango, banano, limón, acuacultura y ganadería. Sede de la UNACH en su facultad de agronomía.

9. Tuzantán. Región de cacao, café y rambután.

10. Mazatán. Productor de banano, ganado y pesca.

11. Frontera Hidalgo. Productor de miel, banano, granos y ganadería.

12. Suchiate. Punto fronterizo de mayor actividad comercial con Centroamérica.

13. Cacahoatán. Caracterizado por el cultivo del cacao, ganadería y frutales como rambután y mangostán.

14. Tuxtla Chico. Municipio productor de miel, cacao, ganadería, maíz, mangostán y rambután.

15. Unión Juárez. Lugar productor de café y un desarrollo turístico por su clima agradable todo el año.

LA INFRAESTRUCTURA

La región Soconusco tiene una excelente infraestructura para su conectividad desde vías férreas, carreteras de doble carril, aeropuerto internacional con conexión en diferentes ciudades de México, Guadalajara, Monterrey, Tuxtla Gutiérrez y Guatemala, así como un puerto marítimo con depósitos graneleros con capacidad para recibir buques de más de 15,000 toneladas y cruceros turísticos transnacionales.

Figura 2.
Aeropuerto Internacional de Tapachula.



EL FERROCARRIL

En todo el mundo, el tren ha sido un generador de desarrollo desde el siglo XX con el tren Panamericano, el cual iba de la ruta Tapachula-Puerto Veracruz, identificado como El pollero, que transitaba sobre el eje Tapachula-Ixtepec, Oaxaca, o el Mapaneco sobre la ruta Tapachula-Mapastepec.

El proyecto del *Tren Interoceánico* (Ruta Tapachula a Ixtepec) promete traer desarrollo, detona el crecimiento de mercancías que se podían enviar a través del tren y otras que podían llegar para ser utilizadas o continuar su viaje por Centroamérica, por la integración que logra su conectividad. Con la dinámica del tren, se potencializa los agronegocios permitiendo mover grandes cantidades de suministros y aumentando la capacidad logística para cubrir mercados tanto nacionales como internacionales.

La agricultura de exportación es considerada como un motor económico, Según Santacruz (2007), "la región del Soconusco ha logrado mantener su relevancia en la producción agrícola de exportación debido a su capacidad para sustituir cultivos principales y adaptarse a las fluctuaciones del mercado internacional. Esta dinámica ha permitido que la agricultura continúe siendo el eje central del desarrollo económico regional. La diversificación de cultivos como el cacao, el café y la caña de azúcar, ha sido fundamental para la resiliencia económica".

Para comprender mejor el concepto de los agronegocios, en la Tabla 1 se muestra la presencia de cada actividad y su influencia dentro de cada sector. Se han desarrollado 10 actividades, las cuales demandan un dinamismo y generan bienestar social principalmente en las áreas rurales con un incremento en la calidad de vida de sus pobladores.

Tabla 1.
El sector de los agronegocios pertenece a la sociedad productiva.

	Sector	Consumidores	Productores	Industria
1	Agropecuario		X	
2	Agroindustria			X
3	Acuacultura		X	
4	Bioenergéticos			X
5	Comercialización	X		
6	Educativo (extensionismo)	X		
7	Forestal		X	X
8	Financiero	X		
9	Turismo rural	X		
10	Maquinaria agrícola			X

Dentro de la actividad de los agronegocios, se desarrolla la agroindustria, la cual es generadora del valor agregado, entiéndase como la transformación de productos primarios de la región en productos procesados (finales), como son la elaboración de alimentos

procesados, productos químicos agrícolas, textiles, y más, ello conlleva a la generación de empleos, impuestos gubernamentales y contribuye al desarrollo económico.

"La transformación de productos agrícolas en la región ha sido impulsada por la agroindustria, que no sólo procesa los productos, sino que también genera empleo y contribuye al desarrollo económico. Por ejemplo, la producción de azúcar en el ingenio de Huixtla ha generado una derrama económica superior a mil 300 millones de pesos anuales, beneficiando directamente a más de 5,000 familias en la región" (Diario *La Voz del Sureste*, 2017).

La innovación tecnológica y la sostenibilidad en la producción agropecuaria debe ser una herramienta indispensable para la mejora continua de los productos procesados y su industrialización, para posteriormente su comercialización tanto en el mercado nacional como en el internacional.

> La adopción de nuevas tecnologías ha sido clave para mejorar la productividad y sostenibilidad de la agricultura en el Soconusco. El uso de hidrogel de acrilato de potasio ha demostrado ser efectivo para conservar la humedad en las plantas, especialmente en tiempos de sequía, mejorando la producción agrícola en la región" (El Heraldo de Chiapas, 2021).

Dentro de las operaciones de los agronegocios es importante el fortalecimiento organizacional y la capacitación del capital humano. Es indispensable contar con un buen enfoque de las actividades del personal, para reducir errores en la operación y pérdidas económicas por falta de capacitación y la obtención de resultados óptimos.

> La colaboración entre productores y universidades ha sido esencial para fortalecer las capacidades técnicas y organizacionales en la región. Iniciativas como el convenio entre el Centro de Agroecología San Francisco de Asís y la Universidad Politécnica de Tapachula han permitido a estudiantes y productores trabajar juntos en proyectos relacionados con el café, cacao y miel, promoviendo la innovación y el desarrollo sostenible (Noticias de Chiapas, 2024).

Para Chiapas, la región del Soconusco hoy día representa una zona clave en la producción agrícola, así como también es un punto importante para los agronegocios, es decir, de todas las actividades que van más allá del cultivo y engloban toda la cadena de valor, desde la producción hasta la poscosecha, la comercialización de los productos agropecuarios. Los productos agropecuarios van desde la semilla y maquinaria agrícolas, pasando por la agricultura y ganadería, hasta la agroindustria y su comercialización de los alimentos producidos.

El Soconusco es una zona rica en biodiversidad y recursos naturales, lo que ha hecho factible el desarrollo del turismo rural, una arista de los agronegocios que posee una gran versatilidad, fomenta el desarrollo económico regional y juega un papel crucial en la transformación de la ruralidad. Evitando con ello, de alguna manera, la migración de lo rural a la ciudad. Enfocándose en su impacto positivo en la vida de las personas.

Hoy día la población de zonas urbanas busca un desestrés saliendo a la ruralidad, cultura en crecimiento constante desde la pandemia del Covid-19, por lo tanto, la región que cuenta con zonas tanto de playa como de montaña ha generado poco a poco una infraestructura, aunque modesta, de un desarrollo constante de turismo rural con actividades al aire libre y disfrutando de la gastronomía, gracias a la actividad de los agronegocios no dependen de un solo ingreso. La ventaja que la región del Soconusco tiene por su vocación agrícola, con gran producción de café, banano, papaya, rambután, mangostán, entre otros, les ha convertido en líderes a nivel nacional, donde son número uno en producción y calidad con productos de excelencia (calidad de exportación).

En la ganadería posee diferentes especies, como son: equino, ovinos, porcinos y bovinos -con sangre cebú con cruces con razas europeas-, los cuales cuentan con alta genética. Aprovechan el manejo de biotecnología y técnicas de genética vanguardistas por medio de inseminación artificial, trasplante de embriones y fertilización *in vitro*. El aprovechamiento de producción pesquera y forestal sostenible es indispensable para la conquista de mercados especializados que valoran el esfuerzo de la búsqueda de la sostenibilidad, en pro del cuidado del planeta.

Los agronegocios han traído beneficios económicos junto a saludables impactos sociales y comunitarios. Promueven un desarrollo sostenible con la generación de empleos e ingresos, mejorando la calidad de vida en las comunidades, con avances de los servicios, el acceso a servicios básicos y con ello minimizando la migración, el abandono del sector rural por parte de los jóvenes. Dentro de los agronegocios se contempla también el turismo rural, fuertemente desarrollado con una infraestructura en crecimiento, pero generador de riqueza que ayuda sustancialmente a las familias, en especial a las mujeres y personas de tercera edad.

ANTECEDENTES

Cuando el Soconusco deja de ser colonia, estuvo incorporado a la república centroamericana. Al disolverse ésta, pasó a integrarse a Chiapas y con ello a México. Ha sido una región privilegiada y visitada como lugar de tránsito natural de las regiones del sur de América en busca de comercio con los mexicas, y viceversa. En esta región, según Díaz (2015)

> …las primeras poblaciones como ***Izapa*** (500 a.C.–100 d.C.) periodo clásico formativo o el pueblo ***Mokoya,*** practicaban la caza y la recolección. A partir del periodo formativo temprano (800 a.C.–200 a.C.), comenzaron a cultivar maíz, frijol, yuca, chiles y cacao, este último en su forma silvestre. El cacao se convirtió en una semilla muy apreciada, usada en algún momento como moneda de cambio en toda Mesoamérica, consolidando al Soconusco como un importante corredor comercial entre el norte de Mesoamérica.

Durante la colonia, el cacao, la cochinilla, el algodón y el azúcar fueron los principales productos de exportación. Sin embargo, la disminución de la población

indígena, que en 1736 se redujo a sólo 1,100 tributarios, afectó la economía regional. A finales del siglo XVII, la ganadería comenzó a desarrollarse en la zona, especialmente en áreas como El Despoblado, donde se establecieron grandes predios ganaderos.

Pero a mediados del siglo XIX, empresarios provenientes de Europa decidieron arriesgarse e invertir su futuro en la región del Soconusco.[2] En el siglo XX, empezó la diversificación agrícola. Se comenzó con el cultivo del plátano sustituyendo plantaciones de caucho, convirtiéndose en una importante fuente de exportación hacia los Estados Unidos. Sin embargo, según Sotomayor (2011) El "Mal de Panamá" en la década de 1950, afectó a las plantaciones y se tuvo que cambiar la variedad susceptible Gross Michel por cultivares de Cavendish, en esa época resistente a dicha enfermedad. Ahora se ha desarrollado una nueva raza, la Tropical 4 que tiene la capacidad de destruir a los cultivares Cavendish, que actualmente se producen a nivel mundial", A pesar de ello, la región continuó diversificando su producción agrícola, incluyendo cultivos como mango, papaya, piña, caña de azúcar, palma africana, sandía, rambután y mangostán.

En la actualidad la agricultura está enfocada en lo orgánico y sostenible. El Soconusco es reconocido por su producción de café orgánico y por la denominación de origen del mango Ataúlfo. La región ha adoptado prácticas agrícolas sostenibles, destacándose como un modelo de agricultura orgánica en México promoviendo la producción agroecológica, la certificación de calidad y la comercialización alternativa, fomentando procesos productivos rentables y autónomos en las comunidades indígenas y campesinas.

Adentrándose en los cultivos denominados exóticos, como son el rambután y mangostán, donde la región del Soconusco es la mayor productora, con el 90% de la producción nacional, son frutos que se venden en territorio nacional y en algunas ocasiones se han exportado.

> Más del 90% de la producción nacional de rambután se desarrolla en el Soconusco, generándole grandes divisas a la región, gracias a que ha tenido gran aceptación este fruto exótico en el paladar mexicano, y algo en menor escala es exportado principalmente a los Estados unidos (Rosales, 2023).

POBLACIÓN

Actualmente, la población del Soconusco tiene aproximadamente 1,500, 000 habitantes, los cuales se concentran un poco más de 400,606 en la zona metropolitana de Tapachula (INEGI, 2024), quien es el foco neurálgico de la región, donde

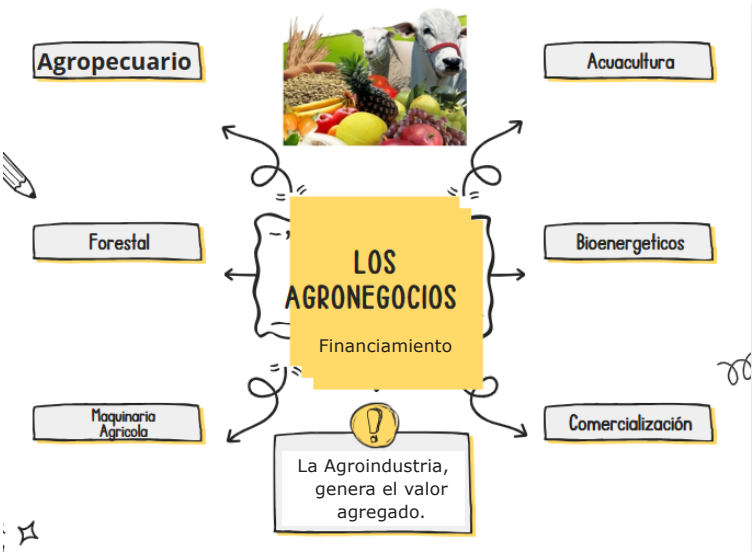
2 El italiano Jerónimo Manchinelli introdujo el cultivo del café en el Soconusco. Sin embargo, fue a partir de la década de 1880 cuando la cafeticultura experimentó un auge significativo, impulsado por las Leyes de Reforma que permitieron la venta de tierras a particulares, favoreciendo la inversión extranjera, especialmente alemana. Grandes empresas como la compañía Louis Huller adquirieron vastas extensiones de tierra, consolidando el sistema de plantaciones en la región.

convergen todas las actividades tanto comerciales como de vida de la sociedad; donde se encuentra la mayor actividad económica.

CASOS DE ÉXITO EN LA REGIÓN SOCONUSCO

A continuación, se observan los diferentes tipos de agronegocios, los que pueden clasificarse en diversos tipos, dependiendo del enfoque, el producto producido y su actividad principal.

Figura 3.
Mapa conceptual de los agronegocios.



Los agronegocios en la zona Soconusco, analizados desde cada sector.

1. Agropecuario: la actividad agropecuaria en esta región es dinámica, en ella se concentra la producción de cultivos agrícolas diversos, como: cereales (maíz, soya, sorgo, ajonjolí), frutales (mango, papaya, rambután, mangostán, banano), hortalizas y otros productos vegetales. Ganadería: se dedican a la cría y producción de ganado bovino, ovino, porcino, aves, enfocadas en la producción de carne y productos lácteos. Así como en la producción de miel.[3] En muchos productos agrícolas la región es número uno nacional, como es el caso del rambután, Chiapas cuenta con una producción cercana al 94% (Roberto Rosales, 2023).

2. Agroindustria: las empresas agrícolas desempeñan un papel crucial en la producción de alimentos básicos, en donde se procesan para generar valor agregado. Ejemplos de esto, son los beneficios de café, empacadoras de mango, papaya y/o banano, hasta

3 La miel producida en el Soconusco se exporta a Estados Unidos, Suiza y Alemania, cerca de 5,500 toneladas (Canacintra, 2024).

empresas deshidratadoras de fruta con empaques bajo marca propia, por ejemplo, *Natura Frut Bautista*.[4] La falta de una agroindustria de manufactura es necesaria para elevar la oferta de productos de alto valor, con diseño y estrategia comercial que sean rentables con un enfoque competitivo.

3. Acuacultura: actualmente la siembra de peces es una actividad recurrente y rentable, la especie que se trabaja en la zona es la mojarra tilapia.

4. Bioenergéticos: es una pena que todavía no existan proyectos enfocados a generar energéticos a partir de la biomasa, de desechos orgánicos o de biodiesel. La tendencia mundial es apoyar estas iniciativas en pro del medioambiente.

5. Comercialización: la base de los agronegocios es la comercialización, donde se encuentra el culmen de toda actividad económica. El Soconusco debe gran parte de sus ventas a las materias primas producidas con calidad y bajo los estándares internacionales, pero no dejan de ser *commodities,* mismos que están a expensas del mercado internacional y de los productos sustitutos. Las restricciones como los aranceles del presidente norteamericano Donald Trump, que imponen los países compradores, hacen difícil tener garantías de un buen mercado como antaño. Un ejemplo que se tiene es Agromod,[5] empresa ubicada en Tapachula la cual, con sus marcas comerciales, es líder en la distribución de papaya a nivel nacional e internacional.

6. Educativo: en los últimos años, existen universidades tanto públicas como privadas que ofertan carreras acordes a la región y enfocadas en apoyar a los agronegocios.

La Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), campus IV, oferta las siguientes licenciaturas: Agronomía, en la unidad académica de Huehuetán, y tres en la unidad académica en Tapachula: 1.- Químico farmacobiólogo, Comercio Internacional, Biotecnólogo y la de Agronegocios (carrera con más de 10 años de antigüedad y en mejora continua.

La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), con licenciaturas en Ciencias y Tecnologías de Alimentos, en Comercio Exterior y en Turismo Sustentable.

La Universidad Politécnica de Tapachula, ofrece la licenciatura en Ingeniería en Alimentos (Tsu agroindustria o Tsu en tecnologías en alimentos).

7. **Financiero:** la disposición del dinero es crucial, todo negocio requiere de una capitalización a la hora de su desarrollo. La región tiene presencia de la banca nacional, ubicada en varias cabeceras municipales, pero en especial en el municipio de Tapachula. Se encuentran tanto la banca comercial como la institucional, con sucursales varias para las actividades financieras.

4 Integradora de frutas finas Soconusco es una empresa creada por productores y comercializadores, que han estado involucrados en la industria del mango durante más de 40 años. Nuestra experiencia acumulada en las diferentes variedades de mango (Ataúlfo, Tommy Atkins, Haden, Kent, Keitt y Oro) producidos en varios estados de México, nos han permitido ser proveedores de mangos de excelente calidad. Se encuentra ubicada en Tapachula.

5 Agromod produce y distribuye papayas de excelente calidad, posee las marcas Mañanita y Yaya en el mercado nacional y Blondie para el mercado de exportación.

8. Forestal: la actividad forestal es de gran importancia económica, en donde se encuentran maderas preciosas, como: caoba (Swietenia macrophylla), roble de sabana (Tabebuia rosea), primavera (Cassia fistula), hormiguillo (Platymiscium dimorphandrum), cedro (Cedrela odorata), ocupándose desde una actividad primaria o asociada con la silvicultura.

9. Maquinaria agrícola: todo desarrollo del campo necesita la mecanización para que el avance sea mayor y contundente. La región del Soconusco posee marcas internacionales, como: John Deere, Caterpillar, New Holland, Massey Ferguson, que poseen todo lo necesario para el campo, además de la introducción de marcas con equipo moderno como drones, generadores de electricidad, entre otros.

10. Turismo rural (agroturismo): dentro de los agronegocios existe una actividad como es el turismo rural, donde se aprovecha el gran potencial de los atractivos naturales que posee la región con su extenso litoral, con playas hermosas, como: Puerto Madero y Playa Linda en Tapachula, Barra de San José y San Simón en Mazatán, Barra de Zacapulco en Acapetahua. Existen, además, rutas culturales, como:

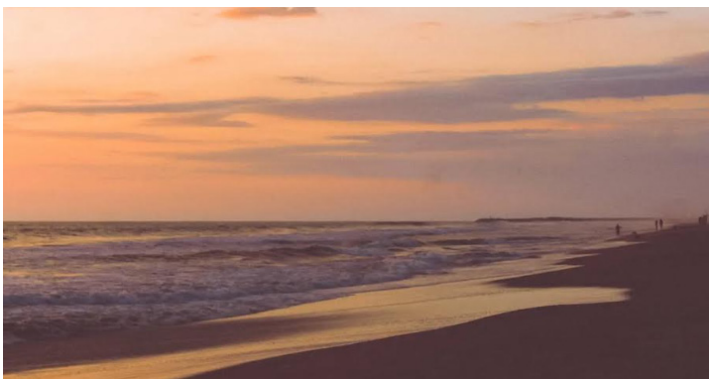
- *La ruta del Café*, en donde se vive la experiencia de recorridos de fincas cafetaleras las cuales explican desde la siembra, cosecha, beneficio hasta la degustación en sus instalaciones de una buena taza de café, algunas cuentan con cabañas para un buen descanso.

- *La ruta del Cacao*, muy parecido a la ruta anterior, pero se muestra la historia del proceso para la elaboración del chocolate artesanal, experiencia única porque es un referente social y cultural. Muchas comunidades locales dependen de este cultivo para su sustento. En términos de cifras específicas sobre la producción y generación de ingresos, éstos pueden variar año con año y dependen de factores como el clima, las plagas y las condiciones del mercado. En general, el cacao y productos derivados como el chocolate pueden generar ingresos significativos, tanto para los agricultores como para las empresas que procesan y comercializan estos productos.

- *La ruta del Rambután* es un cultivo exótico de gran acogida nacional, es la más nueva de todas, pero se trata de mostrar todo el proceso y degustación del fruto.

- Por último, el *Turismo de Aventura* con actividades como el ciclismo, senderismo, ascenso al volcán Tacaná (con sus 4,100 msnm es la punta más alta del Estado de Chiapas), recorridos por manglares, actividades de pesca, aventuras entre algunos de los 40 ríos con Kayak.

Figura 4.
Playa linda.



El Soconusco, hasta el día de hoy, lamentablemente no tiene una ventaja competitiva, pues se ha limitado a producir *commodities,* de los cuales exporta más del 50% de la producción. Sin embargo, no ha generado innovación, no tiene agroindustrias especializadas en aras de alcanzar productos con más destreza que sólo el valor agregado resultante de la primera transformación, la cual sería el segundo eslabón dentro de la cadena de suministros. Está determinada a generar junto con las universidades y la sociedad, desarrollos tecnológicos que lo hagan a mediano plazo -aproximadamente 10 años- un referente dentro del plano nacional y mundial.

En el plano mundial actual, seguir vendiendo a los Estados Unidos y Europa es un buen referente para nuestras materias primas, pero se debe diversificar y China está siendo un país protagonista en el comercio mundial. Podremos introducir nuestras materias primas, y los procesados e innovadores en su mercado, pero es necesario invertir en ciencia y tecnología, apoyos financieros bien guiados y regulados, para que la región no sólo dependa de las materias primas, deberá generar un desarrollo de la mano de la academia para avanzar mediante la investigación, productos y procesos de la mano de técnicas como la Biotecnología que hará crear productos novedosos que cubran las necesidades elementales de la población. Los agronegocios son fundamentales por su vocación en la región del Soconusco, bien gestionados, con un enfoque agro productivo económico, con diversificación de mercado e innovación, hará que la calidad de vida crezca con la riqueza generada.

La experiencia de cooperativas, microempresas rurales, asociaciones de mujeres productoras y emprendedores jóvenes, demuestra que el cambio es posible cuando se articulan esfuerzos públicos, privados y sociales. Sin embargo, también es evidente que persisten desafíos estructurales que deben ser atendidos con políticas públicas de largo plazo, inversión en infraestructura, educación rural y acceso real a oportunidades. Con un enfoque en la comercialización y distribución las empresas que participan en la cadena de suministros de alimentos son eslabones cruciales que conectan a los productores con los consumidores finales.

En México, según estimaciones estatales, el sector agropecuario representa entre el 20% y el 30% del Producto Interno Bruto (PIB), pero para el Soconusco sería más del 60%. La población más grande es la ciudad de Tapachula, la cual es la más desarrollada. La población en la región vive más en la ruralidad que en la ciudad. Además, los ingresos derivados de las exportaciones agrícolas inyectan recursos frescos a la economía local. Esta región genera productos como el café, mango y plátano los cuales son exportados a mercados internacionales, generando divisas y abriendo oportunidades para empresas locales. Ahora muchos productos cuentan con certificaciones como "orgánico" o "comercio justo", lo cual mejora su precio y reputación en el mercado internacional.

Los agronegocios son un motor de desarrollo rural y grandes generadores de empleo, requieren una gran cantidad de mano de obra, tanto permanente como temporal. Por ejemplo, durante la temporada de cosecha de café o mango, se contratan jornaleros que, en muchos casos, provienen de comunidades rurales e incluso

de países vecinos como Guatemala. Además de generar empleo, fomentan la organización social, la capacitación, el acceso a mercados y la mejora de las condiciones de vida. Dentro de los agronegocios el turismo rural ofrece una experiencia única que combina naturaleza, cultura y sostenibilidad. El senderismo y ecoturismo con rutas variadas permiten a los visitantes explorar la fauna y flora local, así como disfrutar de vistas panorámicas increíbles. Actualmente, la actividad de avistamientos de aves tiene una gran demanda y la región es un paraíso para los observadores, con muchas especies endémicas y migratorias en su hábitat natural.

Debemos entender como agronegocios, también conocidos como negocios agropecuarios, los que se refieren a las actividades económicas relacionadas con la producción, procesamiento, comercialización y distribución de productos agropecuarios. No sólo se trata de sembrar y cosechar, sino también de empacar, transportar, vender y hasta exportar productos agrícolas. Además, pueden incluir el uso de tecnología, servicios financieros, asesoría técnica y cadenas de valor. En este sentido, garantizan la seguridad alimentaria al asegurar la producción y disponibilidad de alimentos básicos (esenciales). También promueven la diversificación económica, reduciendo la dependencia de la importación de materias primas y con el uso de la biotecnología fomenta la innovación y tecnología.

RETOS Y OPORTUNIDADES

Hoy en día existen grandes desafíos para los agronegocios en el mundo, desde la postura del gobierno de Estados Unidos con el presidente Donald Trump quien propone aranceles a productos agropecuarios, y la búsqueda de la política de proteccionismo. Mientras tanto, China replantea el escenario del comercio internacional, el cambio climático y la degradación ambiental, además de la aplicación de la tecnología, que va a desarrollarse.

A pesar de los avances y el potencial de los agronegocios en la región, el Soconusco enfrenta desafíos que limitan su pleno desarrollo. Para darle respuesta a estos obstáculos, deben ser abordados con estrategias claras y participativas para asegurar una mejora socioeconómica sostenible.

ATENCIÓN CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL

El medioambiente ha hecho que existan lluvias irregulares, aumento de la temperatura y sequías prolongadas que afectan directamente a los cultivos. El café, por ejemplo, ha sido duramente golpeado por la roya (enfermedad fúngica relacionada con el cambio climático), mientras que la producción de mango y cacao se ve amenazada por la pérdida de polinizadores y la erosión del suelo. Los monocultivos, como la palma africana para la extracción del aceite, también genera conflictos ambientales, incluyendo la deforestación y la disminución de la biodiversidad. La sobreexplotación de acuíferos y el uso excesivo de los agroquímicos hacen lo propio para el deterioro de los ecosistemas locales.

LA POBREZA, MIGRACIÓN Y MARGINACIÓN RURAL

A pesar del potencial económico que existe en el campo, en comunidades del Soconusco se vive en condiciones de pobreza. El trabajo agrícola es a menudo mal remunerado y estacional, lo que genera inseguridad económica. Se cuenta con mano de obra por medio de la migración, personas que llegan año con año a realizar el trabajo de campo y ayuda para que se pueda obtener la cosecha en tiempo y forma. Esto enriquece de forma cultural a la región, con maneras de trabajar, de vivir, vestir y alimentarse. Sin embargo, esta situación provoca e impulsa a muchos jóvenes a migrar a otras regiones del país o incluso a Estados Unidos, dejando a sus comunidades envejecidas y con menos mano de obra capacitada. La falta de una buena infraestructura dentro de las comunidades no ayuda al equilibrio social. Se suma a esto la falta de servicios básicos como agua potable, salud, electrificación, educación y caminos en buen estado, lo que sigue limitando el desarrollo rural.

Dentro de la migración interna, las personas de comunidades rurales en el Soconusco se trasladan a ciudades como Tapachula en busca de empleo por la falta de oportunidades en el campo y una mejora de vida con mayores oportunidades laborales (en el área del comercio, la construcción y los servicios), motivo para el crecimiento urbano. En la migración internacional, sorteándose un viaje en condiciones difíciles, los migrantes ven en el Soconusco una ruta importante para su caminar, principalmente migrantes de Centroamérica, del triángulo centroamericano (Guatemala, Honduras y El Salvador), que buscan llegar a los Estados Unidos. Aunque en los últimos años han venido de muchas partes del mundo, desde el continente africano, Asia y Sudamérica.

ACCESO LIMITADO A FINANCIAMIENTO Y TECNOLOGÍA

Algunos pequeños productores no pueden tener acceso a créditos agrícolas formales, por diferentes razones, ya sea por falta de garantías, falta de historial crediticio, desconocimiento de los trámites o por falta de apoyos de parte de la banca nacional o de los planes del gobierno. Lo que complica comprar insumos de calidad para afrontar las emergencias como plagas o desastres naturales. Los técnicos en el tema de extensionismo hablan de la agricultura 4.0, pero en más del 70% del territorio de la región del Soconusco no cuenta con acceso a internet haciendo más grande la brecha tecnológica. Poco a poco los productores y los emprendedores han ido incorporando tecnología y procesos con criterios más científicos en el campo, haciéndolo más productivo, con maquinaria de vanguardia (como la fumigación por medio de drones) y software de última generación.

POLÍTICAS PÚBLICAS Y PROGRAMAS DE APOYO

Los niveles de gobierno, federal, estatal y municipal tienen un papel preponderante en el fortalecimiento de los agronegocios en el Soconusco. A lo largo de los años, se han implementado diversos programas que buscan incentivar la producción, mejorar

la infraestructura rural y promover la comercialización de productos agropecuarios. Programas como Producción para el Bienestar, Sembrando Vida y Precios de Garantía buscan apoyar directamente a los pequeños productores con transferencias económicas, árboles frutales, capacitación y acompañamiento técnico. También se han promovido acciones para mejorar la autosuficiencia y acompañamiento técnico, para mejorar la autosuficiencia alimentaria y reducir la dependencia de importaciones.

El gobierno del estado de Chiapas ha impulsado programas enfocados en el café, el cacao y la reconversión productiva, ha apoyado ferias agroalimentarias, certificaciones de productos y la apertura de mercados regionales. A nivel municipal, algunos ayuntamientos han creado oficinas de desarrollo agropecuario, promoviendo la compra directa a productores locales y gestionando recursos para mejorar la infraestructura en caminos saca cosecha. Los agronegocios en el Soconusco representan mucho más que una actividad económica, son una herramienta poderosa para transformar la realidad de miles de familias rurales. A través de la integración de la cadena agroalimentaria, la innovación tecnológica, el respeto al medio ambiente y la inclusión social, es posible construir una región más justa, próspera y sostenible.

Para los estudiantes universitarios, este tema no sólo debe ser motivo de análisis académico, sino también una invitación a participar activamente en la transformación del campo. Ya sea como técnicos, emprendedores, investigadores o líderes comunitarios, las y los jóvenes pueden y deben ser protagonistas del desarrollo de sus regiones. El Soconusco tiene todo para convertirse en un modelo de desarrollo rural exitoso, basado en los agronegocios. El futuro dependerá del compromiso de sus actores y de una visión compartida que ponga en el centro a las personas, la tierra y el conocimiento.

Los agronegocios y la agroindustria han sido fundamentales para la construcción de una fortaleza socioeconómica. A través de la diversificación de cultivos, la transformación de productos agrícolas, la adopción de tecnologías innovadoras y el fortalecimiento organizacional, la región ha logrado mantener su relevancia en el ámbito nacional e internacional. El continuo apoyo a estas actividades es esencial para garantizar un desarrollo económico sostenible y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales. La agroindustria es un sector clave para el desarrollo económico de la región, con un potencial significativo para crecer y diversificarse. Con el apoyo adecuado, se pueden mejorar las condiciones de vida de los agricultores y fomentar un desarrollo sostenible y equitativo. Ubicada en la costa sur de Chiapas, es conocida por su biodiversidad, su clima cálido y su rica cultura. El turismo rural en esta área se ha vuelto cada vez más popular, ofreciendo a los visitantes la oportunidad de experimentar la vida rural, la naturaleza y las tradiciones locales. Aquí hay algunos aspectos destacados del turismo rural en el Soconusco:

Los agronegocios tienen una relevancia profunda y multifacética. No sólo son una actividad económica clave que impulsa la generación de empleo y la diversificación económica, también tienen un impacto positivo en el desarrollo social y ambiental de la región. Promover prácticas sostenibles y la integración de la cadena de valor agrícola podría asegurar un futuro más próspero para las comunidades de esta zona.

En México, el rambután es cultivado principalmente en Chiapas, contribuyendo con el 96.4% de las más de 9,000 toneladas obtenidas anualmente. Estados Unidos es un cliente consolidado en las exportaciones de rambután de México, con compras anuales de 4,490 toneladas en 2018. El valor de producción del rambután en México en 2022 fue de 124,463 millones de pesos.

Los agronegocios y la agroindustria han sido fundamentales para la construcción de una fortaleza socioeconómica. A través de la diversificación de cultivos, la transformación de productos agrícolas, la adopción de tecnologías innovadoras y el fortalecimiento organizacional, la región ha logrado mantener su relevancia en el ámbito nacional e internacional. El continuo apoyo a estas actividades es esencial para garantizar un desarrollo económico sostenible y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que los agronegocios han sido motor de desarrollo para la región Soconusco, desde el siglo XIX. Sin embargo, la aplicación de la ciencia para la innovación de los diferentes sectores que integran a los agronegocios es de vital importancia para potenciar que estos productos se diferencien en el mercado local, regional, nacional e internacional. En este sentido, la falta de agroempresas con esta visión innovadora e integradora dentro de la cadena de suministro, ha ralentizado el ingreso competitivo a los mercados antes mencionados, por carecer de características diferenciadoras que son requeridas en los mercados de especialidad. Los *comoditties* como tal, no ayudan para diferenciarse dentro de los mercados objetivo, es necesario contar con la participación integral de lo que llamaría el triple play: 1) agro empresas; 2) gobierno; y 3) academia, para generar mecanismos estructurados con un enfoque hacia la diversificación, innovación, investigación de mercados y conquista de nichos actualmente inexplorados.

El no hacer todo lo anterior condena a la región a depender de los precios internacionales y la competencia directa de países productores con artículos similares pero diferenciados sólo por precio, generando riqueza variada para la zona, y con ello tener ingresos limitados, poca generación de empleo, baja mejora en el desarrollo rural tanto en infraestructura como en los servicios. Por ello, voltear a ver a los agronegocios con esta visión integral sugiere un potencial impacto positivo en cada uno de los sectores ya citados a lo largo de este documento.

REFERENCIAS

Diario La Voz del Sureste (2017, diciembre 15). *Producción de azúcar, actividad con mayor derrama económica del Soconusco.* https://diariolavozdelsureste.com/2017/12/produccion-de-azucar-actividad-con-mayor-derrama-economica-del-soconusco/

Díaz, E. O. (2015). *De Pantanos, Manglares y Cacaotales. La Provincia Colonial Del Soconusco De 1524 a 1790,* UNAM.

El Heraldo de Chiapas (2021, enero 9). *En el Soconusco aplican nuevas tecnologías al sector agrícola.* Recuperado de https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/en-el-soconusco-aplican-nuevas-tecnologias-al-sector-agricola-6220870.html

Noticias de Chiapas (2024, octubre 25). *Desarrollan capacidad de alumnos y productores del Soconusco con alianzas estratégicas.* https://noticiasdechiapas.com.mx/2024/10/25/desarrollan-capacidad-de-alumnos-y-productores-del-soconusco-con-alianzas-estrategicas/

Rosales Rodríguez, R. (2023). *Comercialización de Rambután de Cacahoatán para el mercado de Madrid, España.* UNACH.

Santacruz de León, E. E. (2007). *Las transformaciones económicas de la agricultura de exportación del Soconusco, en la segunda mitad del siglo XX* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/f7ec24d7-94fb-4fb0-bb25-43ffa5a60335

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024). https://www.inegi.org.mx/

Sotomayor, I. (2011). *Diseñan un plan para luchar contra el "Mal de Panamá", que afecta a los cultivos de banano y plátano.* Agencia Iberoamericana para la Difusión de Ciencia y Tecnología. //www.dicyt.com/viewNews.php?newsId2=3672

CAPÍTULO XVII
EL ROL DE LA INSECTICULTURA EN LA ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Emilio Hernández Ortiz, Marysol Aceituno Medina, Landy Fabiola Barrientos Soto, Carlos Gumaro García Castillo y Juan Díaz Velázquez[1]

INTRODUCCIÓN

El paradigma actual de los sistemas alimentarios establece que, por un lado, existe hambre y desnutrición; mientras que por otro lado un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano se desperdicia a nivel mundial, es decir, 1300 millones de toneladas de residuos alimentarios. De acuerdo con Gustavsson et al. (2011), del 60 al 70 % de los residuos alimentarios se utilizan como alimento para el ganado y el resto, entre el 30 % y el 40 %, se elimina en vertederos. Esto indica que al menos se están enviando 520 millones de toneladas de residuos alimentarios a los rellenos sanitarios. En forma general, un residuo alimentario es considerado "no peligroso". Sin embargo, su acumulación genera problemas ambientales por la producción de gases de efecto invernadero; además, hay contaminación del suelo y del agua (FAO, 2013). Reducir los residuos de alimentos es una forma eficaz de aliviar el estrés sobre los recursos hídricos y el medio ambiente para garantizar la seguridad alimentaria (Sun et al., 2018). La reducción de los residuos alimentarios no implica disminuir la producción, más bien se refiere al uso de modelos que optimicen la preservación y consumo de los alimentos. En caso de lograrse esto último se podría considerar la reducción de áreas cultivadas y con ello del uso de insecticidas y fertilizantes (Lu et al., 2015).

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas

La United States Environmental Protection Agency (EPA, 2024) utiliza el término general "alimentos desperdiciados" para los alimentos que no se utilizaron para el fin previsto, esto indica que se está desperdiciando un recurso valioso, mientras que "desperdicio de alimentos" implica que los alimentos ya no tienen valor y debe gestionarse como residuo. Los residuos alimentarios se producen en todos los lugares donde se desarrolla un sistema alimentario, en las huertas, fincas, milpas, campos de cultivo, en los centros de producción, en los centros de empaque, mercados populares, supermercados, centros de distribución, en los hogares, restaurantes, hoteles, tiendas de colonia, tiendas de conveniencia y centros de entretenimiento. En los supermercados, una gran parte de los alimentos a punto de caducar se donan a los mercados de alimentos. Por otro lado, en los mercados populares existentes en los países en desarrollo es común observar que los residuos alimentarios se utilizan en un sistema informal para la alimentación de ganado, pollos, iguanas, cocodrilos, conejos, puercos, etc. Esto indica que, aunque los residuos alimentarios tienen un valor económico, esto no refleja la existencia de una cadena de valor.

La valorización de los residuos de alimentos se ha convertido en una estrategia fundamental para el desarrollo sostenible, abordando desafíos tanto ambientales como económicos (Engelberth, 2020). Esta valorización ha consistido básicamente en la obtención de calor para generar finalmente energía eléctrica, por medio de: 1) la incineración y 2) uso en biodigestores para la producción de biogás (Siddiqui et al., 2024) y, en menor uso, la reformulación para alimento pecuario, aves y peces. En todos estos casos se genera una cadena de valor a la cual, actualmente, se le llama economía circular.

Los residuos generados en los ranchos, huertas, milpas y campos de producción difícilmente se pueden cuantificar por la gran complejidad poblacional y a que en su mayoría son ambientes rurales. Con respecto a los residuos producidos en hogares, restaurantes y centros de entretenimiento, de igual forma no existen datos precisos, pero es común observar en la basura un alto contenido de residuos alimentarios que, cuando se acumulan, generan problemas sanitarios. Estos residuos contribuyen con la abundancia de algunas plagas, entre ellas moscas, cucarachas y ratas que están relacionadas con la transmisión de enfermedades. Estos residuos se destinan en su totalidad a los rellenos sanitarios.

En los últimos años, se han desarrollado sistemas complejos para la desintegración de residuos orgánicos utilizando insectos, los cuales están clasificados como uno de los grupos con mayor eficiencia en el reciclado de material orgánico (Samayoa & Hwang, 2017; Yakti, et al. 2022).

INSECTICULTURA

La insecticultura es utilizada para el reciclado de los residuos orgánicos urbanos y agroindustriales. Lo cual, además de contribuir con la disminución de la contaminación ambiental, contribuye con la seguridad alimentaria al reciclar los residuos alimentarios en biomasa que se caracteriza por ser una fuente rica en

proteína, carbohidratos y lípidos (Hernández Ortiz & Aceituno-Medina, 2023). Los insectos son uno de los principales grupos de recicladores, para ello desintegran los tejidos vegetales y animales para posteriormente catabolizarlos a moléculas más simples (Diener et al., 2011; Dzepe et al., 2021; Fowles & Nansen, 2019), las cuales son transformadas en biomasa que puede ser utilizada como alimento deshidratado, producción de harinas y extractos proteicos que son utilizados para la formulación de alimento para animales. También se obtienen productos secundarios como los biocombustibles y el compostaje (Van Huis, 2013; Wang et al., 2017).

Un ejemplo de los insectos recicladores son las larvas de *Hermetia illucens L.* (*Diptera: Stratiomyidae*), las cuales se alimentan de una inmensa variedad de material orgánico y se han utilizado para la gestión de desechos a pequeña escala, utilizando sustratos como estiércol, paja de arroz, desechos de alimentos, granos de destilería, lodos fecales, subproductos del procesamiento de animales, desechos de cocina, entre otros, con tasas de conversión alimenticia superiores tanto a las de los grillos como a las de los gusanos de la harina (Wang & Shelomi, 2017). Las larvas de *H. illucens* son muy ricas en proteínas y aminoácidos, lo que las convierte en una excelente fuente de alimento para mascotas, aves y peces (Oonincx et al., 2015). Van Huis (2013) describe que el 80% del cuerpo de los insectos es alimento consumible, lo cual es un valor muy alto en comparación del 55 de la porción consumible del cuerpo de las aves y del puerco y del 40% de una res. La producción de insectos para obtener proteína tiene la ventaja que para producir 1 kg de insectos se requiere de 1.7 kg de alimento; mientras que para que las aves de corral, puercos y reses incrementen un kg de su peso se requiere de 2.5, 5 y 10 kg de alimento, respectivamente (Van Huis, 2013). Las larvas de *H. illucens* durante su desarrollo y crecimiento (18-25 días) presentan alta eficiencia en la conversión de residuos orgánicos porque pueden transformar el estiércol de ganado, aves y cerdos en masa corporal, reduciendo la masa de materia seca hasta en un 58% y los nutrientes asociados como el fósforo entre 61-70 %, mientras que para él nitrógeno entre un 30-50 %.

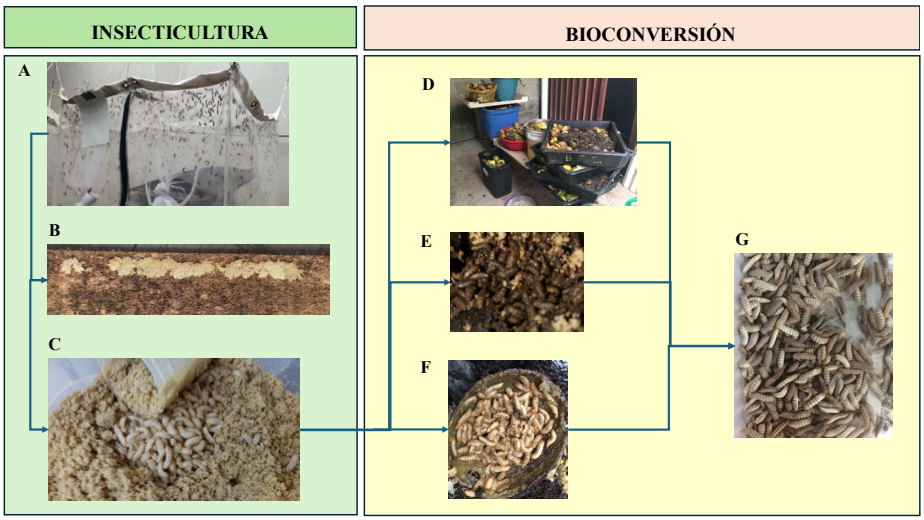
Otra especie de insecto que destaca por su elevada eficiencia en la conversión de diversos tipos de residuos orgánicos en biomasa es *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), comúnmente conocido como gusano de la harina. Esta especie representa un candidato ideal para el reciclaje de nutrientes y la producción de proteínas, puede ser criada en granjas especializadas bajo condiciones ambientales controladas. Su capacidad para transformar residuos alimentarios en biomasa con alta eficiencia convierte a esta especie en una alternativa innovadora y sostenible, al mismo tiempo que contribuye a mitigar los problemas asociados con la acumulación de desechos orgánicos (Kotsou et al., 2024).

El sistema de cría para la producción masiva a nivel industrial de *H. illucens* se describe en la Figura 1 (A-G) utilizando residuos alimentarios siguiendo los métodos establecidos en la Escuela de Sistemas Alimentarios de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, ubicada en el municipio de Tapachula, Chiapas. El confinamiento de los adultos se realiza en jaulas de malla tul en forma circular, lo cual evita la forma-

ción de pliegues que podrían ser utilizados por las moscas para oviposición en lugares no deseados, en lugar de los sustratos diseñados específicamente para este fin (Fig. 1A).

La recolección de los huevos se realiza mediante tablas que pueden presentar distintas dimensiones (Fig. 1B). En el proceso inicial, se emplea una dieta iniciadora compuesta por una mezcla de 90% harina de maíz, 5% azúcar y 5% levadura seca inactiva, destinada al desarrollo de las larvas neonatas (Fig. 1C). Los residuos utilizados como sustrato para el desarrollo y crecimiento de las larvas se colectaron en el Mercado San Juan, ubicado en Tapachula, Chiapas, entre estos residuos se incluyeron restos de naranja, melón, mango, manzana, carambola, plátano macho, banano, aguacates, lechugas, tomates, rábano, repollo, apio, etc. (Fig. 1 D, E, F). La separación de las larvas de los residuos debe realizarse después de 18 días que permanecen en el sustrato elaborado a base de residuos, momento que marca el inicio de la formación de pupas y en que las larvas comienzan a oscurecerse hasta adquirir una coloración negra, característica distintiva de esta etapa (Fig. 1G).

Figura 1.
Diagrama del uso de *Hermetia illucens* para la bioconversión de los residuos alimentarios.



[A] Jaula con adultos. [B] Huevos ovipositados sobre una tablilla. [C] Larvas neonatas desarrolladas en dieta iniciadora. [D] Residuos alimentarios colectados en el Mercado San Juan, Tapachula, Chiapas. [E] Desarrollo de la larva. [F] Desarrollo de la larva. [G] Larvas maduras.
Fuente: elaboración propia.

ECONOMÍA CIRCULAR

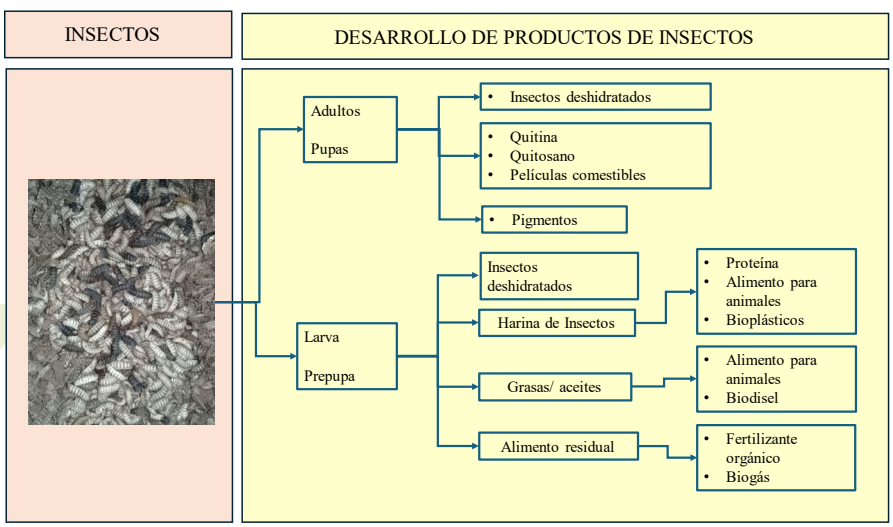
La economía circular es un sistema de uso de recursos a niveles múltiples que estipula el cierre completo de todos los ciclos de recursos. El reciclaje y otros medios que optimizan la escala y la dirección de los flujos de recursos contribuyen a la economía circular como prácticas y actividades de apoyo. En su concepción ideal, todos los ciclos de recursos estarán completamente cerrados. No obstante, en su aplicación práctica es inevitable la incorporación de nuevos recursos al sistema, lo que refleja las limitaciones inherentes a su implementación en contextos reales (Figge et al.,

2023). El concepto de economía circular se desarrolló para reintroducir los residuos en la economía como nuevos productos. La economía circular es una alternativa al sistema económico lineal de producción, consumo y eliminación como parte de los sistemas agroalimentarios sostenibles (Ouro-Salim & Guarnieri, 2021).

Los insectos se reconocen como los principales recicladores de materia orgánica y una alternativa viable para la producción de proteína de alta calidad mediante la transformación de los residuos agroalimentarios (Siddiqui et al., 2024). A nivel mundial, los sustratos utilizados para la producción de insectos consisten principalmente en una mezcla de subproductos y coproductos generados por las industrias agroalimentarias y con recursos que en su gran mayoría no se destinan al consumo humano (e.g. polvo de olote, derivados de granos de destilería, bagazo de caña, triturado de la planta de maíz).

El creciente interés en el establecimiento de nuevas plantas de cría de insectos ha intensificado la necesidad de diversificar los sustratos de volumen empleados a gran escala. Estos sustratos, que por lo general son residuos, suelen estar compuestos por un con alto contenido de fibra y son sustratos alimentarios o partes no comestibles de los frutos y vegetales que se consideran como "desechos de alimentos" que al ser considerados como fuente de alimento para los insectos estos materiales adquieren la categoría de "residuos", lo que contribuye a su valorización dentro de esquemas sostenibles de economía circular.

Figura 2.
Productos derivados del procesamiento de los insectos.



Fuente: elaboración propia.

El procesado industrial de algunos productos vegetales produce residuos ricos en proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas; así como de otros compuestos bioactivos, que podrían utilizarse para el desarrollo de insectos que a su vez se pueden transformar en harinas, extracto proteico, productos como quitina, quitosano y algunas biopelículas. Además, se pueden extraer grasas, aceites, compuestos

bioactivos, entre otros. El residuo final se utiliza en formulación de composta. De acuerdo con Salomone et al. (2017), es posible producir 29.6 kg de larvas secas de *H. illucens* por tonelada de residuos alimentarios, con un contenido de proteínas y grasas del 42 y el 35%, respectivamente. Lo anterior contribuye con la posibilidad de producir 1) Extractos proteicos aumentando la seguridad alimentaria y con aplicaciones en el fortalecimiento de la nutrición 2) Aceites que pueden tener usos múltiples, entre ellos, como combustible con diversos usos industriales, incluyendo su posible empleo como biocombustibles, 3) Desintegración y transformación para evitar la acumulación de residuos orgánicos, actividad que contribuye significativamente a la mejora ambiental, al reducir los impactos negativos asociados con la bioacumulación. Ejemplos de estos residuos incluyen cáscaras y bagazos de mango, así como frutos descartados por no cumplir con los estándares de calidad comercial, tales como banano, zanahoria, naranja y mango (Figura 2) (Siddiqui et al., 2024).

CONSUMO DE INSECTOS Y LEGISLACIÓN

Las evidencias arqueológicas sugieren que los insectos han desempeñado un papel crucial en la nutrición de los humanos a lo largo de su historia, que se remonta a 1.8 millones de años. A pesar de esta práctica histórica, el consumo actual de insectos se limita principalmente a las prácticas tradicionales en ciertas regiones como México, Asia y Australia (Meyer-Rochow et al., 2021). Este comportamiento se debe en gran medida a la "neofobia alimentaria" que rodea al consumo de insectos. Sin embargo, a partir de 2021, tres especies de insectos han recibido la aprobación para el consumo humano seguro por parte del Parlamento y Consejo Europeo. En particular, el 12 de noviembre de 2021 autorizaron la comercialización de formas congeladas, secas y en polvo de *Locusta migratoria Linnaeus* (*Orthoptera: Acrididae*), el 1 de junio de 2021 la comercialización de larvas secas de *Tenebrio molitor* Linnaeus (*Coleoptera: Tenebrionidae*) como nuevo alimento y, más recientemente, el 5 de enero de 2023, las formas congeladas, en pasta, secas y en polvo de larvas de *Alphitobius diaperinus Panzer* (*Coleoptera: Tenebrionidae*) (gusano de la harina menor). El gusano de la harina es el primer insecto reconocido como comestible por la European Comission (EC, 2017) para uso en acuicultura, en 2021 para alimento de ganado (EC, 2021) y autorizado por la European Food Safety Authority (EFSA, 2021) como fuente de proteína para humanos. Entre una lista de más de 2,000 especies comestibles de insectos, el gusano de la harina es una de las especies más rentables para la producción de proteína.

IMPACTO DE LOS RESIDUOS

Los residuos de alimentos se consideran "no peligrosos", sin embargo, su acumulación en grandes cantidades a medida que las poblaciones incrementan se vuelve una preocupación mundial debido a las complicaciones para su eliminación en corto tiempo, sus impactos ambientales, económicos y sociales (Garrone et al., 2014; Siddiqui et al., 2024). La cuantificación de los residuos alimentarios es fundamental

en los distintos contextos que son generados, tanto urbanos como rurales, con el propósito de identificar su disponibilidad y potencial para ser utilizados como sustratos en la producción sostenible de insectos (CCA, 2019; EPA, 2024).

IMPACTO AMBIENTAL

Los residuos alimentarios que terminan en los vertederos se descomponen anaeróbicamente, produciendo metano, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el dióxido de carbono. La descomposición de residuos orgánicos, como los alimentos o la materia vegetal, libera dióxido de carbono a la atmósfera. Para reducir estas emisiones, es crucial implementar sistemas de gestión de residuos que utilicen rutas bioquímicas de descomposición diferentes, como el compostaje o la digestión anaeróbica. No obstante, el reciclado de residuos por los insectos produce tanto metano como dióxido de carbono, pero en cantidades significativamente menores (Jafir et al., 2024). Los insectos presentan claras ventajas desde los puntos de vista económico y ecológico. Requieren considerablemente menos espacio, una cantidad mínima de agua (dependiendo principalmente de la humedad) y una reducción de alimento para completar su ciclo de vida biológico en comparación con las fuentes de proteínas tradicionales (van Huis, 2013; Liang, 2024).

IMPACTO ECONÓMICO

El residuo de alimentos tiene un costo que incluye el costo directo de los alimentos desperdiciados, así como el costo de los recursos utilizados en su producción, los gastos asociados a su transporte y almacenamiento, así como el costo de su eliminación. Para las empresas, en particular en los sectores de la alimentación, la venta minorista y la hostelería, el desperdicio de alimentos representa una pérdida de ingresos potenciales y un aumento en los costos operativos (Pal et al., 2024). A nivel mundial, el impacto económico del desperdicio de alimentos se estima en más de un billón de dólares anuales, lo que pone de relieve la magnitud del problema y los posibles beneficios de la reducción del desperdicio (Kag et al., 2024).

IMPACTO SOCIAL

El residuo de alimentos tiene implicaciones en la seguridad alimentaria y la equidad. Mientras se desperdician grandes cantidades de alimentos, millones de personas en todo el mundo padecen hambre y desnutrición (FAO, 2017). La redistribución de los excedentes de alimentos hacia quienes los necesitan constituye una estrategia esencial para abordar esta paradoja. Sin embargo, aunque los bancos de alimentos y los comedores comunitarios desempeñan un papel crucial en la recuperación de excedentes y su distribución a poblaciones vulnerables, persisten desafíos logísticos que deben ser resueltos, especialmente aquellos relacionados con los costos para el transporte por largas distancias.

BIOCONVERSIÓN DE LOS RESIDUOS ALIMENTARIOS

Los índices para estimar la transformación de la biomasa de residuos alimentarios en biomasa de insectos, entre ellos se incluye el porcentaje de transformación biomasa-biomasa, los kilogramos de biomasa de residuos requeridos para producir un kilogramo de biomasa de insectos y el número de larvas requeridas para transformar un kilogramo de residuos alimentarios (Cuadro 1).

Los volúmenes de desperdicios alimentarios corresponden a 45% frutas y verduras, 35% alimentos marinos, 30% cereales, 20% productos lácteos, 20% carne y 25% agua dulce utilizada para producir alimentos (Amicarelli et al., 2021).

Cuadro 1.
Índices de bioconversión utilizados para estimar la eficiencia de la transformación de los residuos alimentarios a biomasa de insectos.

Índices	Ecuación
Eficiencia de bioconversión de biomasa (EBB) (Wang et al., 2017)	EBB = kg totales de biomasa larvaria /kg de biomasa de alimento consumido × 100%
Proporción de conversión alimenticia (PCA) (Wang et al., 2017)	PCA = kg alimento consumido / kg totales de biomasa larvaria
Gramos de alimento consumidos por larva	Gramos de alimento consumido/ No. de larvas
N° larvas para bioconvertir 1-kg de residuos	1000/ Gramos de alimento consumidos por larva

Fuente: elaboración propia.

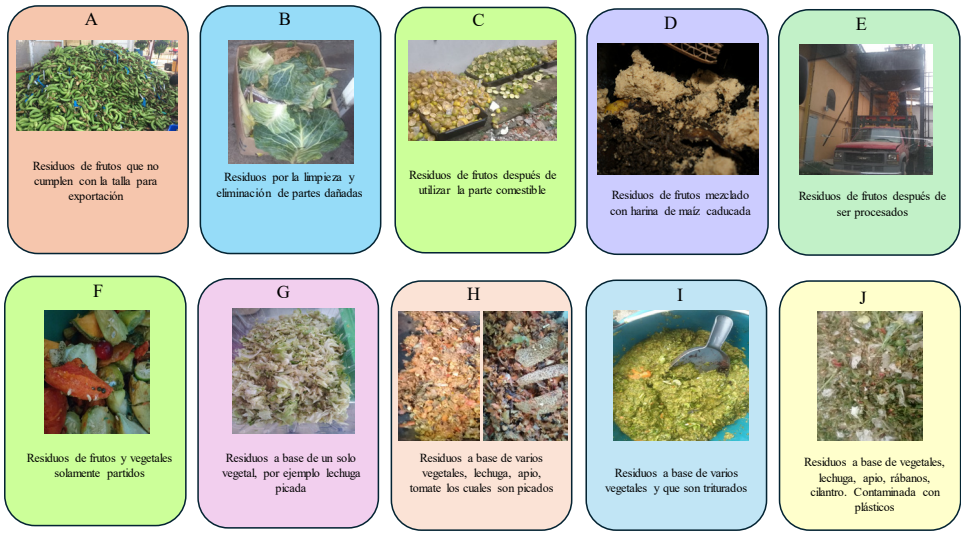
INSECTOS RECICLADORES: EL CASO DE *HERMETIA ILLUCENS*

La cría de *H. illucens* en el Laboratorio de Entomocultura y Biorecursos de la escuela de Sistemas Alimentarios de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas, se ha realizado en residuos de banano clasificado de acuerdo a las normas de calidad como de segunda clase, por ello ciertas empacadoras donan estos frutos para fines experimentales o como forraje (Fig. 3A). Los mercados locales, entre ellos el Mercado San Juan de Tapachula, Chiapas, desechan frutas y verduras, por ejemplo, descartan hojas externas de repollo que presentan manchas o daños (Fig. 3B). En dichos establecimientos son habituales los puestos de jugos de naranja, cuyos bagazos y cáscaras se eliminan tras la extracción del zumo (Fig. 3C). En algunos casos podemos utilizar harinas caducadas para regular el exceso de humedad de los sustratos (Fig. 3D). El estado de Chiapas es uno de los principales productores de mango, por lo que las empacadoras han empezado a explorar la producción de productos de mango deshidratado, lo cual genera residuos como la cáscara y la semilla, ambos contienen residuos de pulpa (Fig. 3E). Las semillas además se pueden triturar y el producto ser utilizado como agente de volumen en la dieta, mientras que el embrión aporta nutrientes adicionales. Por último, las larvas se pueden desarrollar en trozos de frutos (Fig. 3F).

La larva de *H. illucens* se puede desarrollar en dietas preparadas con un solo producto vegetal, por ejemplo, lechuga picada (Fig. 3G), en una dieta de residuos de varios productos vegetales y frutos que se pican (Fig. 3H) que permiten un mejor

desarrollo, característica determinada por un mayor tamaño y peso de la larva. Además, se pueden utilizar dietas a base de residuos triturados de varios frutos y verduras (Fig. 3I) que presentan la ventaja de una mayor biodisponibilidad de nutrientes y favorecer el desarrollo de las larvas. Un problema común es que los residuos vegetales colectados en los mercados traen agentes contaminantes como plásticos, papel y cartón, los cuales a veces no pueden ser separados y se pican junto con los productos vegetales y con ello están presentes en la dieta (Fig. 3J).

Figura 3.



[A] Banano clasificado como de calidad de segunda colectado de los depósitos de desecho de una empacadora en Tapachula Chiapas. Residuos disponibles en el mercado San Juan de Tapachula, Chiapas, [B] Hojas de repollo que desechan una vez que eliminan las partes dañadas y [C] Residuos de las naranjas utilizadas para extraer el jugo. [D] Residuos más harina de maíz caducada. [E] Residuos de mango de una deshidratadora en Tapachula, Chiapas. [F] Residuos vegetales y frutales partidos. [G] preparación de una dieta a base de lechuga picada. [H] Dieta a base de residuos de varios productos vegetales y frutos que son picados. [I] Dieta a base de residuos triturados de varios frutos y verduras. [J] Dieta a base de residuos de varios frutos y vegetales sin eliminar los plásticos y fibras contaminantes.
Fuente: elaboración propia.

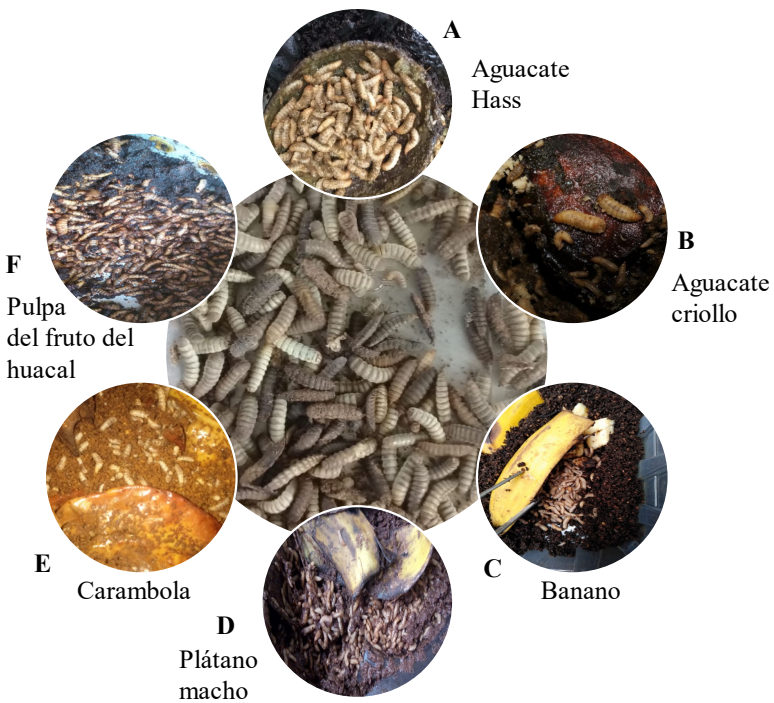
El uso de residuos colectados en empacadoras de frutas y verdura presentan ventajas de ser productos lavados y desinfectados, ya que son eliminados por no cumplir con el tamaño o peso. Además, están libres de contaminantes. Mientras que una desventaja de colectar los residuos en los mercados locales o de residuos de origen doméstico por lo general contienen materiales contaminantes difíciles de separar.

Entre los sustratos vegetales que permiten el desarrollo de la larva de *H. illucens* se encuentran el aguacate Hass (Fig. 4A) y criollo (Fig. 4B) sobremaduros, los cuales se pueden utilizar solo partidos en dos y las larvas se encargan de desintegrarlos y solo se requiere colocarlos sobre las larvas. El banano colectado en empacadoras, el cual se clasifica de segunda calidad por no cumplir con la talla, debe ser madurado hasta que se torne en color amarillo y se debe partir para facilitar su uso por las

larvas (Fig. 4C). El plátano macho (Fig. 4D) se acepta tanto verde como maduro, aunque es mucho mejor utilizarlo maduro o sobremaduro. La carambola se debe utilizar madura, es decir, cuando adquiere el color amarillo y se debe picar (Fig. 4E). La pulpa de huacal (Fig. 4F) requiere que el fruto se parta y se extraiga de la pulpa o bien solo colocar las partes expuestas sobre las larvas.

El manejo de las dietas elaboradas con residuos vegetales y de frutos requiere que continuamente se estén drenando, se debe evitar la acumulación de agua. El agua no constituye por sí misma un factor de mortalidad; sin embargo, tiende a lavar a los residuos y generar condiciones de pH que no son propios para el desarrollo de larva. Los residuos deben permitir la aireación y el movimiento libre de las larvas. Las dietas deben permanecer en condiciones de oscuridad total.

Figura 4.
Desarrollo completo de las larvas de *Hermetia illucens.*



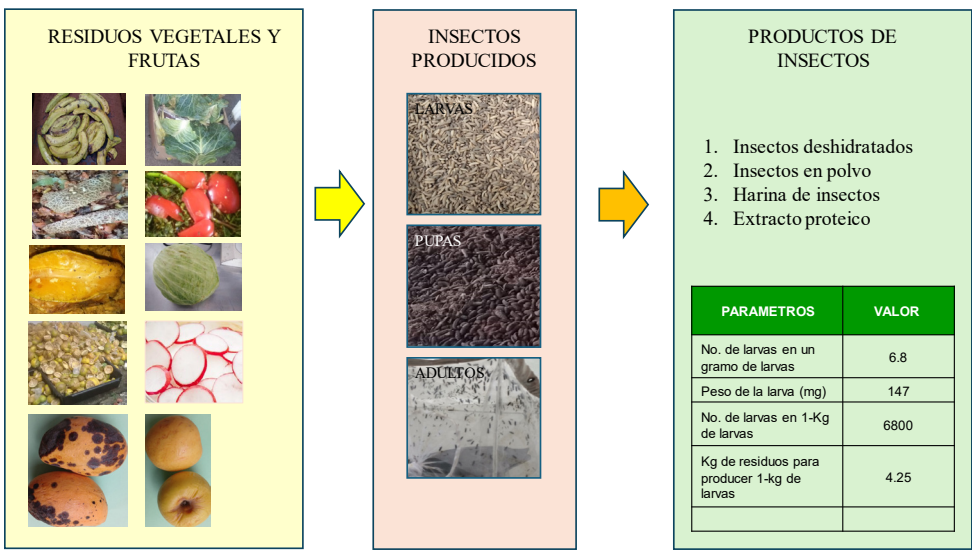
en [A] en la pulpa de aguacate Hass sobremaduro. [B] pulpa de aguacate criollo colectado en Tapachula, Chiapas. [C] banano o guineo madurado en el laboratorio y tomado de los depósitos de desecho de una en Tapachula, Chiapas. [D] plátano macho sobre maduro. [E] carambola madura la cual es rasgada con un cuchillo y colocada sobre la dieta. [F] pulpa de huacal criollo de Tapachula, Chiapas.
Fuente: elaboración propia.

La diversificación de sustratos de alimentación es un tema de suma importancia para el desarrollo de las larvas de los insectos. En este sentido, es posible desarrollar dietas elaboradas con un solo producto vegetal, fruta o verdura (Fig. 5A), los cuales pueden ser picados, molidos o triturados. Las larvas, pupas y adultos (Fig. 5B) pueden ser utilizados para obtener una serie de productos, entre ellos insectos deshidratados,

los cuales pueden ser triturados o pulverizarlos, convertirlos en harina o en extracto proteico (Fig. 5C), productos que pueden ser utilizados para elaborar alimentos formulados para ganado, peces y pollos. Además, el extracto proteico puede ser empleado para la elaboración de alimentos con un alto contenido de proteínas.

Los parámetros (Fig. 5C) indican el potencial que tienen los insectos para transformar los residuos alimentarios en biomasa de insectos y posteriormente utilizarlos para producir un extracto proteico. La implementación de un sistema de cría requiere de la estimación de la calidad del número de huevos por gramo, número de larvas por gramo, el peso de la larva, el número de larvas por kg y con ello, calcular los índices de bioconversión (Fig. 5).

Figura 5.



PARAMETROS	VALOR
No. de larvas en un gramo de larvas	6.8
Peso de la larva (mg)	147
No. de larvas en 1-Kg de larvas	6800
Kg de residuos para producer 1-kg de larvas	4.25

[A] Residuos alimentarios que se han utilizado en el Laboratorio de Entomocultura y Biorecursos de la Escuela de Sistemas Alimentarios de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas para la cría de Hermetia illucens. [B] Estados de desarrollo de H. illucens que han sido producidos a nivel semi-masivo. [C] Productos que se han obtenido y parámetros de producción de H. illucens. Fuente: elaboración propia.

ACTIVIDADES FUTURAS: I & D PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA GRANJA DE INSECTOS

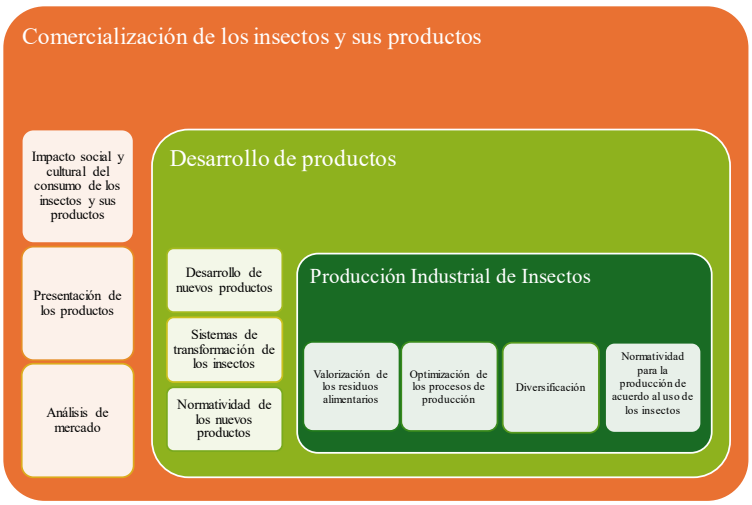
Una granja de insectos puede ser definida como "Una unidad dedicada a la cría de insectos y a la obtención de sus derivados, que pueden ser utilizados para consumo humano o animal, aplicaciones industriales y el control biológico de plagas". Entre las especies comúnmente cultivadas se encuentran las abejas para producción de miel, gusanos de seda, mosca soldado, tenebrios, grillos, chapulines como fuente de proteína. Además, se pueden producir insectos para el control biológico o para la técnica del insecto estéril (Hernández Ortiz & Aceituno-Medina, 2023; Hernández et al., 2024).

El establecimiento de una granja de insectos a base de residuos alimentarios requiere de varios pasos: 1) Entender y darles valor económico a los residuos alimentarios que actualmente se consideran como basura sin valor alguno. 2) Optimizar los

sistemas de cría para aumentar la bioconversión biomasa-biomasa. 3) Diversificar los sistemas de cría incluyendo, al menos tres especies bajo el concepto de un sistema con múltiples variedades. 4) Describir la normatividad para la estandarización de los sistemas de cría de acuerdo con el uso de los insectos y de sus productos: pecuario, peces, aves de corral y para consumo humano. 5) Desarrollar nuevos productos, por ejemplo, alimentos balanceados utilizando los productos de insectos. 6) Desarrollar las tecnologías para la transformación de los insectos en sus productos. 7) Normatividad para el empacado, movilización y comercialización de los insectos y sus productos. 8) Efectuar estudios para determinar los niveles de aceptación social con base en los usos y costumbres de las diferentes clases socio-económicas de las poblaciones humanas. 9) Desarrollar los sistemas de presentación para la comercialización. 10) Llevar a cabo un análisis de mercado.

La figura 7 ilustra que se pueden utilizar diversas especies para la transformación de los residuos alimentarios, entre ellos chapulines, escarabajos, grillo y moscas. Además, estos productos pueden ser usados para la formulación de alimentos balanceado y peletizado para animales. Los pellets pueden ser utilizados como alimento para peces de acuario, animales domésticos, entre otros.

Figura 6.
Modelo que describe las actividades futuras para impulsar la producción, transformación de los insectos y sus productos.



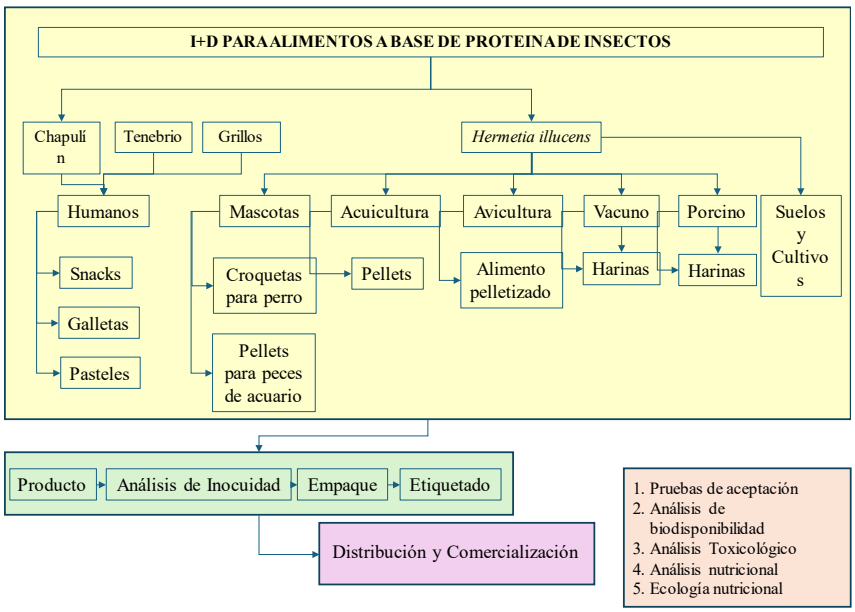
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los avances tecnológicos actuales facilitan la puesta en marcha de proyectos destinados a la creación de granjas o plantas para la producción industrial de insectos. Sin embargo, se requiere del desarrollo de normas que regulen el manejo y los sistemas de cría de acuerdo con el uso final de los insectos y sus productos. Se requiere del desarrollo de nuevos productos, desarrollo de sistemas de empaque de acuerdo con su comercialización. Es necesario realizar investigaciones de aceptación socio-cultural para el consumo

de los insectos y sus derivados. Se debe trabajar con aspectos sobre la valorización de los residuos alimentarios y del valor ecológico que tiene su desintegración o transformación.

Figura 6.
Modelo general para aplicar la insecticultura para la transformación de los residuos alimentarios a nuevos alimentos.



Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

Amicarelli, V., Lagioia, G., & Bux, C. (2021). Global warming potential of food waste through the life cycle assessment: An analytical review. *Environmental Impact Assessment Review*, 91, 106677. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106677

Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (2019). *Por qué y cómo cuantificar la pérdida y el desperdicio de alimentos: guía práctica.* Montreal, 72 pp.

Diener S., Solano, N.M.S., Gutiérrez, F.R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization* 2: 357-363.

Dzepe, P., Nana, H. M., Kuietche, J.M., & Kimpara, O. Magatsing, et al. (2021). Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences, 3(2).* https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039-5

European Comission (EC). (2017). EU Comission Regulation 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation No 999/2001 of the European Parliament and of the Council and Annexes X, XIV and XV to Comission Regulation No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. *Official Journal of the European Union L* 138: 92-116. https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC166794/

European Comission (EC). (2021). Comission Regulation 2021/1372 of 17 August 2021 amending Annex IV to Regulation No 999/2001 of the European Parliament and of the Council as regards the prohibition to feed non-ruminant farmed animals, other than fur animals, with protein derived from animals. *Official Journal of the European Union L* 295:1-17. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1372/oj/eng

European Food Safety Authority (EFSA). (2021). *NDA Panel (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens)*.

Turk D., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Kearney J., Maciuk A., Mangelsdorf I., McArdle H.J., Naska A., Pelaez C., Pentieva K., Siani A., Thies F., Tsabouri S., Vinceti M., Cubadda F., Frenzel T., Heinonen M., Marchelli R., Neuhauser-Berthold M., Poulsen M., Maradona M.P., Schlatter J.R., Van Loveren H., Ververis E., Knutsen H.K. (2021). Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as novel food pursuant to regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J* 19:6343. https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6343

Engelberth, A.S. (2020). *Evaluating economic potential of food waste valorization: Onward to a diverse feedstock biorefinery.* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 26:100385. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100385

Fowles T.M. & Nansen, C. (2019). Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 39:31. doi.org/10.1007/s13593-019-0577-z

Figge, F., Thorpe, A.S., Gutberlet, M. (2023). Definitions of the circular economy: Circularity matters, *Ecological Economics* 208 (2023) 107823 https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107823

Garrone, P., Melacini, M., & Perego, A. (2014). Opening the black box of food waste reduction. *Food Policy*, *46*, 129–139. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.03.014

Gustavsson, J., Cederberg, C. & Sonesson, U. (2011). Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. Study Conducted for the International Congress Save Food! At Interpack, Düsseldorf, Germany. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/suistainability/pdf/Global_Food_Losses_and_Food_Waste.pdf

Hernández-Ortiz, E. & Aceituno-Medina, M. (2023). Insecticultura para la gestión de residuos orgánicos y bioeconomía circular: El caso de *Hermetia illucens*. Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH 1(10): 552-555.

Hernández, E., Aceituno Medina, M., Barrientos Soto, L.F., García Castillo, C.G., & Díaz Velázquez, J. (2024). Las granjas de insectos (*Hermetia illucens*) para la bioconversión de residuos agrícolas a proteína. XXXVI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz 2024. https://www.researchgate.net/publication/386083542_

Jafir M., Abbas M., Irfan M., Zia-Ur-Rehman, M. (2024). Advances and Technology Development in Greenhouse Gases: Emission, Capture and Conversion, Greenhouse Gases Emissions and Climate Change, 205-225.

Kag, S., Kumar, P., & Kataria, R. (2024). Potato peel waste as an economic feedstock for PHA production by Bacillus circulans. Appl. Biochem. Biotechnol, 196, 2451–2465. https://doi:10.1007/s12010-023-04741-1

Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E., & Lalas, S.I. (2024). Exploiting agri-food waste as feed for *Tenebrio molitor* larvae rearing: A Review. *Foods*, 13, 1027. https://doi.org/10.3390/foods13071027

Liang, Z. Zhu Y., Leonard W., Fang Z. (2024). Recent advances in edible insect processing technologies. Food Research International 182 (2024) 114137. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114137

Lu, Y., Song, S., Wang, R., Liu, Z., Meng, J., Sweetman, A.J., Jenkins, A., Ferrier, R.C., Li, H., Luo, W., Wang, T. (2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. *Environment International, 77(), 5–15.* https://doi:10.1016/j.envint.2014.12.010

Meyer-Rochow, V.B.; Gahukar, R.T.; Ghosh, S.; Jung, C. (2021). Chemical composition, nutrient quality and acceptability of edible insects are affected by species, developmental stage, gender, diet, and processing method. Foods 2021, https://doi.org/10.3390/foods10051036

Mohajan, H.K. (2012). Dangerous Effects of Methane Gas in Atmosphere, International Journal of Economic and Political Integration, 2(1): 3–10.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Food Wastage Footprint: impacts on natural resources.* Summary Report. Rome: Food and Agriculture Organization. https://www.fao.org/4/i3347e/i3347e.pdfOonincx, D.G.A.B., van Broekhoven, S., van Huis, A. & van Loon, J.J.A.. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food By- products. PLoS ONE 10(12): e0144601. https://doi:10.1371/ journal.pone.0144601

Ouro-Salim,O., & Guarnieri, P. (2021). Circular economy of food waste: A literature review. *Environ Qual Manage*, 1–18. https://doi.org/10.1002/tqem.21836

Pal, P., Singh, A.K., Srivastava, R.K., Rathore, S.S., Sahoo, U.K., Subudhi, S., Sarangi, P.K., & Prus, P. (2024). Circular bioeconomy in action: Transforming food wastes into renewable food resources. Foods 2024, 13, 3007. https://doi.org/10.3390/foods13183007

Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S. & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: application of life cycle assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140: 890–905. https://doi.org/10.1016/j.jclep ro.2016.06.154

Samayoa, A.C. & Hwang, S.Y. (2018). Degradation capacity and diapause effects *on oviposition of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae). Journal of Economic Entomology*, 111: 1682–1690. https://doi:10.1093/jee/toy078

Siddiqui, S.A., Harahap, I.A., Osei-Owusu, J., Saikia, T., Wu, Y.S., Fernando, I., Perestrelo R., & J.S. Cáamara. (2024). Bioconversion of organic waste by insects – A comprehensive review, *Process Safety and Environmental Protection* 187 (2024) 1–25. https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.122

Sun, S.K., Lu, Y.J., Gao, H., Jiang, T.T., Du, X.Y., Shen, T.X., Wu, P.T., & Wang, Y.B. (2018). *Impacts of food wastage on water resources and environment in China. Journal of Cleaner Production, S0959652618306802–. https:*//doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.0

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Sustainable Management of Food*. https://www.epa.gov/sustainable-management-food/sustainable-management-food-. Revisado el 8 de Julio del 2024.

Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. Annual Review of Entomology, 58(1), 563–583. https://doi:10.1146/annurev-ento-120811-153704

Van Huis, A., Itterbeek, J.V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., et al. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO-Forestry paper No. 171. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations- Rome. 201 pp.

Wang, Y-S & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. Foods, 6(10), 91–. https://doi:10.3390/foods6100091

Wang, H., ur Rehman, K., Liu, X., Yang, Q., Zheng, L., Li, W., Cai, M., Li, Q., Zhang, J. & Yu, Z. (2017). Insect biorefinery: a green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. *Biotechnol Biofuels,* 10:304. https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7

Yakti W., S. Schulz, V. Marten, I. Mewis, M. Padmanabha, A-J Hempel, A. Kobelski, S. Streif, & C. Ulrichs. (2022). The effect of rearing scale and density on the growth and nutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae. Sustainability 2022, 14, 1772. https://doi.org/10.3390/su14031772









CAPÍTULO XVIII
SÍNTESIS, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIONES DE NANOPARTÍCULAS EN LA AGRICULTURA: UNA REVISIÓN TÉCNICA E INTRODUCTORIA

Alexis Alejandro Salazar Navarro[1], José Gregorio Joya Dávila[1], Leslie Alondra Serrano Gómez[2], Carlos Moreno Cruz[1] y Daniel González Mendoza[1]

INTRODUCCIÓN

Nanotecnología y nanopartículas: definiciones básicas

Para comenzar a hablar de nanopartículas (NPs) y sus aplicaciones, es importante iniciar con las definiciones básicas de nanotecnología, mismas que gobiernan su desempeño, funcionalidad y propiedades fisicoquímicas. El término de nanotecnología proviene del griego "*nano*" que en un origen tomaba la definición de "enano", hoy en día, "nano" se relaciona con el prefijo (10^{-9}) y su significado para hablar de una milmillonésima parte de algo (Navarro et al., 2021; P. Thakur & Thakur, 2022). Por lo que cuando se habla de nanotecnología, se puede mencionar aquellas tecnologías, técnicas y herramientas que permiten diseñar, manipular y trabajar con los materiales del orden nanométrico (Saritha et al., 2022). La nanotecnología puede definirse como una ciencia multidisciplinaria basada en ciencias básicas como la biología, física, química y geología pero que puede aplicarse en diversas áreas de la ciencia como medicina, cosmética, farmacología, ciencia de los materiales, ciencias agrícolas, electrónica, entre otras (Prasad et al., 2022; P. Thakur & Thakur, 2022).

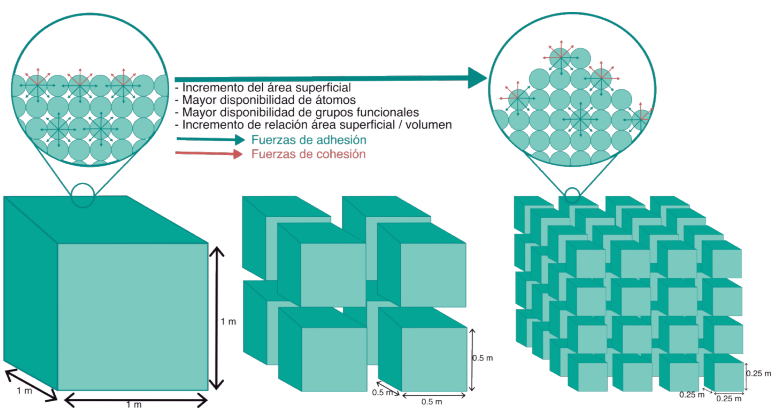
Por lo que se puede definir el término de nanopartículas como partículas dentro del rango nanométrico o que sus mediciones se encuentran alrededor de los nanómetros (nm, 10^{-9}m),

1 Universidad Autónoma de Baja California.
2 Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez.

aunque esto es cierto, hablando de funcionalidad, únicamente se consideran como nanopartículas aquellas que en cualquiera de sus ejes (X, Y, Z), presenten una medición de 1 a 100 nm (Salazar et al., 2024; P. Thakur & Thakur, 2022). Esto ocurre ya que dentro del rango de 1 a 100 nm algunas propiedades fisicoquímicas se potencializan o mejoran su desempeño debido al incremento de la relación que existe entre su área superficial y volumen (Figura 1), lo que incrementa la disponibilidad de sus átomos por encontrarse en la superficie y reaccionar con otros elementos o materiales (Findik, 2021). Además, su tamaño nanométrico favorece su transporte celular ya que dentro del rango de 1 a 100 nm se mejora su comportamiento coloidal (Ahmad et al., 2022; Beach et al., 2024).

La nanotecnología ha ganado popularidad últimamente en la agricultura, por ejemplo, se ha propuesto como una emergente alternativa para el control de plagas y enfermedades basado en la aplicación de fungicidas a base de nanopartículas, por ejemplo, en mejorar la eficiencia del producto, esto debido a que las nanopartículas del rango de 1-100 nm suelen comportarse como "moléculas grandes" en lugar de materiales en forma de "bulto" (Figura 1), lo que les permite tener una mayor interacción química con sus objetivos (Elsharkawy et al., 2022; Sabir et al., 2022). Por ejemplo, se han reportado la aplicación de nanopartículas de selenio en el control de hongos como *Aspergillus niger* y *Candida albicans*, así como la actividad antifúngica de nanopartículas de zinc contra *Aspergillus fumigatus*, a su vez, se han aplicado las nanopartículas de cobre en el control de *Tribolium castaneum*, la actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata y la capacidad de actuar como vehículos de nanopartículas de sílice, titanio y quitosano (El-Saadony et al., 2020; Jaiswal et al., 2012; Kazempour et al., 2013; Neeran, 2017; Ramezani et al., 2019; Zulfiqar et al., 2019). Adicionalmente, las nanopartículas obtenidas, se pueden funcionalizar mediante modificaciones superficiales, por ejemplo, se ha reportado la modificación de SiNPs con oligómeros de quitosano (COS) para el control de bacterias como *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) (Salazar et al., 2023).

Figura 1.
Comparación de los cambios fisicoquímicos y comportamiento de un material en forma nanoparticulada y en su forma macroscópica o de "bulto".

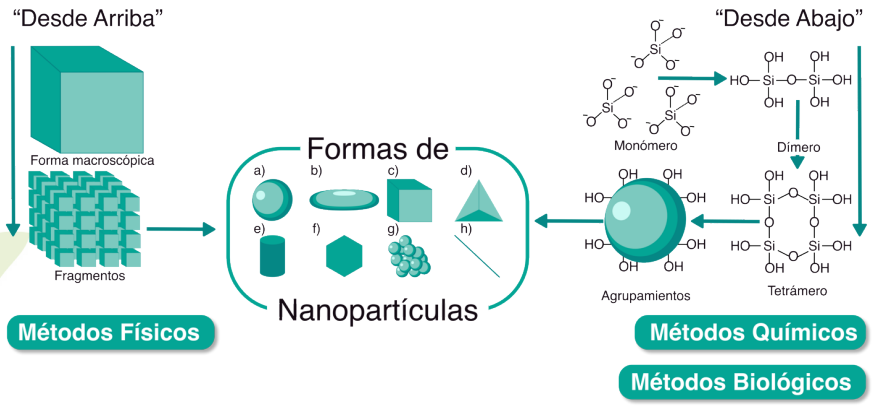


Fuente: Kumari et al. (2023); Lu et al. (2020).

Rutas y metodologías de síntesis

Las principales rutas de síntesis de nanopartículas suelen dividirse en diferentes segmentos, dependiendo del origen del material precursor y dependiendo del tipo de fuerza aplicada para la síntesis. Por ejemplo, dependiendo del origen del precursor, las rutas de síntesis pueden dividirse como "Bottom-up" y "Top-down" que se podrían traducir como "desde abajo" y "desde arriba" ya que hablan del origen del material precursor (Figura 2) (Kumari et al., 2023; Salazar et al., 2024; Szczyglewska et al., 2023). Cuando este, se obtiene desde un precursor químico como una sal o un compuesto granulado, se aprovechan los átomos del elemento de interés para "construir" una partícula tridimensional que idealmente se mantenga dentro del rango de 1-100 nm, se habla de las rutas "desde abajo" o "bottom-up". Por ejemplo, en la Figura 2 se representa la construcción nanopartículas de silicio (SiNPs) a partir de ácido silícico generado como monómero para su posterior polimerización controlada (Salazar & Salas, 2022). En cambio, cuando se parte de un material macroscópico como una lámina, un electrodo o incluso una piedra que contenga los elementos de interés y son sometidos a procesos de degradación para obtener partículas del orden nanométrico, se habla de las rutas "desde arriba" o "top-down". A su vez, las rutas de síntesis pueden dividirse en base a la técnica empleada, por ejemplo, si se siguió una síntesis química, mecánica o biológica (Abid et al., 2022; Baig et al., 2021).

Figura 2.
Principales rutas de síntesis de nanopartículas, partiendo "desde arriba" con materiales macroscópicos o "desde abajo" con precursores químicos para la obtención de nanopartículas de forma a) esférica, b) ovalada, c) cubica, d) piramidal, e) cilíndricas, f) hexagonales, g) aglomeradas, h) aguja, entre otras.

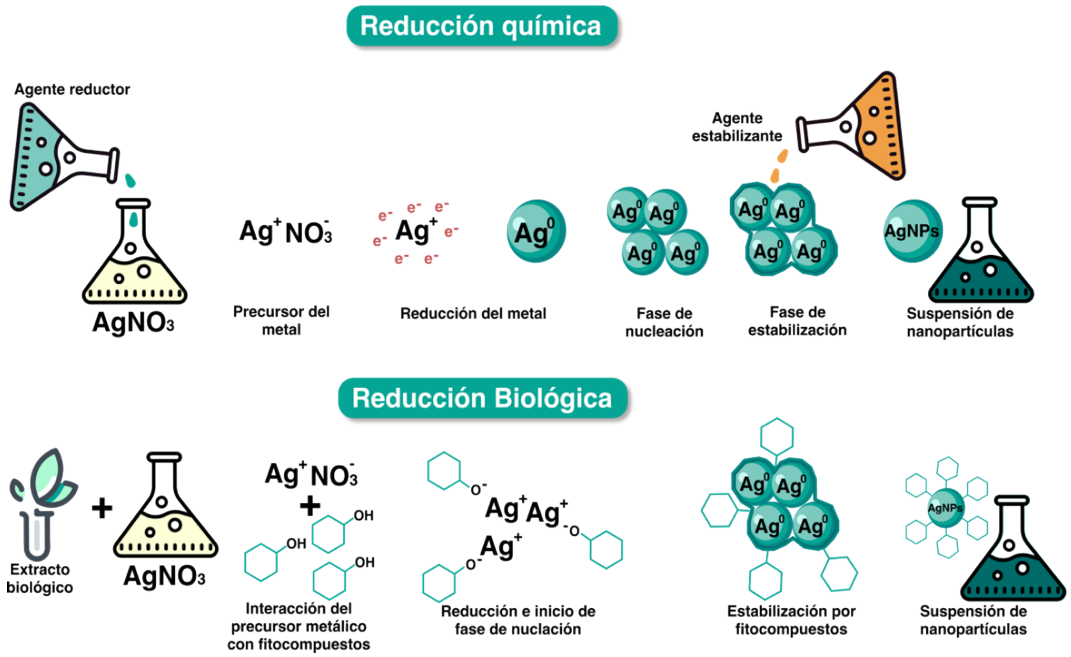


Fuente: Hamida et al. (2020); Kumari et al. (2023); Salazar & Salas (2022).

La síntesis química suele abarcar las metodologías Sol-Gel, a partir de la formación de "Soles (Sol)" que posteriormente tenderán a gelificar "Geles (Gel)" para formar estructuras sólidas, uno de los puntos clave en esta metodología es controlar la velocidad de gelación, un parámetro determinante para definir el tamaño de las nanopartículas y su homogeneidad. Mismo que suele controlarse modificando parámetro como materiales precursores, concentración de electrolitos, pH, temperatura,

velocidad de agitación, uso de solventes orgánicos y su velocidad de adición. La metodología Sol-Gel suele aplicarse mayormente a la síntesis de SiNPs pero también puede aplicarse para obtener TiNPs y ZnNPs (Brinker y Scherer, 1990; Gonçalves, 2018; Jeffrey Brinker, 2005).

Figura 3.
Obtención de Nanopartículas de Plata (AgNPs) a partir de reducción química y reducción biológica.



Fuente: Guilger & Lima (2019); Hamida et al. (2020); Jabeen et al. (2021); Kumari et al. (2023); Szczyglewska et al. (2023).

Otra popular ruta de síntesis química es la reducción química de metales (Figura 3), principalmente empleada para la obtención de AgNPs, CuNPs, ZnNPs, AuNPs y SeNPs. Durante esta ruta, se parte de sales precursoras del metal de interés, por ejemplo, nitrato de plata ($AgNO_3$), sulfato de cobre ($CuSO_4$), nitrato de zinc ($ZnNO_3$), por lo general disueltas en agua destilada, a las que se les agrega un agente reductor en presencia de un agente estabilizante, esto con la finalidad de reducir los metales disueltos en agua destilada para su posterior agregación y estabilización o recubrimiento con el agente estabilizante (Guilger & Lima, 2019; Hamida et al., 2020; Kumari et al., 2023; Szczyglewska et al., 2023). Los puntos críticos en esta metodología es encontrar sales precursoras solubles en el solvente de interés y la selección de los agentes reductores y estabilizantes, como el agente reductor inicia el proceso agregación, se busca que el agente estabilizante proteja rápidamente la partícula formada para mantenerla dentro del rango de los nanómetros (Szczyglewska et al., 2023). Dentro de los agentes reductores más comunes se encuentran ácido cítrico, glucosa, etilenglicol, ácido oxálico, ácido ascórbico y peróxido de hidrógeno. Mientras que dentro de los agentes reductores más comunes se encuentra el uso

de ácido oleico, acido linoleico, polivinilpirrolidona (PVA), alcohol polivinílico, polietilenglicol, así como el uso de surfactantes como Tween® 20 y Tween® 80 (Szczyglewska et al., 2023). En la Figura 3 se ejemplifica el proceso de obtención de AgNPs, aunque este aplique también para otros metales mediane reducción química o biológica, usualmente a las nanopartículas obtenidas a partir de reducción biológica se les denomina como fitonanopartículas o nanopartículas verdes. En el caso de la ruta de fitosíntesis de aprovechan los grupos funcionales de los fitocompuestos de extractos de origen vegetal o de cultivos de microorganismos para la reducción y estabilización de las nanopartículas verdes (Chaudhary et al., 2023).

Las nanopartículas, también pueden clasificarse dependiendo de la composición de la partícula, por ejemplo, se pueden mencionar nanopartículas orgánicas, inorgánicas y nanocompositos. Dentro de las nanopartículas orgánicas se pueden encontrar las partículas poliméricas a base de quitosano, maltodextrina, alginato, liposomas, albumina, celulosa, pectina, polivinilpirrolidona, entre otras. Mientras que en las inorgánicas las partículas de silicio (SiNPs), cobre (CuNPs), zinc (ZnNPs), plata (AgNPs), selenio (SeNPs), oro (AuNPs), entre otros. Mientras que, en los nanocompositos, se habla de la interacción de al menos 2 tipos de materiales como inorgánicos, orgánicos y metálicos. Aunque dentro de las nanopartículas orgánicas podrían clasificarse las estructuras de carbono, éstas suelen tener su propia clasificación, las nanopartículas a base de carbono, dentro de las cuales se pueden encontrar los fulerenos, fibras de carbono, nanotubos de carbono y grafeno (Joudeh & Linke, 2022; Mekuye & Abera, 2023).

Dentro de las nanopartículas inorgánicas, una de las de mayor interés de investigación son las nanopartículas de silicio, que puede obtenerse a partir de ambas rutas de síntesis y de diversos precursores como especies de silicatos completamente inorgánicos como el metasilicato de sodio o con partes orgánicas como el tetraetilortosilicato, el principal precursor en las metodologías de Sol-Gel. En cuanto a sus campos de aplicación, pueden encontrarse desarrollos en áreas de medicina, aeroespacial, textiles, farmacología y agronomía, principalmente debido a la gran versatilidad de las nanopartículas, tanto en cuanto a sus propiedades como a sus posibles morfologías y modificaciones (Chen et al., 2009; Craddock, 2018; Kappel et al., 2014; Kuroda et al., 2014; Moretto et al., 2000; Pape, 2011).

Por ejemplo, las nanopartículas de sílice pueden obtenerse desde esferas sólidas, hasta como esferas con núcleo diferente a la sílice, así como pueden obtenerse esferas mesoporosas que permite la encapsulación y liberación controlada con activos de interés, a su vez, las tres estructuras mencionadas pueden modificarse o funcionalizarse según su aplicación, tal puede ser la deposición de cationes metálicos para el control de diferentes microorganismos o la adición de surfactantes para mejorar la estabilidad de una suspensión o emulsión, e incluso la deposición de un fármaco de interés para asegurar su liberación paulatina (Chen et al., 2009; Craddock, 2018; Kappel et al., 2014; Kuroda et al., 2014; Moretto et al., 2000; Pape, 2011; Pawlenko, 2011).

TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Dynamic Light Scattering

La medición y el control del tamaño de las partículas a escala nanométrica son fundamentales, ya que el tamaño puede influir significativamente en las propiedades físicas y químicas de los nanomateriales (Joudeh y Linke, 2022). Una de las herramientas más utilizadas es la técnica de dispersión dinámica de luz (DLS) por sus siglas en inglés, es una técnica fisicoquímica no invasiva empleada de manera amplia en las investigaciones de nanomateriales, con el objetivo de determinar la distribución del tamaño hidrodinámico que va de nanómetros hasta micrómetros, de manera rápida, económica y con alta precisión estadísticamente (Jia et al., 2023). El método DLS utiliza el principio del movimiento browniano aplicado para muestras en solución, solución coloidal o suspensión. Este movimiento aleatorio debido a que las colisiones son más rápidas para partículas pequeñas y lento para partículas grandes (Segrè et al., 1995).

El principio de la técnica DLS se representa en la Figura 4. En ella se observa que, al incidir un haz de luz láser sobre una suspensión coloidal, las partículas dispersan la luz de forma variable a lo largo del tiempo debido a su movimiento browniano. La intensidad de la luz dispersada es registrada por un detector, a un ángulo de dispersión determinado, y estas variaciones están relacionadas con el tamaño hidrodinámico de las partículas. A partir del análisis de las variaciones es posible estimar el tamaño promedio y la distribución de tamaños mediante la ecuación de Stokes-Einstein (Segrè et al., 1995).

La técnica DLS posee un amplio potencial analítico, ya que permite determinar el índice de polidispersidad (PDI), un parámetro clave para evaluar la uniformidad y estabilidad de la distribución de tamaños de las partículas en suspensión. Por ejemplo, un PDI inferior a 0.05 indica una muestra monodispersa con alta uniformidad, mientras un PDI superior a 0.7 indica que la muestra es polidispersa, con una distribución de tamaño de partícula muy amplia, lo que sugiere una alta heterogeneidad, que podrían reflejar agregación en la muestra (Valdez et al., 2020).

Es importante resaltar que el DLS acoplado a un sistema de ELS (Electroforesis por dispersión de luz), mide el potencial Z. Este parámetro está relacionado con la estabilidad coloidal, ya que proporciona una estimación del comportamiento electrocinético de las nanopartículas en suspensión. Valores de potencial Z por encima de ± 30 mV suelen considerarse indicativos de una buena estabilidad, debido a las fuerzas de repulsión electrostáticas que evitan la agregación y sedimentación de las partículas (Akram et al., 2024; Bhattacharjee, 2016).

Microscopia electrónica de barrido

La caracterización por microscopia electrónica de barrido de alta resolución (SEM) tiene como objetivo estimar el tamaño y analizar la morfología de los nanomateriales. Esta técnica tiene amplias aplicaciones en ciencias de materiales, agricultura, biotecnología y procesos de nanofabricación. A través de SEM se producen

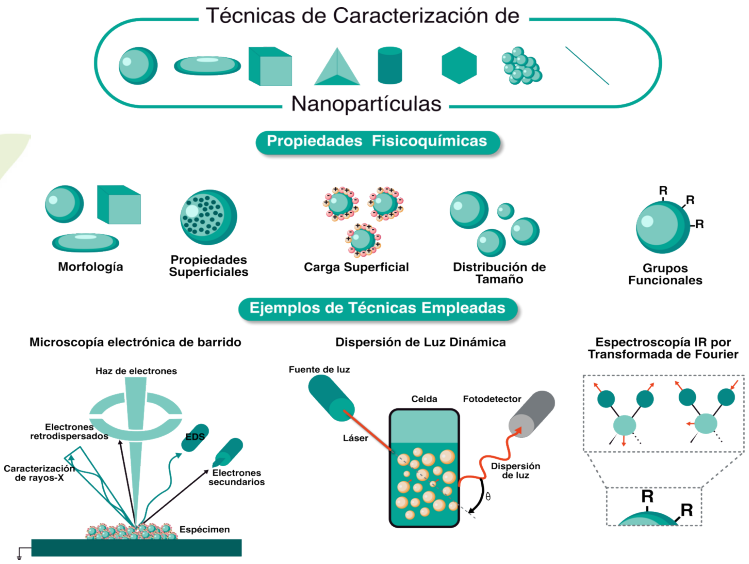
imágenes de alta resolución a partir de electrones secundarios y/o retrodispersados generados mediante la proyección del haz de electrones primarios enfocados sobre la superficie de una muestra (Lee et al., 2021), cómo se observa en la representación de SEM en la Figura 4.

Los microscopios electrónicos de barrido pueden estar equipados con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (EDS), que permite analizar la composición elemental de una muestra. Cuando la superficie de la muestra es bombardeada por el haz de electrones primarios del SEM a energías de hasta 30 keV, se generan rayos X característicos como resultado de la ionización de electrones en capas internas de los átomos, estas emisiones son detectadas y analizadas por el sistema EDS. Esta información permite identificar y cuantificar los elementos presentes en la muestra (Vladár y Hodoroaba, 2020; Hodoroaba, 2020).

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier

La espectroscopía infrarroja se basa en la absorción de radiación infrarroja por parte de las moléculas, lo que provoca la excitación a los modos vibracionales de sus enlaces químicos entre átomos. Cada tipo de enlace absorbe energía en una región específica del espectro, lo que permite identificar los grupos funcionales presentes en una muestra en estado sólido, líquido o gaseoso mediante su firma espectral característica (Pasieczna et al., 2023). La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) mide en una región del espectro de 4000 a 400 cm^{-1}. Por ejemplo, los grupos hidroxilo (–OH) en la región del espectro 4000–2500 cm^{-1}, banda ancha única, los carbonilos (C=O) región 2000–1500 cm^{-1} y los carboxilos (–COOH) 1710-1750 cm^{-1} y una banda ancha 2500–3500 cm^{-1} (Fiore y Pellerito, 2021).

Figura 4.
Técnicas de caracterización de nanopartículas.



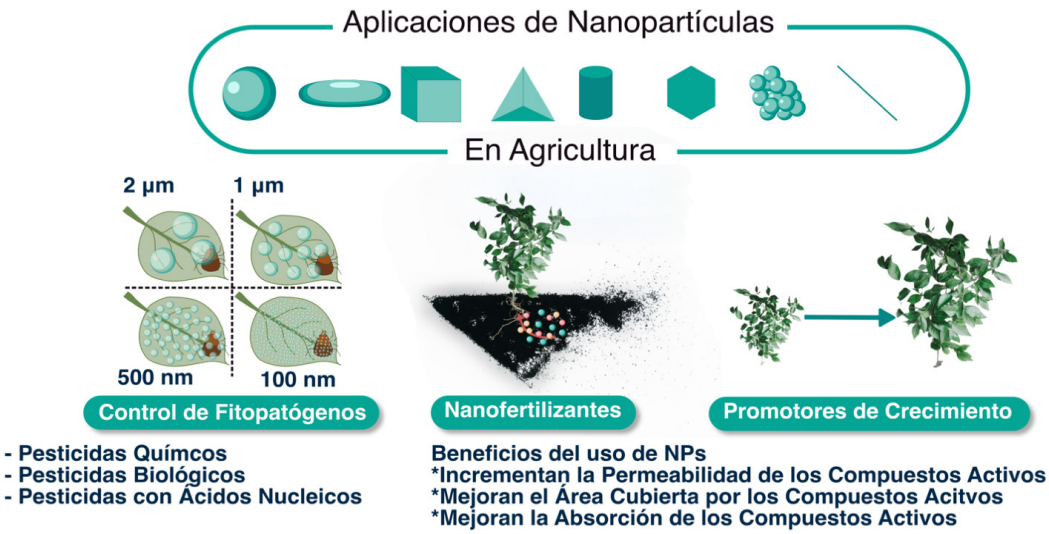
Fuente: Giurlani et al. (2020; Modena et al. (2019; Mourdikoudis et al. (2018); Pasieczna et al. (2025); Todaro & Santi, (2022).

Por tanto, la técnica de FT-IR permite identificar y confirmar la presencia de grupos funcionales o moléculas específicas en la superficie de las nanopartículas, lo que resulta importante para evaluar su funcionalización y sus posibles aplicaciones. Además, es útil para identificar los grupos funcionales principales en extractos vegetales con potencial reductor, comúnmente utilizados en síntesis verde de nanopartículas.

APLICACIONES EN AGRICULTURA

La agricultura moderna enfrenta múltiples desafíos que comprometen la sostenibilidad de la producción de alimentos, entre ellos el cambio climático, la creciente resistencia a plagas y enfermedades, y el agotamiento de los recursos naturales. En este sentido, la nanotecnología ha emergido como una alternativa prometedora, al permitir la creación y aplicación de nanopartículas con un amplio potencial para revolucionar la agricultura contemporánea (Figura 5). Estos nanomateriales, con dimensiones inferiores a 100 nm, presentan propiedades fisicoquímicas únicas, como una mayor relación superficie-volumen, mayor reactividad y la capacidad de transportar sustancias activas de manera dirigida (Khan et al., 2019).

Figura 5.
Potencial de las nanopartículas en la agricultura: aplicaciones para control de patógenos, nanofertilizantes y liberación controlada en cultivos.



Fuente: adaptado de An et al., 2022.

En el ámbito agrícola, las NPs han ganado popularidad por su potencial para actuar como fertilizantes de liberación controlada, estimulantes del crecimiento vegetal, agentes biofortificantes y soluciones eficaces para el manejo de enfermedades, plagas y condiciones de estrés abiótico (Fincheira et al., 2023). Esta sección presenta una revisión de sus principales aplicaciones en la agricultura, organizadas en cinco áreas clave: estimulación del crecimiento vegetal, control de enfermedades, manejo de plagas, biofortificación y modulación de rutas fisiológicas y moleculares.

A. Nanopartículas como bioestimulantes del crecimiento vegetal

Las NPs pueden actuar como bioestimulantes al potenciar procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la resistencia al estrés abiótico. El tamaño nanométrico de estos compuestos permite una mejor penetración celular y una liberación más eficiente de los elementos activos (Pramanik et al., 2020).

Diversos estudios han demostrado que nanopartículas como las de óxido de zinc (ZnO), óxido de hierro (Fe_2O_3) y dióxido de titanio (TiO_2) pueden inducir respuestas positivas en el crecimiento de las plantas al estimular la producción de clorofila, enzimas antioxidantes y regulación hormonal (Rastogi et al., 2019). Por ejemplo, el uso de ZnO NPs ha mostrado incrementar la longitud de raíces y la biomasa aérea en cultivos como trigo y arroz, lo cual sugiere su potencial para mejorar la productividad agrícola en condiciones limitantes (Qu et al., 2022; Hashmi et al., 2024). Estas NPs pueden actuar directamente sobre rutas metabólicas clave, regulando hormonas vegetales como auxinas, citoquininas y giberelinas, o bien, mejorando la absorción de nutrientes esenciales, además, la aplicación controlada de las nanopartículas permite una respuesta sostenible y eficiente frente a condiciones adversas, posicionándolas como una herramienta prometedora para aumentar la productividad agrícola sin comprometer al ecosistema (Upadhayay et al., 2023).

B. Aplicación de NPs en el control de enfermedades fúngicas, bacterianas y virales

Las nanopartículas metálicas poseen propiedades antimicrobianas que pueden ser utilizadas para el control de fitopatógenos sin recurrir a fungicidas o tratamientos convencionales. Nanopartículas de plata, cobre, óxido de zinc (ZnO NPs) y óxido de magnesio (MgO NPs) han demostrado una actividad significativa contra hongos como *Fusarium* spp, *Botrytis cinerea* y *Alternaria solani,* así como bacterias fitopatógenas como *Pseudomonas syringae* y *Xanthomonas campestris* (Kashyap et al., 2021).

La síntesis verde de AgNPs, utilizando extractos vegetales, ha demostrado ser una estrategia efectiva para el control de patógenos agrícolas en frutos durante la etapa de poscosecha. Las AgNPs también se utilizan en envases para prevenir el daño de los productos alimenticios causado por patógenos (Siddiqi et al., 2018). Del mismo modo, presentan una actividad antimicrobiana significativa, al igual que la como también las CuNPs y otros óxidos metálicos. Otra ventaja es la posibilidad de combinar nanopartículas con extractos vegetales o feromonas para formular bioplaguicidas de liberación lenta, con alta especificidad y menor impacto ambiental (Hernández et al., 2020). Esta aproximación representa una alternativa prometedora ante la creciente resistencia a los insecticidas sintéticos.

En cultivos de tomate y trigo, las NPs de óxido de zinc y cobre han reducido significativamente el desarrollo de enfermedades causadas por *Fusarium, Alternaria, Botrytis cinerea* y *Xanthomonas* (González et al., 2021; Tryfon et al., 2021; Mosa et al., 2023). La acción de las NPs como agentes protectores ofrece una alternativa sostenible frente al uso excesivo de pesticidas convencionales (Machado et al., 2023).

Estos nanomateriales pueden inactivar patógenos fúngicos y bacterianos mediante la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), el daño a la pared celular o la interferencia con el ADN microbiano (Hamida et al., 2020). Asimismo, su bajo impacto ambiental y eficacia a bajas concentraciones las convierten en una opción atractiva para la agricultura sustentable (Atanda et al., 2025).

.La toxicidad inherente de ciertas nanopartículas puede ser aprovechada para el manejo de insectos, mediante mecanismos tanto físicos como bioquímicos. Por ejemplo, las AgNPs se emplean ampliamente en la formulación de biopesticidas, debido a capacidad de liberación controlada y sostenida, lo cual permite una eficiencia prolongada. Las AgNPs son consideradas una de las opciones más rentables y eficientes para la reducción catalítica de contaminantes orgánicos, y su efectividad frente a insectos se atribuye a diversas propiedades fisicoquímicas, como el tamaño de partícula, estructura superficial, cristalinidad, carga superficial y actividad catalítica, así como a la concentración utilizada. Estas características mejoran su capacidad para atravesar barreras biológicas e inducir efectos fisiológicos adversos, incluyendo daños físicos que comprometen la integridad estructural y funcional de los tejidos de los insectos (Martínez et al., 2024; Alian et al., 2025).

Otra ventaja, es la posibilidad de combinar nanopartículas con extractos vegetales o feromonas para la formulación de bioplaguicidas de liberación lenta, con alta especificidad y bajo impacto ambiental (Manna et al., 2023), esta aproximación representa una alternativa prometedora ante la resistencia creciente a los insecticidas sintéticos. La plata y el óxido de zinc, aplicados en formulaciones coloidales, han demostrado provocar mortalidad en insectos plaga como *Spodoptera litura* (Elmasry, 2021), *Helicoverpa armigera* (Asghar et al., 2022) y *Bemisia tabaci* (Taheri et al., 2020). Los mecanismos de acción incluyen la generación de ROS, interferencia con el sistema digestivo y daño en el sistema nervioso central de los insectos (Martínez et al., 2024). Además, el uso de NPs posibilita una liberación controlada del ingrediente activo y mejora su estabilidad frente a la degradación ambiental (Li et al., 2025).

D. Biofortificación con nanopartículas: mejora del contenido nutricional de los alimentos

La biofortificación consiste en incrementar el contenido de nutrientes esenciales en los cultivos, con el objetivo de mejorar su valor nutricional. Las nanopartículas ofrecen una vía eficiente para la entrega controlada y dirigida de micronutrientes como zinc, hierro, selenio y cobre, elementos esenciales para la salud humana y vegetal (Zahid et al., 2025). Las nanopartículas de hierro (Fe NPs) han sido utilizadas exitosamente en cultivos como arroz, espinaca y lentejas, incrementando su contenido de hierro biodisponible sin generar efectos tóxicos en las plantas o en el ambiente. Asimismo, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs), aplicadas al suelo o por vía foliar en cultivos de arroz, trigo y maíz, han demostrado mejorar significativamente el contenido de zinc en grano sin afectar negativamente el rendimiento (Rastogi et al., 2019).

El reducido tamaño de las nanopartículas favorece su absorción y transporte dentro de la planta, lo que incrementa su eficiencia en comparación con los

fertilizantes convencionales (Siddiqi et al., 2018). Además, su aplicación precisa reduce las pérdidas por lixiviación y minimiza el impacto ambiental, lo cual contribuye a una agricultura más sustentable.

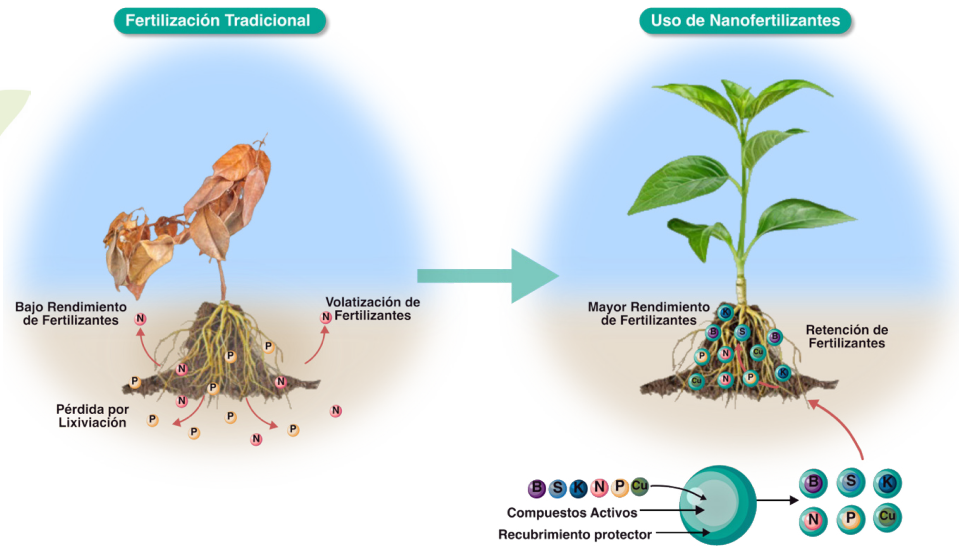
E. Modulación de rutas fisiológicas y moleculares mediante nanopartículas

Las nanopartículas pueden inducir la activación de rutas metabólicas y fisiológicas involucradas en la producción de metabolitos secundarios y en el fortalecimiento de los mecanismos de defensa vegetal. En cultivos sometidos a estrés abiótico, las ZnNPs, CuNPs y SiNPs han demostrado estimular la expresión de genes asociados al sistema antioxidante, promoviendo la síntesis de compuestos como lignina, fenoles y flavonoides, los cuales cumplen un papel crucial en la respuesta adaptativa (Morales, 2023). Asimismo, las NPs pueden modular los niveles de fitohormonas relacionadas con la resistencia al estrés, como el ácido abscísico, el etileno y el ácido salicílico, mejorando así la capacidad de adaptación de las plantas (Tripathi et al., 2022). Esta activación de rutas moleculares específicas contribuye a incrementar la tolerancia de los cultivos frente a condiciones adversas, incluyendo salinidad, sequía y temperaturas extremas.

F. Liberación controlada de agroquímicos mediante NPs

Una de las aplicaciones más prometedoras de las nanopartículas en la agricultura es su uso como vehículos inteligentes para la liberación controlada de agroquímicos. Mediante la encapsulación de ingredientes activos (como fertilizantes, herbicidas o pesticidas) dentro de estructuras a escala nanométrica, es posible lograr una liberación sostenida, dirigida y localizada del compuesto, lo cual incrementa su eficacia y disminuye significativamente el impacto ambiental.

Figura 6.
Uso de nanopartículas como sistemas de liberación controlada de nutrientes en la agricultura.



Fuente: adaptado de An et al., 2022.

Para el diseño de estos sistemas de liberación se emplean polímeros biodegradables como el quitosano, así como matrices metálicas o híbridas, que permiten una formulación estable y eficiente (Figura 6). Además, estas nanopreparaciones pueden ser sensibles a estímulos ambientales específicos como el pH, la temperatura o la humedad, lo que posibilita una liberación regulada del agroquímico en función de las necesidades fisiológicas del cultivo y las condiciones del entorno.

Asimismo, estas formulaciones poseen la capacidad de responder a señales ambientales del entorno agrícola, permitiendo que el agroquímico sea liberado en el momento y lugar óptimos para su absorción por la planta. Estas aplicaciones no solo inciden en la mejora fisiológica y bioquímica de las plantas, sino que también permiten reducir la dependencia de insumos agroquímicos convencionales. A pesar de los avances, aún existen retos importantes por abordar, ya que las NPs representan una herramienta innovadora para enfrentar los desafíos actuales de la agricultura, como el cambio climático, la degradación de los suelos y la necesidad de incrementar la producción de alimentos nutritivos y sostenibles.

G. Nanopartículas y fitotoxicidad.

En agronomía, el uso de nanopartículas puede inducir efectos tanto beneficiosos como adversos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La naturaleza química y fisicoquímica de las NPs, la tolerancia del organismo vegetal y la vía de exposición son factores determinantes en la respuesta fisiológica y bioquímica generada (Rico et al., 2015; Farooq et al., 2023; Hassanisaadi et al., 2022).

Las propiedades que pueden definir la fitotoxicidad de las NPs son la dosis empleada, tamaño, morfología, porosidad, carga superficial, naturaleza química, vehículo y vía de exposición que puede ser vía foliar o radicular principalmente. Por lo que, la respuesta del organismo dependerá de la vía o mecanismos de entrada de las NPs al organismo, la cual se propone en la literatura que puede ser mediante tres vías principales y su absorción o traslocación puede ser mediante mecanismos activos o pasivos, cuando las nanopartículas logran entrar a la planta, estas pueden movilizarse a través de la vía simplástica o apoplástica hasta llegar al xilema pero su entrada no asegura su libre movilidad, estas pueden aglomerarse o acumularse en diferentes órganos de la planta (Rico et al., 2015 Farooq et al., 2023; Hassanisaadi et al., 2022).

Dentro de los indicadores de respuesta fisiológica se pueden encontrar los cambios de germinación de semillas, así como en producción de biomasa, rendimiento de cultivo y en el sistema radicular, mientras que dentro de los indicadores bioquímicos se pueden encontrar daños en el material proteico y genético (así como la expresión o supresión de algunos genes), estrés oxidativo y cambios en actividad fotosintética (Rico et al., 2015; Farooq et al., 2023; Hassanisaadi et al., 2022). En los indicadores bioquímicos se encuentran alteraciones en actividades enzimáticas, contenido de clorofila I y II, así como alteraciones en el contenido metabolitos primarios como proteínas y carbohidratos, en metabolitos secundarios como ácido cafeico y ácido clorogénico, los que se sintetizan a partir de la actividad de la enzima fenilalanina

amonio liasa (PAL) (Farooq et al., 2023; Joya et al., 2023; Luján et al., 2020). Dentro de estas alteraciones, se puede generar estrés oxidativo como respuesta ante la presencia de ciertas nanopartículas, así como la interferencia con el rendimiento de los fotosistemas al absorber energía proveniente de clorofila I y II (Tryfon et al., 2024). Las plantas suelen producir especies reactivas de oxígeno (ROS) de manera regular ya sea como subproductos de su metabolismo aeróbico o como respuesta ante factores de peligro (estrés) bióticos o abióticos, que pueden intervenir de forma tanto benéfica como dañina en las plantas, las cuales mantienen un balance "saludable" mediane mecanismos antioxidantes que pueden seguir rutas químicas o enzimáticas.

Dentro de las rutas químicas se pueden encontrar ascorbato, glutatión, fenoles, tioles, tocoferol, entre otros, mientras que dentro de las enzimas que intervienen dentro de esta regulación se pueden encontrar el superóxido dismutasa (SOD), CAT, peroxidasas como ascorbato peroxidasa (APX) y guayacol peroxidasa (Farooq et al., 2023; Joya, 2023; Tryfon et al., 2024). A niveles moderados de ROS en las plantas se puede mantener un balance entre las ROS producidas, utilizadas y neutralizadas, las ROS pueden interferir de manera positiva como segundos mensajeros en reacciones de cadena intercelular que regulan la respuesta de células ante diferentes estímulos, como la activación de sus mecanismos de defensa ante la presencia de patógenos, cambios en la conductividad estomacal, respuestas de hipersensibilidad y desarrollo de tolerancia ante factores de estrés bióticos y abióticos (Farooq et al., 2023). Cuando este balance excede los límites funcionales de las plantas, estos pueden generar daño oxidativo a biomoléculas mediante perdida de electrolitos, peroxidación lipídica, produciendo malondialdehido como subproducto de la oxidación de los fosfolípidos de la membrana celular, además de causar oxidación de proteínas mediante la desintegración de enlaces aminos de la cadena polipeptídica, la modificación de la carga superficial de las proteínas que puede causar aglomeraciones y acelerar su degradación o inactivación, así como la degradación del material genético mediante la oxidación de la desoxirribosa causando desnaturalización del DNA (Farooq et al., 2023).

Dentro de indicadores o alteraciones bioquímicas que pueden implicar la aplicación de nanopartículas en plantas se encuentran la modificación del comportamiento de los fotosistemas por lo que la técnica de fluorescencia de clorofila puede funcionar como indicador de estrés inducido por nanopartículas. La fotosíntesis inicia por la incidencia y absorción de energía dentro de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), de la cual un porcentaje es absorbida por los pigmentos fotosintéticos como clorofila *a* y *b* junto con carotenoides provocando su excitación, misma, que puede liberarse a partir de tres rutas, por lo que los pigmentos fotosintéticos logran volver a su estado basal o de reposo, parte de la energía absorbida logra aprovecharse químicamente mediante la donación o transferencia a otras moléculas cercanas con la capacidad de aceptar los electrones, otra parte de esta energía se libera en forma de calor y la menor parte de esta en forma de energía lumínica o fluorescencia, como

los tres mecanismos de transferencia de energía son complementarios, a partir de la medición de uno de estos mecanismos, se puede obtener información sobre los demás (Moreno et al., 2008).

El 97% de la energía absorbida suele ser utilizada durante el evento fotoquímico primario que se consta de la oxidación de una molécula de clorofila *a* (Chl a^+) al perder o donar un electrón para volver a su estado basal, mismo que es aceptado durante la reducción de feofitina ($Pheo^-$) mientras que el 2.5% se libera en forma de calor y el 0.5% restante en fluorescencia roja. Cuando el evento fotoquímico primario no ocurre, se libera en forma de calor entre el 95 al 97% de la energía incidente y del 2.5 al 5% como fluorescencia roja, lo que permite hacer mediciones sobre el comportamiento de los fotosistemas en plantas (Moreno et al., 2008).

Particularmente, cuando se habla de fluorescencia de clorofila, se habla de la actividad de la clorofila *a* de los fotosistemas II ya que en comparación con los fotosistemas II, el fotosistema I emite significativamente menor energía a 25 °C (Moreno et al., 2008). Como el comportamiento y rendimiento de los fotosistemas II se puede ver a afectado de manera directa e indirecta por factores bióticos y abióticos, la fluorescencia de clorofila ayuda a determinar posibles mecanismos de respuesta ante estos factores (Moreno et al., 2008). Uno de los resultados que se pueden obtener a partir de fluorescencia de clorofila es la cinética de Kautsky que se puede dividir por una fase rápida (O, J, I, P) donde la fluorescencia incrementa rápidamente después de la iluminación de los fotosistemas durante los eventos primarios del PSII, produciendo una reducción la quinona A (Q_A) y la plastoquinona (PQ), donde principalmente la Q_A limita la actividad de los centros de reacción, ya que cuando la Q_A se encuentra en su estado reducido se dice que el centro se encuentra "cerrado" mismo que no puede "abrirse" hasta alcanzar su oxidación al donar los electrones que lo mantienen en estado de excitación a la quinona B (Q_B). Mientras que la Q_A se mantenga reducida ocurre un decremento en la eficiencia fotoquímica y aumenta la energía liberada mediante fluorescencia (Moreno et al., 2008). Seguido continua una fase lenta de decremento de fluorescencia (P, S, M T) que se produce principalmente por dos mecanismos, a uno de estos se le conoce como decaimiento fotoquímico (qP) que se debe a la oxidación de la QA, al segundo se le conoce como decaimiento no fotoquímico (qNP) que se debe principalmente por el cambio del gradiente de potencial electroquímico protónico transtilacoidal. Los cambios en el valor de qNP ayudan a entender cambios en gradientes de pH, fotoinhibición, reducción del rendimiento de los PSII (ϕ_{PSII}), así como la velocidad del transporte de electrones fotosintéticos (ETR) (Moreno et al., 2008).

La fluorescencia de clorofila es una técnica de medición no invasiva de la actividad del fotosistema II (PSII) que se suele utilizar en estudios de fisiología vegetal ya que se puede relacionar con el impacto de factores bióticos y abióticos sobre los PSII, por lo que la aplicación de fluorescencia de clorofila es de utilidad para analizar como las plantas responden ante diferentes estímulos como cambios ambientales, variación genética y diversidad del ecosistema (Murchie & Lawson, 2013).

RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA CON NANOPARTÍCULAS

Diversos estudios han demostrado que ciertas nanopartículas (NPs) promueven el crecimiento vegetal. En la tabla 1 se resumen investigaciones que respaldan el potencial de las NPs como bioestimulantes, biofortificantes y agentes de biocontrol. Sin embargo, es importante considerar que su eficacia depende de la dosis, tipo de nanomaterial y especie vegetal. El uso de NPs también puede contribuir a mitigar deficiencias nutricionales, especialmente en suelos empobrecidos (Khan et al., 2019), así como mejorar la biodisponibilidad de insumos agrícolas reduciendo pérdidas por lixiviación y volatilización (Ficheira et al., 2023; An et al., 2022). También es importante evaluar de manera integral los efectos negativos en el desarrollo de los cultivos, así como las implicaciones ecológicas, por último y no menos importante actualizar y establecer marcos regulatorios para la adopción segura de nanopartículas con aplicación agrícola.

Tabla 1.
Avances recientes en aplicación de nanopartículas en sistemas agrícolas.

Nanopartícula	Base de estudio	Tipo de síntesis	Concentración	Efectos positivos	Efectos negativos	Fuente
Nanopartículas como bioestimulantes y biofortificación en el crecimiento vegetal						
Hidroxiapatita (nHAp)	Semilla *Cucumis sativa*	Precipitación húmeda	25, 50, 100, 200, 500, 1 000 y 2 000 mg L^{-1}	Germinación, vigor y longitud de radícula (25 mg L^{-1})	Mayores efectos inhibidores a >200 mg L^{-1}	López-Martínez et al., 2023
Óxido de hierro (IONPs)	*Vigna radiata*	Verde (extracto de *Syzigium. cumini*)	100, 250 y 500 mg kg^{-1} suelo. Uso de inoculante *Rhizobium pusense*	Longitud de raíz y tallo, biomasa seca, clorofila y contenido proteico	Sin fitotoxicidad	Saleem y Khan., 2023
CuONPs	Frutos de melón	Verde (cáscara de naranja)	150, 200, 250, 300 y 350 mg L^{-1}	Rendimiento, firmeza y compuestos bioactivos a 150 mg L^{-1}	En dosis altas rendimiento y compuestos fitoquímicos	Buendía-García et al., 2025
Aplicación de NPs en el control de enfermedades fúngicas, bacterianas y virales						
AgNPs	*Cajanus cajan* (proteína aislada) + goma de *Tamarindus indica*	Verde (extracto de hojas de *Annona muricata*)	25 % AgNPs en los recubrimientos formulados	Estructura mecánica y permeabilidad al vapor de agua, aplicación en postcosecha.	Oscurecimiento en las películas.	Estudillo-Díaz et al. 2023
Nanopartículas de plata sintetizadas por *Desertifilum sp.* (D-SNP)	*E. coli* *S. Typhimurium* *S. Mutans* *K. Pneumoniae* *Staphylococcus aureus*	Verde (extracto de *Desertifilum sp.)*	0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, y 1.8 mg mL^{-1}	-Potencial frente a bacterias multirresistentes. -Alteraciones en enzimas antioxidantes y cambios morfológicos	–	Hamida et al., 2020

Continúa...

Nanopartículas en el control de insectos plaga						
ZnONPs	*Spodoptera litura* *Aphis gossypii*	Verde (clara de huevo)	Thioxam 25%WG/ ZnONPs, Actara 25%WG/ ZnONPs	Eficacia insecticida: 28–39% mortalidad adicional	–	Elmasry, 2021
AgNPs, ZnONPs	*Helicoverpa armigera*	Verde (extracto de Neem)	100 – 200 ppm	Mortalidad: 96 % (AgNPs), 82 % (ZnONPs)	–	Asghar et al., (2022)
Modulación de rutas fisiológicas y moleculares mediante nanopartículas						
ZnONPs, FeNPs y SiO_2NPs	Plantas bajo estrés hídrico	Verde y química	No indicadas	Inducen genes antioxidantes, tolerancia a la sequía y regula fitohormonas	Riesgos por acumulación	Rasheed et al., (2022)
ZnONPs	*Cucumis melo* L. (melón) bajo estrés por sequía	Verde (extracto de *A. annua*)	75, 100, 125 y 150 mg L^{-1}	Tolerancia a sequía (Expresión de genes), actividad antioxidante y absorción de nutrientes (75 y 100 mg L^{-1})	La tolerancia fue limitada a concentraciones altas	Rehman et al., 2023

CONCLUSIONES

El uso de nanopartículas en agronomía ofrece una amplia gama de aplicaciones derivadas de la diversidad de rutas de síntesis (físicas, químicas y biológicas), materiales base y funcionalizaciones posibles que la nanotecnología proporciona. Estas rutas impactan directamente en sus propiedades fisicoquímicas, como tamaño, forma, carga y funcionalidad superficial, aspectos que deben caracterizarse mediante técnicas como DLS, SEM y FTIR para asegurar su estabilidad y efectividad en campo.

En el ámbito agrícola, las nanopartículas han demostrado potencial como bioestimulantes, agentes de control contra patógenos (fúngicos, bacterianos y virales), moduladores de rutas fisiológicas y moleculares, herramientas para la biofortificación de cultivos y vehículos en la liberación controlada de agroquímicos. No obstante, su implementación debe ser cuidadosamente diseñada y adaptada al tipo de cultivo y condiciones específicas, ya que la interacción nanomaterial-planta-patógeno es compleja y puede generar efectos no deseados en la microbiota benéfica del entorno.

REFERENCIAS

Abid, N., Khan, A. M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M., Khan, Q., & Maqbool, M. (2022). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* (Vol. 300). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102597

Ahmad, F., Salem-Bekhit, M. M., Khan, F., Alshehri, S., Khan, A., Ghoneim, M. M., Wu, H. F., Taha, E. I., & Elbagory, I. (2022). Unique Properties of Surface-Functionalized Nanoparticles for Bio-Application: Functionalization Mechanisms and Importance in Application. *Nanomaterials* (Vol. 12, Issue 8). *MDPI*. https://doi.org/10.3390/nano12081333

Akram, W., Mia, R., Ullah, S., Assiri, M. A., & Fang, J. (2024). Simultaneous synthesis and application of TiO_2 nanoparticles using mulberry leaves for functionalization of organic cotton fabric. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140939. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140939

Alian, R. S., Flasz, B., Kędziorski, A., Rost-Roszkowska, M., Rozpędek, K., Majchrzycki, Ł., & Augustyniak, M. (2025). Concentration-dependent disturbances of digestive functions in house cricket (Insecta: *Orthoptera*) exposed to GO-AgNP composite. *Scientific Reports,* 15(1), 12699. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97589-w

An, C., Sun, C., Li, N., Huang, B., Jiang, J., Shen, Y., Wang, C., Zhao, X., Cui, B., Wang, C., Li, X., Zhan, S., Gao, F., Zheng, Z., Cui, H. & Wang, Y. (2022). Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 11. https://doi.org/10.1186/s12951-021-01214-7

Asghar, M. S., Sarwar, Z. M., Almadiy, A. A., Shami, A., El Hadi Mohamed, R. A., Ahmed, N., Waghulade, M. S., Alam, P. & Abd Al Galil, F. M. (2022). Toxicological effects of silver and zinc oxide nanoparticles on the biological and life table parameters of *Helicoverpa armigera* (Noctuidae: *lepidoptera*). *Agriculture,* 12(10), 1744. https://doi.org/10.3390/agriculture12101744

Atanda, S.A., Shaibu, R.O. & Agunbiade, F.O. Nanoparticles in agriculture: balancing food security and environmental sustainability. *Discov Agric* 3, 26 (2025). https://doi.org/10.1007/s44279-025-00159-x

Baig, N., Kammakakam, I., Falath, W., & Kammakakam, I. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. In *Materials Advances* (Vol. 2, Issue 6, pp. 1821–1871). *Royal Society of Chemistry*. https://doi.org/10.1039/d0ma00807a

Beach, M. A., Nayanathara, U., Gao, Y., Zhang, C., Xiong, Y., Wang, Y., & Such, G. K. (2024). Polymeric Nanoparticles for Drug Delivery. In *Chemical Reviews* (Vol. 124, Issue 9, pp. 5505–5616). *American Chemical Society*. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00705

Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - What they are and what they are not?. *Journal of Controlled Release,* 235, 337–351. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017

Brinker, C. Jeffrey., & Scherer, G. W. (1990). *Sol-gel science : the physics and chemistry of sol-gel processing*. *Academic Press.*

Buendía-García, A., Paredes-Jácome, J. R., Guillén-Enríquez, R. R., Márquez-Guerrero, S. Y., Preciado-Rangel, P., & Ramírez-Gottfried, R. I. (2024). La biofortificación con nanopartículas de cobre mejora el rendimiento y compuestos bioactivos en frutos de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* 15(8). https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3851

Chaudhary, J., Tailor, G., Yadav, M., & Mehta, C. (2023). Green route synthesis of metallic nanoparticles using various herbal extracts: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 50(102692). *Elsevier* Ltd. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102692

Chen, R., Zhang, X., Su, Z., Gong, R., Ge, X., Zhang, H., & Wang, C. (2009). Perfectly hydrophobic silicone nanofiber coatings: Preparation from methyltrialkoxysilanes and use as water-collecting substrate. *Journal of Physical Chemistry C*, *113*(19), 8350–8356. https://doi.org/10.1021/jp8114622

Craddock, H. A. (2018). Silicon Chemistry. *Oilfield Chemistry and its Environmental Impact,* 385–400. *Wiley*. https://doi.org/10.1002/9781119244233

El-Saadony, M. T., Abd El-Hack, M. E., Taha, A. E., Fouda, M. M. G., Ajarem, J. S., Maodaa, S. N., Allam, A. A., & Elshaer, N. (2020). Ecofriendly synthesis and insecticidal application of copper nanoparticles against the storage pest *tribolium castaneum*. *Nanomaterials*, *10*(587), 1–16. https://doi.org/10.3390/nano10030587

Elmasry, N. S. (2021). Efficacy of zinc oxide nanoparticle adding to two neonicotinoids pesticides against *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Aphis gossypii* Glover. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, F. Toxicology & Pest Control,* 13(1), 209-215. https://doi.org/10.21608/eajbsf.2021.161964

Elsharkawy, M. M., Omara, R. I., Sabry Mostafa, Y., Alamri, S. A., Hashem, M., Alrumman, S. A., & Ahmad, A. A. (2022). Mechanism of Wheat Leaf Rust Control Using Chitosan Nanoparticles and Salicylic Acid. *J Fungi*, *8*(304), 1–18. https://doi.org/10.3390/jof8030304

Estudillo-Díaz, E. B., Gutiérrez-Miceli, F. A., González-Mendoza, D., Valdez-Salas, B., & Abud-Archila, M. (2023). Desarrollo y caracterización de películas activas con nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde. *Biotecnia, 2*5(1), 109–115. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1683

Farooq, M. A., Fatima, A., Rehman, S., Batool, A., Gul, I., Din, A. A., Anwer, H., & Arshad, M. (2023). Phytotoxicity Response and Defense Mechanisms of Nanocomposites/Mixture of Nanoparticles. In A. Husen (Ed.), *Nanomaterials and Nanocomposites Exposures to Plants: Response, Interaction, Phytotoxicity and Defense Mechanisms*, 43–58. *Springer Nature Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2419-6_3

Fincheira, P., Hoffmann, N., Tortella, G., Ruiz, A., Cornejo, P., Diez, M. C., Seabra. A. B., Benavides-Mendoza, A. & Rubilar, O. (2023). Eco-efficient systems based on nanocarriers for the controlled release of fertilizers and pesticides: Toward smart agriculture. *Nanomaterials*, *13*(13), 1978. https://doi.org/10.3390/nano13131978

Findik, F. (2021). Nanomaterials and their applications. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, *9*(3), 62–75.

Fiore, T., & Pellerito, C. (2021). Infrared absorption spectroscopy. S. Agnello (Ed), Spectroscopy for Materials Characterization, 129-167. https://doi.org/10.1002/9781119698029.ch5

Giurlani, W., Berretti, E., Innocenti, M., & Lavacchi, A. (2020). Measuring the thickness of metal coatings: A review of the methods. *Coatings*, 10(12),1–36. *MDPI AG.* https://doi.org/10.3390/coatings10121211

Gonçalves, M. C. (2018). Sol-gel silica nanoparticles in medicine: A natural choice. design, synthesis and products. *Molecules*, *23*(8), 26. https://doi.org/10.3390/molecules23082021

González-Merino, A. M., Hernández-Juárez, A., Betancourt-Galindo, R., Ochoa-Fuentes, Y. M., Valdez-Aguilar, L. A., & Limón-Corona, M. L. (2021). Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles in *Fusarium oxysporum-Solanum Lycopersicon* pathosystem under controlled conditions. Journal of Phytopathology, 169(9), 533-544. https://doi.org/10.1111/jph.13023

Gowtham, H. G., Shilpa, N., Singh, S. B., Aiyaz, M., Abhilash, M. R., Nataraj, K., Amruthesh, K. N., Ansari, M. A., Alomary, M. N. & Murali, M. (2024). Toxicological effects of nanoparticles in plants: Mechanisms involved at morphological, physiological, biochemical and molecular levels. Plant Physiology and Biochemistry, 210, 108604. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108604

Guilger-Casagrande, M., & Lima, R. de. (2019). Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Fungi: A Review. In *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7(287). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00287

Hamida, R. S., Ali, M. A., Goda, D. A., Khalil, M. I., & Al-Zaban, M. I. (2020). Novel Biogenic Silver Nanoparticle-Induced Reactive Oxygen Species Inhibit the Biofilm Formation and Virulence Activities of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Strain. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 433. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00433

Hamida, R. S., Ali, M. A., Redhwan, A., & Bin-Meferij, M. M. (2020). Cyanobacteria – a promising platform in green nanotechnology: A review on nanoparticles fabrication and their prospective applications. *International Journal of Nanomedicine* 15, 6033–6066. *Dove Medical Press Ltd.* https://doi.org/10.2147/IJN.S256134

Hashmi, K., Gupta, S., Mishra, P., Khan, T., & Joshi, S. (2024). The Vital Role of Nanoparticles in Enhancing Plant Growth and Development. *Engineering Proceedings*, 67(1), 48. https://doi.org/10.3390/engproc2024067048

Hassanisaadi, M., Barani, M., Rahdar, A., Heidary, M., Thysiadou, A., & Kyzas, G. Z. (2022). Role of agrochemical-based nanomaterials in plants: biotic and abiotic stress with germination improvement of seeds. *Plant Growth Regulation*, 97(2), 375–418. *Springer Science and Business Media B.V*. https://doi.org/10.1007/s10725-021-00782-w

Hodoroaba, V. D. (2020). Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). V. Lin & K Wilson (Eds), Characterization of Nanoparticles: Measurement Processes for Nanoparticles, 4.4, 397–417. *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814182-3.00021-3

Jabeen, S., Qureshi, R., Munazir, M., Maqsood, M., Munir, M., Shah, S. S. H., & Rahim, B. Z. (2021). Application of green synthesized silver nanoparticles in cancer treatment - A critical review. In *Materials Research Express* 8, (9). *IOP Publishing* Ltd. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac1de3

Jaiswal, S., McHale, P., & Duffy, B. (2012). Preparation and rapid analysis of antibacterial silver, copper and zinc doped sol-gel surfaces. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *94*, 170–176. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.01.035

Jeffrey Brinker, C. (2005). Sol-gel processing of silica. In *Colloidal Silica: Fundamentals and Applications,* 615–635. CRC Press. https://doi.org/10.1016/s0022-3093(86)80078-3

Jia, Z., Li, J., Gao, L., Yang, D., & Kanaev, A. (2023). Dynamic Light Scattering: A Powerful Tool for *In Situ* Nanoparticle Sizing. *Colloids and Interfaces,* 7(1), 15. *MDPI*. https://doi.org/10.3390/colloids7010015

Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 262. https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8

Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(262). *BioMed Central* Ltd. https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8

Joya Dávila, J. G. (2023). Efecto de metanosulfonato de etilo en cultivos *in vitro* de *Coffea arabica* para inducción de resistencia a *Hemileia vastatrix*. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez.

Joya Dávila, J. G., Gutiérrez Miceli, F. A., Luján Hidalgo, M. C., Serrano Gómez, L. A., & Ruíz Sesma, B. (2023). Cambios bioquímicos y morfométricos en *Coffea arabica* posterior a un tratamiento con metanosulfonato de etilo. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, *25*(3), 36–41. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.1969

Kappel, R. M., Klunder, A. J. H., & Pruijn, G. J. M. (2014). Silicon chemistry and silicone breast implants. *European Journal of Plastic Surgery*, *37*(3), 123–128. https://doi.org/10.1007/s00238-013-0914-4

Karnwal, A., Dohroo, A., & Malik, T. (2023). Unveiling the potential of bioinoculants and nanoparticles in sustainable agriculture for enhanced plant growth and food security. *BioMed research international,* 2023(1), 6911851. https://doi.org/10.1155/2023/6911851

Karunakaran, A., Fathima, Y., Singh, P., Beniwal, R., Singh, J., & Ramakrishna, W. (2024). Next-generation biofertilizers: nanoparticle-coated plant growth-promoting bacteria biofertilizers for enhancing nutrient uptake and wheat growth. *Agriculture*, 14(4), 517. https://doi.org/10.3390/agriculture14040517

Kashyap, P. L., Kumar, S., Kaul, N., Aggarwal, S. K., Jasrotia, P., Bhardwaj, A. K., Kumar, R. & Singh, G. P. (2022). Nanotechnology for wheat and barley health management: Current scenario and future prospectus. In New Horizons in Wheat and Barley Research: Crop Protection and Resource Management (pp. 337-363). Singapore: *Springer Nature Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4134-3_12

Kazempour, Z. B., Yazdi, M. H., Rafii, F., & Shahverdi, A. R. (2013). Sub-inhibitory concentration of biogenic selenium nanoparticles lacks post antifungal effect for *Aspergillus niger* and Candida albicans and stimulates the growth of Aspergillus niger. *Iranian Journal of Microbiology*, *5*(1), 81–85.

Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011

Kumari, S., Raturi, S., Kulshrestha, S., Chauhan, K., Dhingra, S., András, K., Thu, K., Khargotra, R., & Singh, T. (2023). A comprehensive review on various techniques used for synthesizing nanoparticles. In *Journal of Materials Research and Technology*, 27, 1739–1763. *Elsevier* Editora Ltda. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.09.291

Kuroda, K., Shimojima, A., Kawahara, K., Wakabayashi, R., Tamura, Y., Asakura, Y., & Kitahara, M. (2014). Utilization of alkoxysilyl groups for the creation of structurally controlled siloxane-based nanomaterials. *Chemistry of Materials*, *26*(1), 211–220. https://doi.org/10.1021/cm4023387

Lee, W., Nam, H. S., Kim, Y. G., Kim, Y. J., Lee, J. H., & Yoo, H. (2021). Robust autofocusing for scanning electron microscopy based on a dual deep learning network. *Scientific Reports,* 11(1), 20933. https://doi.org/10.1038/s41598-021-00412-5

Li, F., Hou, Y., Chen, L. et al. Advances in silica nanoparticles for agricultural applications and biosynthesis. Adv. *Biotechnol.* 3, 14 (2025). https://doi.org/10.1007/s44307-025-00067-7

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., & Vera Reyes, I. (2016). Producción de Especies Reactivas de Oxígeno en Plantas Elicitadas con Nanopartículas. *Agronanotecnología*, 80–92.

López-Martínez, G., Ruiz-Torres, N., Diaz-Barriga-Castro, E., Lira-Saldívar, R. H., López Hernández, I., Luna Anguiano, J., & Flores-Hernández, E. A. (2023). Efecto de nanopartículas de hidroxiapatita en el desarrollo y germinación de *Cucumis Sativus* L. *Ecosistemas y recursos agropecuarios,* 10(SPE3). https://doi.org/10.19136/era.a10nIII.3608

Lu, H., Tang, S. Y., Yun, G., Li, H., Zhang, Y., Qiao, R., & Li, W. (2020). Modular and Integrated Systems for Nanoparticle and Microparticle Synthesis—A Review. *Biosensors*, 10(11). MDPI. https://doi.org/10.3390/BIOS10110165

Luján-Hidalgo, M. C., Jiménez-Aguilar, L. A., Ruiz-Lau, N., Reyes-Zambrano, S. J., & Gutiérrez-Miceli., F. A. (2020). Cambios bioquímicos en respuesta al ataque de roya en plantaciones de café. *Polibotánica*, *25*(49), 1–11. https://doi.org/10.18387/polibotanica.49.10

Manna, S., Roy, S., Dolai, A., Ravula, A. R., Perumal, V., & Das, A. (2023). Current and future prospects of "all-organic" nanoinsecticides for agricultural insect pest management. *Frontiers in Nanotechnology,* 4, 1082128. https://doi.org/10.3389/fnano.2022.1082128

Martínez-Cisterna, D., Rubilar, O., Tortella, G., Chen, L., Chacón-Fuentes, M., Lizama, M., ... & Bardehle, L. (2024). Silver Nanoparticles as a Potent Nanopesticide: Toxic Effects and Action Mechanisms on Pest Insects of Agricultural Importance—A Review. *Molecules*, 29(23), 5520. https://doi.org/10.3390/molecules29235520

Mekuye, B., & Abera, B. (2023). Nanomaterials: An overview of synthesis, classification, characterization, and applications. *Nano Select*, *4*(8), 486–501. https://doi.org/10.1002/nano.202300038

Modena, M. M., Rühle, B., Burg, T. P., & Wuttke, S. (2019). Nanoparticle Characterization: What to Measure? *Advanced Materials,* 31(32). Wiley-VCH Verlag. https://doi.org/10.1002/adma.201901556

Morales-Quintana, L. (2023). Efecto de la aplicación de nanoencapsulados de hormonas vegetales en la maduración de frutillas bajo condiciones de déficit hídrico. Investigación Joven, 10.

Moreno, G., Perales Vela, S. ;, Salcedo Alvarez, H. ;, La, M. O., De, F., & Clorofila, L. A. (2008). La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*, *27*, 119–129. http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49011464003

Moretto, H.-H., Schulze, M., & Wagner, G. (2000). Silicones. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, *32*, 675–708. https://doi.org/10.1002/14356007.a24_057

Mosa, M. A., & El-Abeid, S. E. (2023). Chitosan-loaded copper oxide nanoparticles: a promising antifungal nanocomposite against Fusarium wilt disease of tomato plants. *Sustainability,* 15(19), 14295. https://doi.org/10.3390/su151914295

Mourdikoudis, S., Pallares, R. M., & Thanh, N. T. K. (2018). Characterization techniques for nanoparticles: Comparison and complementarity upon studying nanoparticle properties. *Nanoscale*, 10(27), 12871–12934. *Royal Society of Chemistry.* https://doi.org/10.1039/c8nr02278j

Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: A guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, *64*(13), 3983–3998. https://doi.org/10.1093/jxb/ert208

Navarro Espinoza, S., Meza-Figueroa, D., Soto-Puebla, D., Castañeda, B., & Pedroza-Montero, M. (2021). Nanopartículas: efectos en la salud humana y el medio ambiente. *Epistemus*, *15*(30). https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i30.166

Neeran, J. (2017). Antifungal Activity of Zinc Oxide Nanoparticles on *Aspergillus Fumigatus* Fungus & *Candida Albicans* Yeast. *Journal of Natural Science Research*, *5*, 23–28.

Pape, P. G. (2011). Adhesion promoters. In *Handbook of Adhesives and Surface Preparation*, 369–386. https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-4461-3.10015-X

Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules* 30,(3). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. https://doi.org/10.3390/molecules30030684

Pathipati, U. R., & Kanuparthi, P. L. (2018). Biological and Phytotoxic Impacts of a Nanomaterial. In M. Faisal, Q. Saquib, A. A. Alatar, & A. A. Al-Khedhairy (Eds.), *Phytotoxicity of Nanoparticles*, 229–240. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76708-6_9

Pawlenko, S. (2011). Organosilicon chemistry. In *Organosilicon Chemistry*, 1–186. *Wiley*. https://doi.org/10.1016/s0022-328x(00)88200-5

Pramanik, P., Krishnan, P., Maity, A., Mridha, N., Mukherjee, A., & Rai, V. (2020). Application of nanotechnology in agriculture. *Environmental Nanotechnology* Volume 4, 317-348.

Prasad, R. D., Sahoo, A. K., Shrivastav, O. P., Charmode, N., Prasad, S. R., Kamat, R., Kajave, N. G., Chauhan, J., Banga, S., Tamboli, U., Pandharpatte, M. S., Atigre, R. H., Shaikh, V., Padvi, M. N., Salvalkar, P., & Prasad, N. R. (2022). A Review on Aspects of Nanotechnology in Food Science and Animal Nutrition. *ES Food and Agroforestry*, *8*, 12–46. https://doi.org/10.30919/esfaf704

Qu, H., Ma, C., Xing, W., Xue, L., Liu, H., White, J. C. & Xing, B. (2022). Effects of copper oxide nanoparticles on Salix growth, soil enzyme activity and microbial community composition in a wetland mesocosm. *Journal of Hazardous Materials*, 424: 127676. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127676.7

Ramezani, M., Ramezani, F., & Gerami, M. (2019). Nanoparticles in pest incidences and plant disease control. In *Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection*, 233–272. *Springer Singapore.* https://doi.org/10.1007/978-981-32-9374-8_12

Rasheed, A., Li, H., Tahir, M. M., Mahmood, A., Nawaz, M., Shah, A. N., ... & Wu, Z. (2022). The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 976179. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976179

Rastogi, A., Zivcak, M., Tripathi, D. K., Yadav, S., Chauhan, D. K., & Brestic, M. (2019). Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: A critical review. *Frontiers in Chemistry*, 7, 767. https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00767

Rehman, A., Weng, J., Li, P., Shah, I. H., Rahman, S. ur, Khalid, M., Manzoor, M. A., Chang, L., & Niu, Q. (2023). Green synthesized zinc oxide nanoparticles confer drought tolerance in melon (*Cucumis melo* L.). Environmental and Experimental Botany, 212. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105384

Rico, C. M., Peralta-Videa, J. R., & Gardea-Torresdey, J. L. (2015). Chemistry, biochemistry of nanoparticles, and their role in antioxidant defense system in plants. In *Nanotechnology and Plant Sciences: Nanoparticles and Their Impact on Plants*, 1–17. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0_1

Sabir, S., Arshad, M., Ilyas, N., Naz, F., Amjad, M. S., Malik, N. Z., & Chaudhari, S. K. (2022). Protective role of foliar application of green-synthesized silver nanoparticles against wheat stripe rust disease caused by *Puccinia striiformis*. *Green Process. Synth.*, *11*(1), 29–43. https://doi.org/10.1515/GPS-2022-0004/MACHINEREADABLECITATION/RIS

Salazar-Navarro, A. A., & Salas-Valdez, B. (2022). Synthesis of silica nanoparticles from sodium metasilicate. *Int. J. Nanoparticles*, *14*(1), 1–12. https://doi.org/10.1504/IJNP.2022.122939

Salazar-Navarro, A. A., Rivera-Reyna, N. E., & González-Mendoza, D. (2023). Synthesis of silica chitosan oligosaccharides nanoparticles. *Agro Productividad*, *16*(11), 107–114. https://doi.org/10.32854/agrop.v16i11.2728

Salazar-Navarro, A., Ruiz-Valdiviezo, V., Joya-Dávila, J., Gonzalez-Mendoza, D., & Gonzalez Mendoza, D. (2024). Coffee Leaf Rust (*Hemileia Vastatrix)* disease in coffee plants and perspectives by the disease control. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, *93*(5), 923-949.

Saleem, S., & Khan, M. S. (2022). Phyto-interactive impact of green synthesized iron oxide nanoparticles and *Rhizobium pusense* on morpho-physiological and yield components of greengram. *Plant Physiology and Biochemistry*, 187, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.11.013

Saritha, G. N. G., Anju, T., & Kumar, A. (2022). Nanotechnology - Big impact: How nanotechnology is changing the future of agriculture? *Journal of Agriculture and Food Research*, *10*, 100457. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2022.100457

Segre, P. N., Behrend, O. P., & Pusey, P. N. (1995). Short-time Brownian motion in colloidal suspensions: Experiment and simulation. *Physical Review E*, 52(5), 5070-5090. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.52.5070

Siddiqi, K. S., Husen, A., & Rao, R. A. K. (2018). A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 1-28. https://link.springer.com/article/10.1186/s12951-018-0334-5#citeas

Szczyglewska, P., Feliczak-Guzik, A., & Nowak, I. (2023). Nanotechnology–General Aspects: A Chemical Reduction Approach to the Synthesis of Nanoparticles. *Molecules*, 28, (13). *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).* https://doi.org/10.3390/molecules28134932

Taheri Sarhozaki, M., Aramideh, S., Akbarian, J., & Pirsa, S. (2020). The effect of zinc oxide nanoparticles, kaolin powder and *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin in combination with Neemarin® against *Bemisia tabaci* and pupae of *Eretmocerus mundus* under field conditions. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 43(3), 1-19. https://doi.org/10.22055/ppr.2020.16187

Thakur, P., & Thakur, A. (2022). Introduction to Nanotechnology. In A. Thakur, P. Thakur, & S. M. P. Khurana (Eds.), *Synthesis and Applications of Nanoparticles*, 1–17. *Springer Nature Singapore.* https://doi.org/10.1007/978-981-16-6819-7_1

Thiruvengadam, M., Chi, H. Y., & Kim, S. H. (2024). Impact of nanopollution on plant growth, photosynthesis, toxicity, and metabolism in the agricultural sector: An updated review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 207, 108370. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108370

Todaro, B., & Santi, M. (2022). Characterization and Functionalization Approaches for the Study of Polymeric Nanoparticles: The State of the Art in Italian Research. *Micro*, *3*(1), 9–21. https://doi.org/10.3390/micro3010002

Tripathi, D., Singh, M., & Pandey-Rai, S. (2022). Crosstalk of nanoparticles and phytohormones regulate plant growth and metabolism under abiotic and biotic stress. *Plant Stress*, 6, 100107. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100107

Tryfon, P., Kamou, N. N., Mourdikoudis, S., Karamanoli, K., Menkissoglu-Spiroudi, U., & Dendrinou-Samara, C. (2021). CuZn and ZnO nanoflowers as nano-fungicides against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*: Phytoprotection, translocation, and impact after foliar application. *Materials*, 14(24), 7600. https://doi.org/10.3390/ma14247600

Tryfon, P., Sperdouli, I., Adamakis, I. D. S., Mourdikoudis, S., Moustakas, M., & Dendrinou-Samara, C. (2023). Impact of coated zinc oxide nanoparticles on photosystem II of tomato plants. *Materials,* 16(17), 5846. https://doi.org/10.3390/ma16175846

Upadhayay, V. K., Chitara, M. K., Mishra, D., Jha, M. N., Jaiswal, A., Kumari, G., & Sharma, A. (2023). Synergistic impact of nanomaterials and plant probiotics in agriculture: A tale of two-way strategy for long-term sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1133968. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133968

Valdez-Salas, B., Beltran-Partida, E., Mendez-Trujillo, V., & González-Mendoza, D. (2020). Silver nanoparticles from *Hpytus suaveolens* and their effect on biochemical and physiological parameter in mesquite plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,* 28, 101733. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101733

Vladár, A. E., & Hodoroaba, V. D. (2019). Characterization of nanoparticles by scanning electron microscopy. V. D. Hodoroaba, W.E.S Unger, & A. G. Shard (Eds), Characterization of Nanoparticles: Measurement Processes for Nanoparticles, 7–27). *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814182-3.00002-X

Wang, X., Xie, H., Wang, P., & Yin, H. (2023). Nanoparticles in plants: uptake, transport and physiological activity in leaf and root. *Materials,* 16(8), 3097. https://doi.org/10.3390/ma16083097

Zahid, M., Ali, B., Aslam, D., Rani, S., Shaheen, A., Hussain, S., Buttar, A. D., Niaz, Y., Ahmad, S. & Iqbal, J. (2025). Role of Nanoparticles in Improving Biofortification: An Overview. Crop Biofortification: Biotechnological Approaches for Achieving *Nutritional Security Under Changing Climate*, 89-112. https://doi.org/10.1002/9781394273270.ch06

Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Science*, 289, 110270. *Elsevier Ireland Ltd*. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270









CAPÍTULO XIX

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN EL SOCONUSCO, CHIAPAS: APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE RAMBUTÁN (*NEPHELIUM LAPPACEUM* L.) PARA LA SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA

Khirbet López Velázquez[1], Minerva Villanueva Rodríguez[2], Analila Luna Valenzuela[3] y José Luis Cabellos Quiroz[1]

INTRODUCCIÓN

El rambután (*Nephelium lappaceum* L.) es una fruta tropical perteneciente a la familia Sapindaceae y es originaria del sudeste asiático, su nombre deriva del término malayo "rambut", que significa "cabello" en referencia a las largas proyecciones que cubren su cáscara (Hernández-Hernández et al., 2019). El rambután comparte similitudes con otros frutos tropicales como el lichi (*Litchi chinensis*) y su cultivo se ha expandido en regiones tropicales de América Latina, África y el Caribe, donde se ha adaptado favorablemente.

De acuerdo con lo reportado por el Investigador Carlos Hugo Avendaño Arrazate, el rambután es un fruto tropical originario de Malasia e Indonesia que se ha adaptado exitosamente al trópico húmedo de México y se considera un fruto exótico (Ver Figura 1), el sabor de la pulpa del fruto va de dulce a agridulce y su consistencia es generalmente jugosa, tiene alto contenido en vitamina C, riboflavina, carbohidratos y proteínas que brindan nutrición al consumidor (Avendaño-Arrazate, 2022).

1 Universidad Politécnica de Tapachula.
2 Universidad Autónoma de Nuevo León.
3 Universidad Autónoma de Occidente.

Figura 1.
El rambután fue introducido en 1960 en Chiapas en el Campo Experimental Rosario Izapa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas.



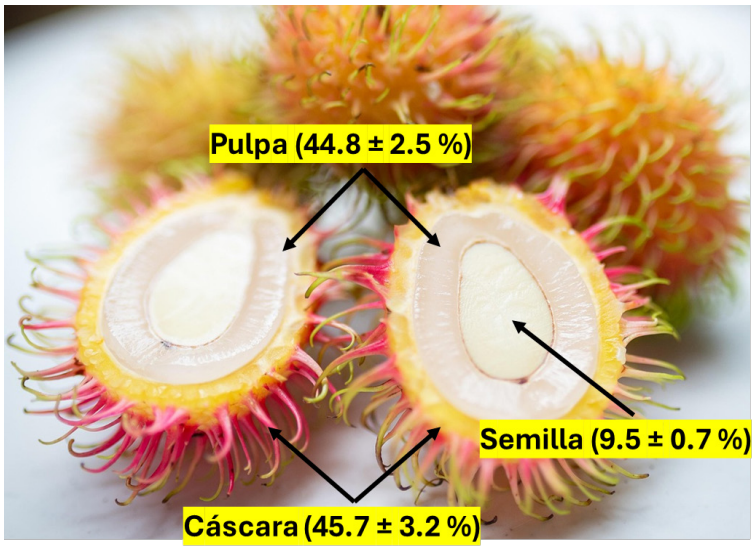
Fuente: https://cuenca.nvinoticias.com/cuenca/general/lichi-y-rambutan-de-asia-para-la-cuenca/16117.

El árbol de rambután puede sembrarse desde 0 a 800 m.s.n.m. y se desarrolla mejor en suelos profundos, bien drenados, ligeramente ácidos y con alto contenido de materia orgánica, además requiere una precipitación pluvial entre 2500 y 3000 milímetros (Avendaño-Arrazate, 2022). En México, el rambután se cultiva en los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco, Guerrero, Colima, San Luis Potosí, Nayarit y Michoacán. Entre ellos, Chiapas es el principal productor de rambután en el país, concentrando más del 90% de las plantaciones con una producción que varía entre de 12,200 a 30,000 toneladas (CONAGUA, 2023; Sur, 2023). Solamente en la región del Soconusco hay aproximadamente 5000 hectáreas de superficie establecidas principalmente en los municipios de Metapa, Cacahoatán, Frontera Hidalgo, Tuxtla Chico y Tapachula, alcanzando un rendimiento entre 11 y 20 toneladas por hectárea entre los meses de junio a agosto.

El cultivo del rambután se ha consolidado como una alternativa sostenible para los sistemas alimentarios de regiones tropicales como el Soconusco, Chiapas contribuyendo a la diversificación agrícola y al desarrollo de la economía local y de diversas regiones tropicales en los países latinoamericanos. El rambután se puede consumir fresco o procesado y su semilla se ha utilizado como ingrediente para la elaboración de chocolate (Hernández-Hernández et al., 2019). Sin embargo, se han realizado pocas investigaciones sobre el uso de la cáscara de rambután para aplicaciones biotecnológicas y para el aprovechamiento de sus componentes bioactivos, que podrían tener gran impacto en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. De hecho, recientemente se reportó que la cáscara de rambután contiene distintas clases de compuestos bioactivos, incluyendo ácidos orgánicos, tocoferoles, ácidos grasos,

procianidinas y antocianinas. Además, el extracto de la cáscara mostró alta actividad antioxidante, así como propiedades antibacterianas y antifúngicas (Albuquerque et al., 2023). En la Figura 2 se ilustra la estructura general del fruto y su distribución en peso, tanto de la cáscara, pulpa y semilla.

Figura 2.
Fruta de rambután y porcentaje en peso de sus componentes.



Fuente: Solís-Fuentes et al., 2010 (imagen utilizada bajo una licencia Creative Commons).

En el contexto de los sistemas alimentarios de regiones tropicales como lo es el Soconusco, Chiapas; el presente capítulo se centra en la valorización del extracto de cáscara de rambután (un residuo agrícola abundante durante el periodo de cosecha) para la síntesis verde de nanopartícula de plata (AgNPs), las cuales poseen amplias aplicaciones médicas, biomédicas y cosméticas, así como un uso importante en las industrias alimentaria, textil y electrónica, destacando sus aplicaciones ambientales en la purificación de agua dada su excelente actividad antibacteriana y antiséptica.

En años recientes, la síntesis verde de AgNPs ha emergido como una alternativa innovadora y respetuosa con el medio ambiente frente a los métodos físicos y químicos convencionales, que suelen implicar el uso de sustancias tóxicas y un elevado consumo energético. Este enfoque utiliza extractos naturales de plantas, microorganismos o subproductos agroindustriales como agentes reductores y estabilizantes, facilitando la conversión de iones de plata (Ag^{+}) en nanopartículas metálicas. Asimismo, el uso de residuos agroindustriales, como la cáscara de rambután, contribuye a la economía circular, al valorizar subproductos que de otro modo se desecharían. De esta manera, la síntesis verde de AgNPs mediante el extracto acuoso de la cáscara de rambután no solo representa un avance biotecnológico, sino también una estrategia viable y sostenible para abordar desafíos tecnológicos y ambientales contemporáneos.

Por tanto, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar el uso del extracto de cáscara de rambután como agente reductor para la síntesis de AgNPs; los factores

estudiados incluyeron el volumen de extracto de la cáscara, el tiempo de reacción y la temperatura de síntesis para optimizar la obtención efectiva de AgNPs.

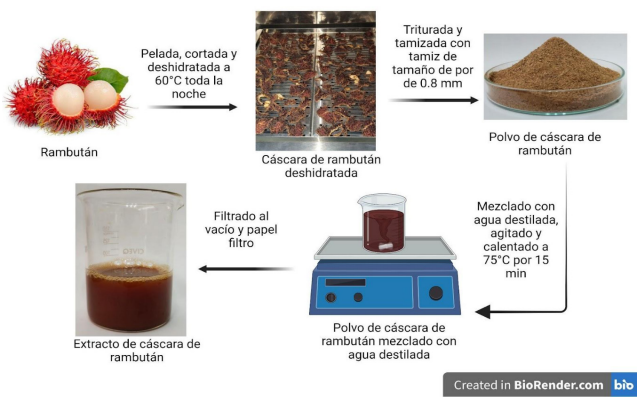
METODOLOGÍA

La cáscara de rambután se seleccionó como objeto de estudio dado que constituye uno de los principales residuos agroindustriales en el sur de México. Para ello, se adquirieron frutos frescos de rambután en el mercado local de la región Soconusco, Chiapas, los cuales se transportaron al laboratorio y se procesaron de inmediato. Por otro lado, se empleó $AgNO_3$ (pureza ≥ 99.0 %, Meyer) como fuente de iones Ag^+, principal precursor de las nanopartículas de plata, mientras que el agua destilada (Meyer) se utilizó para preparar tanto el extracto de cáscara de rambután, como las soluciones de $AgNO_3$ 10mM. Para ajustar el pH se usó una solución de NaOH (pureza ≥ 99.0 %, Meyer) al 10 % m/v.

Preparación del extracto de cáscara de rambután

Las cáscaras se separaron manualmente y se lavaron varias veces con agua del grifo, seguidas de dos enjuagues con agua destilada a temperatura ambiente para eliminar polvo e impurezas. Las cáscaras limpias se secaron a 60 °C durante toda la noche y luego se molieron hasta obtener un polvo fino (tamaño de partícula < 1 mm). El extracto se preparó añadiendo 5 g de polvo seco a 100 mL de agua destilada, la mezcla se calentó a 75 °C durante 15 min con agitación intensa. A continuación, la mezcla se enfrió a temperatura ambiente, se filtró al vacío para eliminar partículas suspendidas (filtro de celulosa, poro de 30 µm) y se almacenó a 4 °C hasta su uso (máximo 7 días). En la Figura 3 se presenta un esquema general de la preparación del extracto acuoso de la cáscara de rambután.

Figura 3.
Representación gráfica de preparación del extracto acuoso de la cáscara de rambután



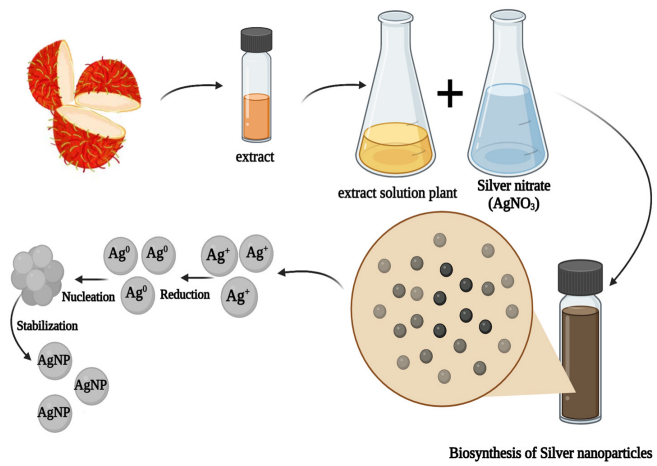
Fuente: elaboración propia.

Síntesis de las nanopartículas de plata

El extracto acuoso de cáscara de rambután se empleó como agente reductor para obtener AgNPs en suspensión coloidal. Para ello, se preparó 50 mL de una solución

de $AgNO_3$ 10 mM, se le adicionaron por goteo distintos volúmenes del extracto (1, 3 y 5 mL) y se ajustó el pH a 11. Luego, la mezcla se calentó a 75 °C y se mantuvo en agitación a diferentes periodos (1, 2, 3 y 4 h). Durante la reacción se observó un notable cambio de color (de amarillo pálido a marrón oscuro), el cual fue el principal indicativo de la formación de AgNPs. La suspensión coloidal de nanopartículas se almacenó en viales de vidrio sellados y protegidos de la luz a 4 °C. En la Figura 4 se describe gráficamente el procedimiento para la síntesis de las AgNPs.

Figura 4.
Esquema gráfico de la síntesis verde de las AgNPs.



Fuente: elaboración propia.

Caracterización

La espectroscopía UV–Vis se empleó como la técnica principal para corroborar la formación de las AgNPs, dada su rapidez, bajo costo y sencillez operativa. Los espectros se obtuvieron con un espectrofotómetro Genesys 10S (Thermo Scientific) en el rango de 200–800 nm. Para cada medición, se diluyó 1 mL de la suspensión de AgNPs en un matraz aforado de 50 mL, completando el volumen con agua destilada para mantener la absorbancia dentro del rango lineal del instrumento.

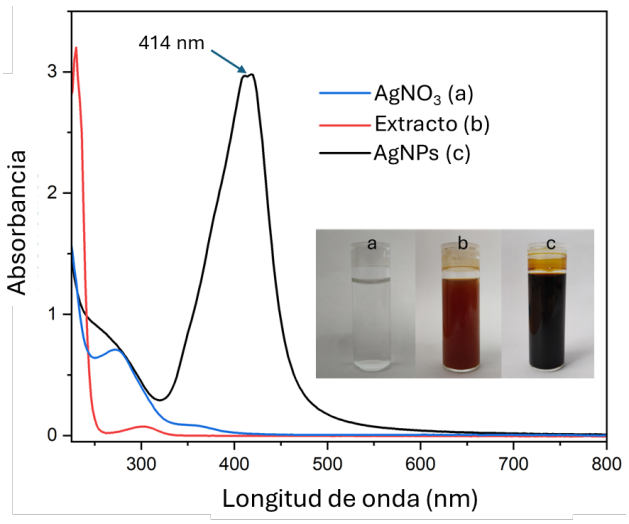
Por otra parte, la dispersión de luz dinámica (DLS) se empleó como técnica complementaria para determinar el tamaño hidrodinámico y la polidispersión de las AgNPs en suspensión coloidal. Las mediciones se realizaron en un equipo Zetasizer Nano ZS (Malvern Panalytical) operando con un láser de 633 nm. Antes del análisis, cada muestra de AgNPs se diluyó transfiriendo 1 mL alícuota a un tubo de 10 mL y completando con agua destilada hasta un volumen final de 5 mL, con el fin de alcanzar una dispersión óptima y evitar efecto múltiple de dispersión. Además, las muestras se equilibraron a 25 °C durante 5 min dentro del compartimento térmico del instrumento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio, las AgNPs se sintetizaron con éxito mediante un método verde empleando el extracto acuoso de las cáscaras de rambután, lo cual fue corroborado

por espectroscopía UV–Vis. Los espectros de las AgNPs se muestran en la Figura 5, donde la absorción máxima se observa entre 350 y 450 nm, correspondiente a la región típica de absorción de las AgNPs (Lestari et al., 2018). Además, con fines comparativos, en la misma figura se incluyeron los espectros UV–Vis del extracto de la cáscara de rambután y de la solución de $AgNO_3$ 10 mM. De este modo, la Figura 5 revela que la absorción máxima de las AgNPs se localiza en 414 nm; esta señal cercana a la región ultravioleta se asocia con la resonancia de plasmones de superficie (SPR) en las AgNPs, un fenómeno común en nanopartículas metálicas donde los electrones de la capa superficial se excitan con fotones, generando oscilaciones colectivas de electrones libres que viajan paralelas a la superficie y pueden dar lugar a especies reactivas de oxígeno (ROS). Adicionalmente, de acuerdo con los reportes en la literatura, la formación de AgNPs se evidenció por el cambio de color de amarillo pálido a marrón oscuro, resultado de la reducción y estabilización de iones Ag^+ (Dua et al., 2023; Kumar et al., 2015), tal y como se ilustra en las fotografías insertadas en la Figura 5.

Figura 5.
Espectro UV-vis de las AgNPs preparadas en este trabajo, AgNO3 10mM, y del extracto de la cáscara de rambután.



Fuente: elaboración propia.

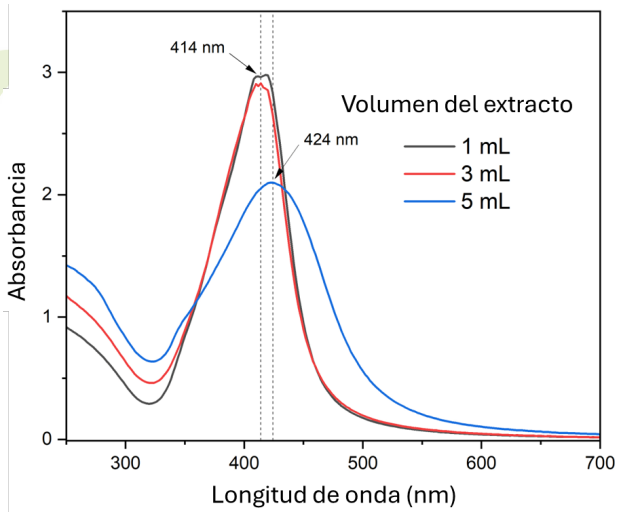
En estudios previos se ha reportado que biomoléculas/fitoquímicas como antocianinas, elagitaninos, ácido elágico, corilagina, geraniina, ácido siringílico, ácido p-cumárico y compuestos fenólicos presentes en el extracto de cáscara de rambután podrían desempeñar un papel clave como agentes reductores de iones Ag^+, principalmente mediante la interacción con grupos –OH y –CHO, que actúan como donadores de electrones y, a su vez, son responsables de la estabilización de las AgNPs al interaccionar con las formas oxidadas (–C=O, –COOH) (Kumar et al., 2015). Así, las biomoléculas presentes en el extracto acuoso de cáscara de rambután son responsables de la reducción de iones Ag^+ a Ag^0 en un solo paso:

$$AgNO_3 \rightarrow Ag^{++NO_3^-} \quad (1)$$

$$Ag^{++reducingextract} \quad (2)$$

Por otra parte, se evaluó el efecto del volumen de extracto, el tiempo de reacción y la temperatura en la síntesis de AgNPs. La Figura 6 muestra los espectros UV–Vis de AgNPs preparadas añadiendo 1, 3 y 5 mL de extracto de cáscara de rambután. Se observó que el mayor volumen de extracto (5 mL) produjo un pico ancho y asimétrico entre 325 y 520 nm, lo que indica la formación de partículas de Ag con un intervalo amplio de tamaños y formas no uniformes, consistente con lo reportado en otros estudios de síntesis verde de AgNPs (Lestari et al., 2018). Además, se aprecia un desplazamiento hacia longitudes de onda mayores (línea azul) de 414 a 424 nm, asociado también con el aumento del tamaño de las AgNPs. De acuerdo con la teoría de Mie, el ancho de banda de absorción y la posición del pico dependen del tamaño de las partículas de plata; al incrementar el diámetro (por aglomeración o agregación), la polarización con la luz deja de ser homogénea, lo cual se refleja en dichos desplazamientos y en el ensanchamiento de las señales (Sharma et al., 2016). Por el contrario, las muestras preparadas con 1 y 3 mL de extracto exhibieron la mayor intensidad en el pico de absorbancia a 414 nm, indicando una transformación más completa de los iones Ag en AgNPs. Con base en estos resultados, se seleccionó 1 mL de extracto de cáscara de rambután como volumen óptimo para la síntesis de AgNPs. Estas observaciones subrayan el papel crítico de la concentración del extracto en la preparación verde de AgNPs, donde cantidades bajas del agente reductor facilitan una formación más eficaz y completa de las nanopartículas.

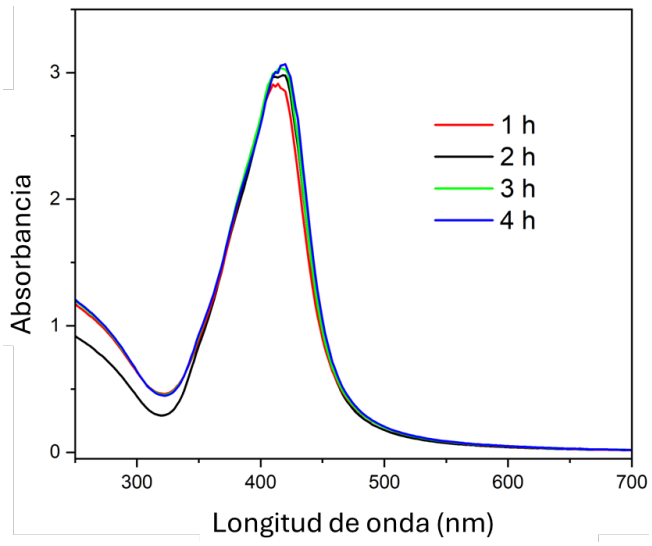
Figura 6.
a) Espectros UV-vis de las AgNPs preparadas utilizando diferentes volúmenes del extracto.



Fuente: elaboración propia.

Además, durante la síntesis verde, el tiempo de reacción es un factor crítico que influye en la formación, estabilidad y morfología de las AgNPs (Ghaffari-Moghaddam et al., 2014; Huq et al., 2022). En este estudio, la síntesis de AgNPs con extracto de cáscara de rambután se monitoreó a lo largo de distintos tiempos de reacción (1, 2, 3 y 4 horas) bajo condiciones constantes de temperatura (75 °C) y agitación, los resultados de estos experimentos se pueden apreciar en los espectros UV-vis de la Figura 7, donde se observan diferencias mínimas entre ellos por efecto del tiempo de reacción. Los datos sugieren que la nucleación, el crecimiento y la estabilización de las AgNPs ocurrieron predominantemente durante las primeras dos horas de reacción y no se observó un aumento sustancial en la absorbancia después de este tiempo, lo que indica que la reducción de Ag^+ había alcanzado su punto de saturación. Prolongar el tiempo de reacción más allá de dos horas no incrementó el rendimiento de nanopartículas y ello podría favorecer la aglomeración o provocar cambios en la distribución de tamaños. Por lo tanto, en este trabajo se seleccionaron dos horas como tiempo de reacción óptimo para la síntesis verde de AgNPs.

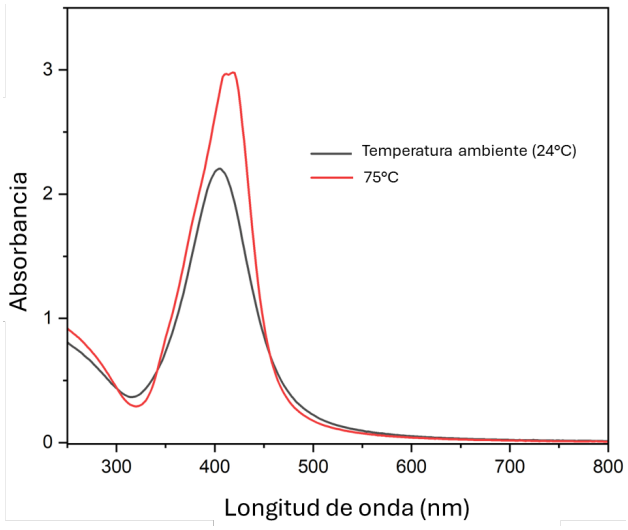
Figura 7.
Espectros UV-vis de las AgNPs preparadas a diferentes tiempos de reacción.



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, también se evaluó el efecto de la temperatura en la síntesis de AgNPs en dos niveles: a temperatura ambiente (24 °C) y a 75 °C (para minimizar la evaporación del agua). La Figura 8 muestra los resultados de estos experimentos, donde se observa que el aumento de la temperatura favorece una formación más completa y efectiva de las AgNPs, lo cual concuerda con lo reportado por Dua et al. (2023), quienes sintetizaron AgNPs usando extractos vegetales, e indicaron que temperaturas entre 60 y 80 °C contribuyen a obtener nanopartículas de tamaño inferior a 100 nm.

Figura 8.
Espectros UV-vis de las AgNPs preparadas a diferentes temperaturas.



Fuente: elaboración propia.

La síntesis verde de AgNPs ya se ha reportado anteriormente utilizando diversos extractos vegetales provenientes de hojas, tallos, semillas, bulbos, flores y cáscaras de múltiples especies. Por esta razón, en la Tabla 1 se presenta un resumen de los principales trabajos acerca de la síntesis verde de AgNPs, donde además se describen los volúmenes de extracto, el tiempo de reacción empleado y su evaluación en aplicaciones prácticas como agentes antibacterianos o antifúngicos, entre otros. En este punto, cabe destacar que este trabajo se enfocó principalmente en proponer el aprovechamiento del extracto de la cáscara de rambután (un residuo agrícola abundante en el Soconusco, Chiapas) como una alternativa eficaz y amigable con el ambiente para aplicaciones biotecnológicas, como la síntesis de nanomateriales con alto valor agregado. Por lo tanto, las aplicaciones prácticas de las AgNPs como agentes fotocatalíticos, desinfectantes, antibacterianos o antifúngicos no fueron evaluadas, sino que se propone su investigación en estudios posteriores.

Tabla 3.
Tabla comparativa de los principales extractos vegetales utilizados para la síntesis de AgNPs.

Especie	Tamaño promedio (nm)	Volumen de extracto (mL)	Tiempo de reacción	Temperatura (°C)	Aplicación	Referencia
Nephelium lappaceum L. (Cáscara)	34.4	1	2 horas	75	No evaluada	Este estudio
Nephelium lappaceum L. (Cáscara)	No estudiada	No definida	1 hora	70	Antibacteriana	(Lestari et al., 2018)

Continúa...

Moringa oleifera (hojas)	10 - 25	1	1 hora	60 - 80	Antibacteriana	(Asif et al., 2022)
Lysiloma acapulcensis (raíces)	1.2 - 62	2.5	1 hora	Temperatura ambiente	Antibacteriana	(Garibo et al., 2020)AgNPs are used as an antimicrobial agent. One of the most effective approaches for the production of AgNPs is green synthesis. Lysiloma acapulcensis (L. acapulcensis
Achillea millefolium L. (toda la planta)	14.2 – 20.7	20	24 horas	Temperatura ambiente	Antibacteriana	(Yousaf et al., 2020)
Ctenolepis garcini (hojas)	20 - 50	5	24 horas	Temperatura ambiente	Antibacteriana	(Narayanan et al., 2021)

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el tamaño de las AgNPs preparadas en este trabajo se calculó a partir de los espectros UV–Vis mediante la teoría de Mie, la cual es una aproximación adecuada para describir cómo las partículas dispersan la luz según su tamaño y propiedades ópticas, mediante la siguiente ecuación:

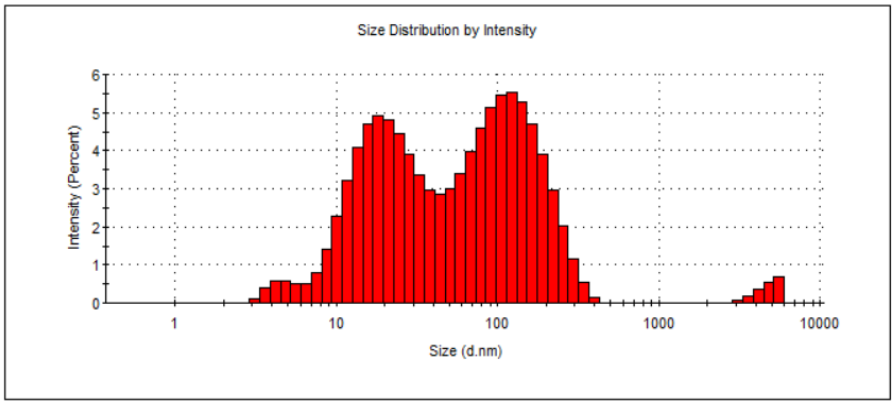
$$2R = \frac{\lambda_{max}^2 V_f}{\pi c \omega} \qquad (3)$$

Donde R es el radio de la partícula, λ_{max} es la longitud de onda de máxima intensidad del SPR, V_f es la velocidad de los electrones en el nivel de Fermi (1.4×10^6 m·s^{-1} para Ag), c es la velocidad de la luz, y ω es el FWHM (ancho completo a media altura) de la señal SPR (Pragatheeswaran et al., 2010). Con base en los resultados de esta aproximación, el tamaño de las AgNPs se determinó en un rango entre 3.7 y 4.5 nm bajo las siguientes condiciones: 50 mL de $AgNO_3$ 10 mM + 1 mL de extracto de cáscara de rambután, pH 11 y 2 horas de síntesis a 75 °C con agitación magnética. Estos valores coinciden con los reportados en otros estudios, donde el tamaño de las AgNPs sintetizadas fue medido experimentalmente por microscopía electrónica de transmisión (TEM), osciló entre 3.2 y 7.8 nm (Gharibshahi et al., 2017; Rajak et al., 2023).

Sin embargo, es claro que, tal y como lo indican trabajos previos, la manera más adecuada de estimar el tamaño de las AgNPs es mediante técnicas de microscopía electrónica como SEM y TEM, incluso la caracterización por dispersión de luz dinámica (DLS) es una técnica sumamente confiable para estimar el tamaño de las AgNPs en suspensión coloidal. El estudio mediante la técnica DLS arrojaron los resultados de la Figura 9, en ella se observan una distribución bimodal en el rango que va desde 3 hasta 400 nm, el tamaño promedio de las partículas fue 34.4 nm y un índice de polidispersidad (PDI) de 0.25, lo que indica una distribución de tamaño relativamente uniforme y con máximos localizados aproximadamente en 20 nm y 150 nm, lo cual confirma que el uso del extracto de la cáscara de rambután es un método efectivo para la síntesis de partículas de Ag a nano escala. Además, se observó

la presencia de algunas aglomeraciones de AgNPs con tamaños en el rango de 3000 a 6000 nm con abundancias menores al 1%. Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran una estrecha concordancia con estudios recientes sobre la síntesis verde de AgNPs utilizando extractos vegetales. Por ejemplo, (Oselusi et al., 2025) sintetizaron AgNPs utilizando extracto de hojas de *Ehretia rigida*, obteniendo un tamaño hidrodinámico promedio de 74.02 ± 0.19 nm. Asimismo, (Rajak et al., 2023) reportaron la síntesis de AgNPs empleando extracto de flores de *Curcuma longa*, logrando nanopartículas esféricas con un tamaño promedio de aproximadamente 5 nm. Además, en nuestro trabajo, la baja proporción de aglomeraciones refleja una eficacia estabilizante comparable a la documentada por Lima et al. (2024)can replace potentially toxic chemical methods, and can increase the scale of production. This study aimed to synthesize AgNPs from aqueous extracts of guarana (Paullinia cupana quienes reportaron una distribución de tamaño uniforme y una alta estabilidad coloidal en las AgNPs sintetizadas a partir de extractos de *Paullinia cupana*.

Figura 9.
Distribución de los tamaños de partículas de AgNPs medidos por la técnica DLS. (Promedio del diámetro de partícula = 34.4 nm).



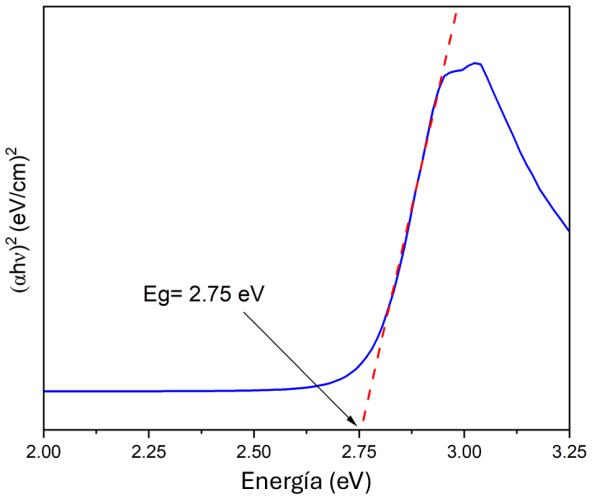
Fuente: elaboración propia.

Entre las múltiples aplicaciones de las AgNPs, su uso para la desinfección de agua y alimentos es el más destacado. Incluso, las AgNPs han sido evaluadas como fotocatalizadores para la descontaminación del agua bajo luz solar (Dua et al., 2023). Por esta razón, el band gap óptico (E_g) de las AgNPs preparadas se estimó experimentalmente a partir de los espectros UV–Vis mediante la ecuación de Tauc:

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \qquad (4)$$

Donde α es el coeficiente de absorción, *h* la constante de Planck, ν la frecuencia, A una constante de proporcionalidad, E_g es el band gap óptico y *n* el exponente de Tauc (n = 2 para transiciones indirectas permitidas). En la práctica, este método consiste en graficar vs. , y extrapolar la región lineal más allá del borde de absorción hasta interceptar el eje de abscisas, obteniéndose así el valor de E_g, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10.
Estimación del valor del band gap óptico mediante el método de Tauc



Fuente: elaboración propia.

En este trabajo, el valor de la E_g de las AgNPs se estimó experimentalmente en 2.75 eV (λ = 450.8 nm), coincidiendo con lo reportado por (Arumai Selvan et al., 2018) quienes sintetizaron AgNPs usando diversos extractos vegetales y obtuvieron valores de Eg entre 2.75 y 2.77 eV. En pocas palabras, el valor de E_g se puede entender como la energía mínima que debe aportar un fotón para excitar un electrón hacia bandas de mayor energía, lo cual favorece la separación y transferencia de carga, ideal para sistemas fotocatalíticos. En el caso de las nanopartículas de plata, éstas exhiben principalmente una estructura de banda metálica, y sus propiedades ópticas están relacionadas con el comportamiento plasmónico y las transiciones interbanda, donde la absorción plasmónica suele dominar los espectros ópticos de las AgNPs. Sin embargo, en aplicaciones fotocatalíticas para la descontaminación de agua, se ha descrito que los electrones en los estados 4*d* de las AgNPs se excitan hacia bandas 5*sp* de alta energía bajo radiación UV–Visible. De este modo, los electrones excitados pueden reducir moléculas de oxígeno disuelto para formar radicales superóxidos, mientras que los huecos fotoinducidos que quedan en las bandas *d* internas pueden abstraer electrones de las moléculas contaminantes (Varghese Alex et al., 2020). Tanto los radicales superóxidos como los huecos fotoinducidos son los agentes responsables de la degradación de los contaminantes, ofreciendo una alternativa interesante y prometedora para aplicaciones medioambientales usando AgNPs bajo una fuente de luz UV–Visible, como la luz solar natural.

En cuanto a las aplicaciones antibacterianas de las AgNPs, estas ejercen un notable efecto en la inactivación de diversos tipos de bacterias mediante múltiples mecanismos sinérgicos. Por ejemplo, las AgNPs pueden adherirse a la membrana celular bacteriana y liberar iones Ag^+, alterando su permeabilidad e integridad lo que provoca la fuga de contenido intracelular y la eventual lisis celular. Además, como se mencionó anteriormente, las AgNPs inducen la generación de especies reactivas de oxígeno que causan daño oxidativo a lípidos, proteínas y al ADN. Paralelamente, se

liberan iones Ag^+ que se unen a los grupos tiol de enzimas y proteínas, inhibiendo funciones metabólicas esenciales. Así mismo, los iones Ag^+ pueden interactuar con el ADN, interfiriendo en la replicación y transcripción genética, además pueden alterar la estructura ribosomal e inhibir la síntesis de proteínas. En conjunto, estos mecanismos dan como resultado la inhibición tanto de bacterias Gram-negativas y Gram-positivas (Chapa González et al., 2023; Morones et al., 2005)which exhibit increased chemical activity due to their large surface to volume ratios and crystallographic surface structure. The study of bactericidal nanomaterials is particularly timely considering the recent increase of new resistant strains of bacteria to the most potent antibiotics. This has promoted research in the well known activity of silver ions and silver-based compounds, including silver nanoparticles. The present work studies the effect of silver nanoparticles in the range of 1-100 nm on Gram-negative bacteria using high angle annular dark field (HAADF.

CONCLUSIONES

La presente investigación demostró la efectividad del extracto acuoso de las cáscaras de rambután para la síntesis verde de AgNPs, esto abre nuevas posibilidades para el aprovechamiento integral de los residuos agrícolas en las regiones tropicales de Latinoamérica, particularmente los generados durante el procesamiento de esta fruta. El aprovechamiento de la cáscara de rambután para aplicaciones biotecnológicas representa una estrategia amigable con el ambiente y puede representar una oportunidad para impulsar la economía regional y fortalecer modelos de producción más sostenibles.

En trabajos a futuro, se recomienda explorar el escalamiento del proceso de síntesis y su optimización a nivel piloto o industrial, incorporando un proceso complementario para la purificación de las AgNPs. Además, es necesario evaluar la efectividad de las AgNPs en aplicaciones tales como la purificación del agua, recubrimientos antimicrobianos para superficies, desinfección de explantes vegetales para propagación *in vitro* e *in situ*, desinfección postcosecha de frutas y vegetales, entre otras. Estas acciones podrían tener un impacto significativo en la implementación de estrategias de seguridad alimentaria y de salud pública en comunidades rurales marginadas. Finalmente, la valorización de los residuos agrícolas, como la cáscara de rambután y muchos otros, puede convertirse en una estrategia clave para alcanzar la transición hacia sistemas alimentarios más resilientes, sostenibles y amigables con el ambiente.

REFERENCIAS

Albuquerque, B. R., Pinela, J., Dias, M. I., Pereira, C., Petrović, J., Soković, M., Calhelha, R. C., Oliveira, M. B. P. P., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2023). Valorization of rambutan (Nephelium lappaceum L.) peel: Chemical composition, biological activity, and optimized recovery of anthocyanins. *Food Research International*, *165*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112574

Arumai Selvan, D., Mahendiran, D., Senthil Kumar, R., & Kalilur Rahiman, A. (2018). Garlic, green tea and turmeric extracts-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Phytochemical, antioxidant and in vitro cytotoxicity studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *180*. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.02.014

Asif, M., Yasmin, R., Asif, R., Ambreen, A., Mustafa, M., & Umbreen, S. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles (AgNPs), Structural Characterization, and their Antibacterial Potential. *Dose-Response*, *20*(1). https://doi.org/10.1177/15593258221088709

Avendaño-Arrazate, C. H. (2022). *¿Qué es el rambután?* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.gob.mx/inifap/articulos/que-es-el-rambutan?idiom=es

Chapa González, C., González García, L. I., Burciaga Jurado, L. G., & Carrillo Castillo, A. (2023). Bactericidal activity of silver nanoparticles in drug-resistant bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, *54*(2), 691–701. https://doi.org/10.1007/S42770-023-00991-7/METRICS

CONAGUA. (2023). *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado, Año Agrícola 2022-2023*.

Dua, T. K., Giri, S., Nandi, G., Sahu, R., Shaw, T. K., & Paul, P. (2023). Green synthesis of silver nanoparticles using Eupatorium adenophorum leaf extract: characterizations, antioxidant, antibacterial and photocatalytic activities. *Chemical Papers*, *77*(6). https://doi.org/10.1007/s11696-023-02676-9

Garibo, D., Borbón-Nuñez, H. A., Díaz De León, J. N., Mendoza, E. G., Estrada, I., Toledano-Magaña, Y., Tiznado, H., Ovalle-Marroquin, M., Soto-Ramos, A. G., Blanco, A., Rodríguez, J. A., Romo, O. A., Chávez-Almazán, L. A., & Susarrey-Arce, A. (2020). *Green synthesis of silver nanoparticles using Lysiloma acapulcensis exhibit high-antimicrobial activity*. *10*, 12805. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69606-7

Ghaffari-Moghaddam, M., Hadi-Dabanlou, R., Khajeh, M., Rakhshanipour, M., & Shameli, K. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts. In *Korean Journal of Chemical Engineering* (Vol. 31, Issue 4). https://doi.org/10.1007/s11814-014-0014-6

Gharibshahi, L., Saion, E., Gharibshahi, E., Shaari, A. H., & Matori, K. A. (2017). Structural and optical properties of ag nanoparticles synthesized by thermal treatment method. *Materials*, *10*(4). https://doi.org/10.3390/ma10040402

Hernández-Hernández, C., Aguilar, C. N., Rodríguez-Herrera, R., Flores-Gallegos, A. C., Morlett-Chávez, J., Govea-Salas, M., & Ascacio-Valdés, J. A. (2019). Rambutan(Nephelium lappaceum L.):Nutritional and functional properties. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 85). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.018

Huq, M. A., Ashrafudoulla, M., Rahman, M. M., Balusamy, S. R., & Akter, S. (2022). Green Synthesis and Potential Antibacterial Applications of Bioactive Silver Nanoparticles: A Review. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 4). https://doi.org/10.3390/polym14040742

Kumar, B., Smita, K., Cumbal, L., & Angulo, Y. (2015). Fabrication of silver nanoplates using Nephelium lappaceum (Rambutan) peel: A sustainable approach. *Journal of Molecular Liquids*, *211*. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.07.067

Lestari, P., Pratiwi, I., & Juliani, A. (2018). Green synthesis of silver nanoparticle using rambutan (Nephelium lappaceum L.) peel extract and its antibacterial activity against Salmonella parathypi A. *MATEC Web of Conferences*, *154*. https://doi.org/10.1051/matecconf/201815401024

Lima, A. K. O., Souza, L. M. dos S., Reis, G. F., Junior, A. G. T., Araújo, V. H. S., Santos, L. C. dos, Silva, V. R. P. da, Chorilli, M., Braga, H. de C., Tada, D. B., Ribeiro, J. A. de A., Rodrigues, C. M., Nakazato, G., Muehlmann, L. A., & Garcia, M. P. (2024). Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extracts from Different Parts of the Paullinia cupana Kunth Plant: Characterization and In Vitro Antimicrobial Activity. *Pharmaceuticals*, *17*(7), 869. https://doi.org/10.3390/PH17070869/S1

Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., & Yacaman, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, *16*(10), 2346. https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059

Narayanan, M., Divya, S., Natarajan, D., Senthil-Nathan, S., Kandasamy, S., Chinnathambi, A., Alahmadi, T. A., & Pugazhendhi, A. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of Ctenolepis garcini L. and assess their possible biological applications. *Process Biochemistry*, *107*. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.05.008

Oselusi, S. O., Sibuyi, N. R. S., Meyer, M., Meyer, S., & Madiehe, A. M. (2025). Phytofabrication of silver nanoparticles using Ehretia rigida leaf aqueous extract, their characterization, antioxidant and antimicrobial activities. *Materials Today Sustainability*, *29*, 101059. https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.101059

Pragatheeswaran, A., Abdul Kareem, T., & Anu Kaliani, A. (2010). Effect of plasma exposure on silver nanoparticles embedded in polyvinyl alcohol. *Journal of Physics: Conference Series*, *208*. https://doi.org/10.1088/1742-6596/208/1/012109

Rajak, K. K., Pahilani, P., Patel, H., Kikani, B., Desai, R., & Kumar, H. (2023). *Green synthesis of silver nanoparticles using Curcuma longa flower extract and antibacterial activity*. https://arxiv.org/pdf/2304.04777

Sharma, H., Singhal, R., Siva Kumar, V. V., & Asokan, K. (2016). Structural, optical and electronic properties of Ag–TiO2 nanocomposite thin film. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, *122*(12). https://doi.org/10.1007/s00339-016-0552-3

Solís-Fuentes, J. A., Camey-Ortíz, G., Hernández-Medel, M. del R., Pérez-Mendoza, F., & Durán-de-Bazúa, C. (2010). Composition, phase behavior and thermal stability of natural edible fat from rambutan (Nephelium lappaceum L.) seed. *Bioresource Technology*, *101*(2). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.031

Sur, D. del. (2023, September). Rambután, el oro rojo en el campo del Soconusco. *OEM*. https://oem.com.mx/diariodelsur/local/produccion-de-rambutan-en-el-soconusco-asociacion-agricola-de-productores-de-rambutan-del-soconusco-14361136

Varghese Alex, K., Tamil Pavai, P., Rugmini, R., Shiva Prasad, M., Kamakshi, K., & Sekhar, K. C. (2020). Green Synthesized Ag Nanoparticles for Bio-Sensing and Photocatalytic Applications. *ACS Omega*, *5*(22). https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01136

Yousaf, H., Mehmood, A., Ahmad, K. S., & Raffi, M. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles and their applications as an alternative antibacterial and antioxidant agents. *Materials Science and Engineering: C*, *112*, 110901. https://doi.org/10.1016/J.MSEC.2020.110901









CAPÍTULO XX

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE PLATOS BIODEGRADALES ELABORADOS CON HOJAS DE PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA*) Y ALMIDÓN DE PAPA

Daniel Rolando Ramírez Portocarrero y Ronald Humberto Trabanino Gómez[1]

INTRODUCCIÓN

El aumento exponencial en el uso de plásticos de un solo uso ha desencadenado una crisis ambiental sin precedentes a nivel global. Estos materiales, derivados principalmente de compuestos petroquímicos, presentan una alta resistencia a la degradación natural, lo que genera una acumulación persistente en los ecosistemas, particularmente en los ambientes marinos. Uno de los sectores con mayor dependencia del plástico es la industria alimentaria, en la que el uso masivo de platos, cubiertos y envases desechables obedece a criterios de conveniencia, aunque a costa de un impacto ambiental considerable.

Ante esta problemática, se plantea la necesidad urgente de desarrollar alternativas sostenibles que permitan reducir el uso de plásticos convencionales y fomentar el aprovechamiento de recursos renovables. Entre las propuestas emergentes se encuentra el uso de hojas de plátano *(Musa paradisiaca)* como materia prima para la elaboración de utensilios biodegradables, dada su disponibilidad, resistencia y carácter ecológico.

De acuerdo con la Fundación Española de la Nutrición, (FEN, s.f), el plátano es una fruta tropical perteneciente a la familia de las musáceas, caracterizada por su forma alargada, pulpa carnosa y cáscara gruesa. Aunque suele asociarse con América Central, diversos estudios sitúan su origen en el sudeste asiático, particularmente en India.

1 Universidad de San Carlos de Guatemala

Las hojas de plátano han sido utilizadas ancestralmente en diversas culturas para el manejo y envoltura de alimentos. Sus propiedades fisicoquímicas como el alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina las convierten en un material natural con potencial para la elaboración de productos con resistencia estructural, biodegradabilidad y funcionalidad.

En el caso de Guatemala, país con una destacada producción de plátano, particularmente en los departamentos de Escuintla, Izabal y San Marcos, se presenta una oportunidad estratégica para el aprovechamiento de esta biomasa agrícola que con frecuencia es subutilizada como residuo. La valorización de la hoja de plátano no solo puede representar un avance en términos de sostenibilidad ambiental, sino también una oportunidad para generar valor agregado y dinamizar las economías rurales.

El estudio presenta el análisis de tres formulaciones experimentales de platos biodegradables a base de harina de hoja de plátano y almidón de papa *(Solanum tuberosum)*, con el objetivo de evaluar su resistencia mecánica y desempeño físico. Los hallazgos obtenidos permiten valorar la viabilidad de estos bioproductos como una alternativa funcional y ambientalmente responsable frente a los utensilios de plástico de un solo uso, contribuyendo así a promover prácticas de consumo más sostenibles.

DESARROLLO

La creciente problemática ambiental asociada al uso intensivo de plásticos de un solo uso ha propiciado un movimiento global orientado a la búsqueda de alternativas sostenibles. En este contexto, los productos biodegradables han adquirido una relevancia significativa, especialmente en el ámbito alimentario. De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas (2018), anualmente se producen más de 300 millones de toneladas de plástico, de las cuales una proporción considerable termina acumulándose en los océanos, afectando de manera severa la biodiversidad marina y comprometiendo la salud de los ecosistemas acuáticos.

Como respuesta a esta crisis, diversas investigaciones han propuesto el empleo de materiales orgánicos como fuentes alternativas para la fabricación de empaques y utensilios (Castilla et al. 2020; Van Der Hoeven, 2019 & Siracusa, 2019). Entre los materiales de mayor potencial destaca la hoja de plátano, tradicionalmente utilizada en la gastronomía de regiones de América Latina, Asia y África debido a su resistencia estructural, flexibilidad y capacidad natural de biodegradación. Estas propiedades la convierten en una materia prima ideal para el desarrollo de platos y envases que puedan sustituir al plástico convencional sin afectar la funcionabilidad y la seguridad alimentaria.

Para garantizar la seguridad e inocuidad de los productos destinados al contacto directo con alimentos, como platos y bandejas biodegradables, se debe considerar el cumplimiento de diversas normativas nacionales e internacionales que regulan su fabricación y control de calidad. En el contexto de Guatemala, la norma COGUANOR NGO 34 136 establece lineamientos de inocuidad aplicables a productos derivados de frutas y hortalizas, los cuales pueden ser extrapolados a materiales biodegradables, con el fin de asegurar que no representen riesgos para la salud del consumidor.

A nivel internacional, la norma CODEX STAN 193-1995 proporciona directrices generales sobre materiales en contacto con alimentos, incluyendo aspectos clave como la migración de sustancias desde el envase hacia el alimento, un tema especialmente relevante para productos de origen vegetal. Asimismo, el Reglamento (CE) No. 1935/2004 de la Unión Europea establece los principios básicos de seguridad que deben cumplir todos los materiales destinados al contacto con alimentos, asegurando que no liberen componentes perjudiciales ni comprometan la inocuidad alimentaria durante su uso.

En el caso de Estados Unidos, la Food and Drug Administration (FDA) regula estos aspectos mediante el Título 21 del Código de Regulaciones Federales (CFR), el cual establece que todos los materiales utilizados en la fabricación de utensilios y empaques deben garantizar que no haya transferencia de sustancias que puedan modificar la composición, calidad o seguridad del alimento.

Por último, la norma internacional ISO 22000 constituye un referente en la gestión de la seguridad alimentaria a lo largo de toda la cadena de suministro. Aunque está enfocada principalmente en la producción y procesamiento de alimentos, también abarca a los fabricantes de materiales en contacto con estos, al exigir sistemas de gestión que garanticen la trazabilidad, el control de riesgos y el cumplimiento de criterios de inocuidad durante todo el proceso productivo.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, en las instalaciones del Centro Universitario del Sur (CUNSUR), ubicado en la ciudad de Escuintla, Guatemala. El periodo de ejecución comprendió desde julio hasta septiembre del año 2025. Se emplearon técnicas de observación directa, experimentación controlada y análisis estadístico para evaluar el comportamiento físico de platos biodegradables elaborados con diferentes proporciones de harina de hoja de plátano *(Musa paradisiaca)* y almidón de papa *(Solanum tuberosum)*.

La metodología fue elaborada con base en adaptaciones propias, inspiradas parcialmente por una investigación similar en el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, INTA (2022), el cual presentó procedimientos similares de elaboración de bioplásticos con almidón y materiales vegetales. A partir de esta referencia, se ajustaron las proporciones conforme a los objetivos planteados para este estudio.

El diseño experimental contempló tres formulaciones distintas de platos, expresadas en porcentajes peso a peso (p/p): 25% hoja de plátano – 75% almidón, 50% hoja de plátano – 50% almidón y 75% hoja de plátano – 25% almidón. Las variables dependientes fueron: resistencia a la ruptura (Newton), índice de compactación (Newton) y saturación de humedad (% de agua). Como variable independiente se consideró la proporción de los componentes en cada formulación.

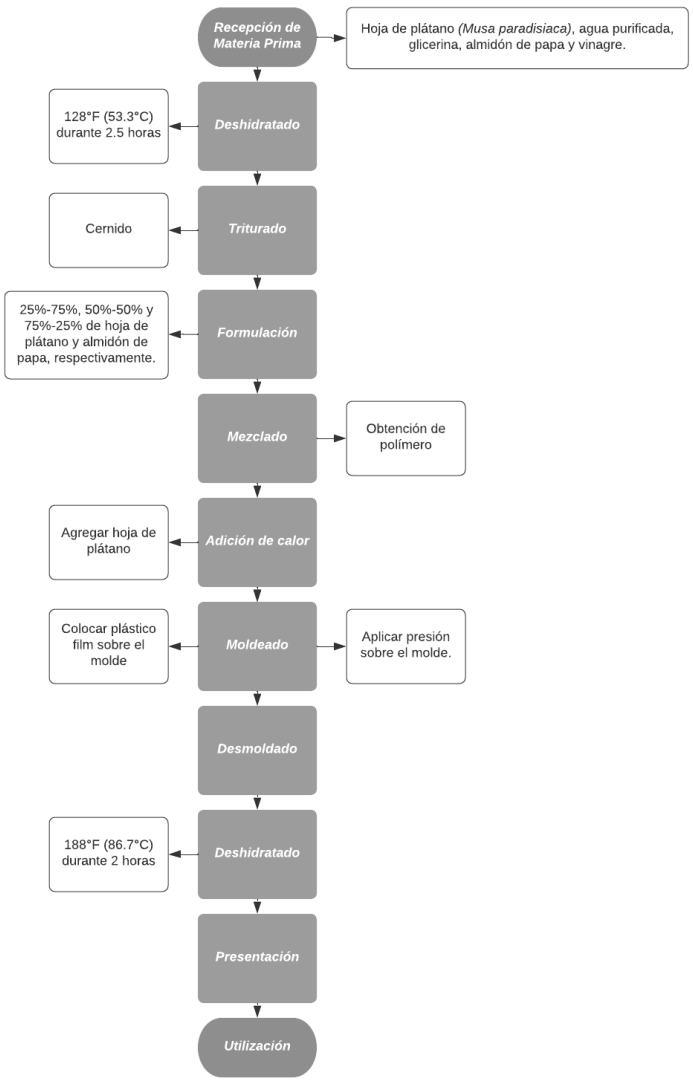
Para la fabricación de los platos se realizó una preparación de harina de hoja de plátano mediante corte, deshidratado y trituración del material. Posteriormente, cada formulación fue mezclada con vinagre, glicerina y agua, fue moldeada en

formas circulares mediante presión en moldes recubiertos con film plástico. Una vez formados, los platos fueron deshidratados a 194°F (90°C) durante 2 horas.

Las pruebas físicas se realizaron bajo condiciones controladas. Para la resistencia a la ruptura y a la compactación se utilizaron métodos de aplicación de carga progresiva y para el índice de saturación se midió la absorción de humedad tras exposición controlada al agua. Los datos fueron procesados y analizados mediante el programa Microsoft Excel, aplicando análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Estos métodos permitieron establecer diferencias significativas entre las formulaciones, identificando así la más eficiente en términos de resistencia mecánica y estabilidad.

Diagrama de flujo del proceso

Figura 1.
Flujograma de plato biodegradable a base de hoja de plátano.



Fuente: Ramírez (2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron evaluar el comportamiento físico de los platos biodegradables elaborados a base de hoja de plátano y almidón de papa en diferentes proporciones. A través de las pruebas de resistencia a la ruptura, índice de compactación e índice de saturación de humedad, se identificaron diferencias significativas entre las formulaciones, respaldadas por análisis estadísticos.

El rendimiento del secado depende de varios factores, como el contenido de humedad inicial de las hojas de plátano, la temperatura de secado y el tiempo empleado; por lo cual, es común obtener altos porcentajes de reducción en materiales vegetales como las hojas, debido a su elevado contenido de agua (Cuadro 1).

Cuadro 1.
Rendimiento de hoja de plátano deshidratada.

Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	Rendimiento
5.65	0.65	88.495%

Fuente: Ramírez (2024).

De acuerdo con Kasper et al. (2013), del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Joinville, las hojas de plátano están compuestas en gran parte por agua, que puede representar entre el 70 y 80% de su peso fresco, lo que explica que, al secarlas, se pierde gran parte de su masa inicial. De acuerdo con Chowdhury (2017), el contenido inicial de humedad en las hojas de plátano es considerablemente alto debido a su composición celular y el proceso de secado puede reducir significativamente su peso, dejando principalmente los componentes sólidos, como fibras y compuestos estructurales.

Por lo tanto, esto respalda que un rendimiento cercano al 90% sea razonable cuando las hojas de plátano se someten a un proceso de secado eficiente.

RESISTENCIA A LA RUPTURA

Cuadro 2.
Resistencia del plato a la ruptura.

	Resistencia (Newton) a la ruptura		
Formulación	25-75	50-50	75-25
R1	1.003	8.865	1.021
R2	0.897	8.813	0.934
R3	1.030	8.844	1.003
Promedio	0.9767	8.841	0.986

Fuente: Ramírez (2024).

Las pruebas de resistencia a la ruptura mostraron diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas. La mezcla 50:50 p/p de hoja de plátano y almidón de papa alcanzó el mayor valor promedio de ruptura con 8.841 NN, evidenciando una estructura más compacta y estable frente a esfuerzos mecánicos. En contraste, las formulaciones 25:75 y 75:25 presentaron valores considerablemente menores, lo que sugiere una cohesión estructural menos eficiente (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 3.
Análisis de varianza de la resistencia del plato a la ruptura.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	123.54	2	61.80	23954.95	1.9624E-12	5.14
Dentro de los grupos	0.0154	6	0.0026			
Total	123.55	8				

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, Análisis de datos, Análisis de varianza de un factor.
Fuente: Ramírez (2024).

Esta tendencia indica que una proporción equilibrada entre el agente estructurante como la hoja de plátano y el aglutinante (almidón de papa) favorece la resistencia del material, como ha sido documentado en estudios similares con matrices vegetales como Malambo et al. (2022). La alta proporción de almidón en la formulación 25:75 pudo haber generado una textura más frágil debido a la gelatinización incompleta del almidón o a la falta de soporte fibroso. Por otro lado, un exceso de fibra vegetal como en la 75:25 puede reducir la adherencia entre partículas, debilitando la estructura final (Cuadro 4).

Cuadro 4.
Prueba de medias de la resistencia del plato a la ruptura.

PRUEBA DE TUKEY				
Grupo 1	Grupo 2	Media	Valor P	Decisión
25-75	50-50	0.9767	2.6978E-12	Si hay diferencia
25-75	75-25	8.8407	9.97257796	No hay diferencia
50-50	25-75	0.9860	2.6978E-12	Si hay diferencia

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, menú complementos, Real Stadistics, ANOVA.
Fuente: Ramírez (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que existió una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la ruptura entre las formulaciones evaluadas, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Las formulaciones 25:75 y 75:25 p/p mostraron valores de resistencia inferiores a los de la formulación 50:50 p/p, lo que sugiere que la proporción de componentes influye de manera determinante en el desempeño mecánico del plato biodegradable (Cuadro 4, Figura 2).

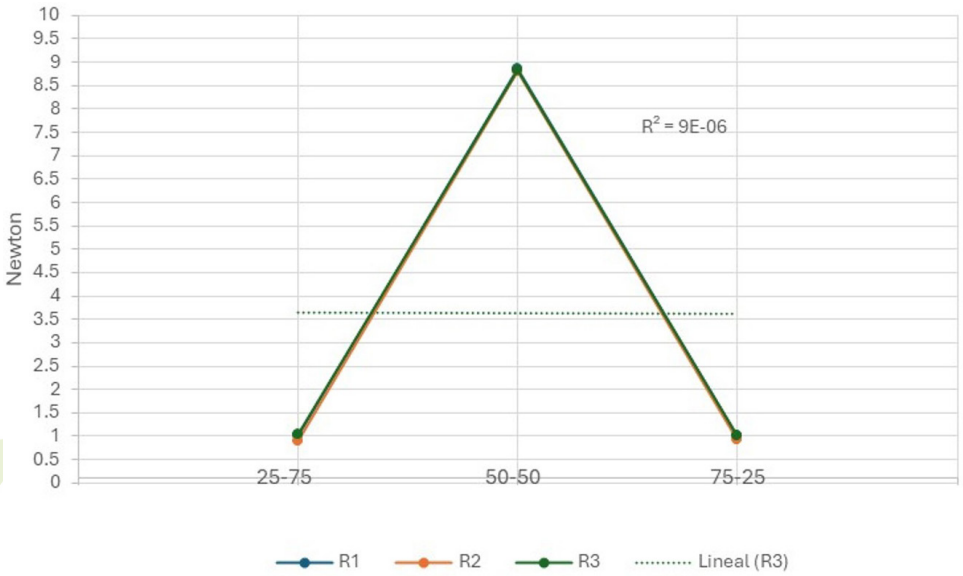
Cuadro 5.
Costos por unidad producida.

Formulación	Costo por plato (Q)	Equivalente en USD
50:50	7.28	0.93
25:75	8.59	1.10
75:25	5.97	0.76

Fuente: Ramírez (2024).

Por lo tanto, luego de un análisis de rendimiento y costos, se recomienda utilizar la formulación de 50% hoja de plátano y 50% almidón de papa.

Figura 2.
Resistencia a la ruptura de los platos biodegradables de hoja de plátano.



Fuente: Ramírez 2024.

En la figura 2 se muestra la resistencia a la ruptura en Newton para las tres formulaciones de platos biodegradables a base de hoja de plátano y almidón de papa (25-75, 50-50, 75-25% p/p, respectivamente). Se observa que la formulación 50-50% p/p posee una resistencia significativamente mayor que las otras. Se observa una R muy pequeño, por lo cual no es representativo de los datos. La baja resistencia observada en las formulaciones 25-75 y 75-25% p/p está relacionada con la menor cohesión y rigidez en estas proporciones de materiales.

ÍNDICE DE COMPACTACIÓN

Respecto al índice de compactación, nuevamente la formulación 50:50 se destacó con un valor promedio de 2.329 N. Esta métrica refleja la fuerza necesaria para compactar el material antes de romperse, lo que está directamente relacionado con la cohesión interna del plato biodegradable.

Las formulaciones 25:75 y 75:25 exhibieron valores de compactación menores, lo que sugiere estructuras menos homogéneas. Esto coincide con anotaciones de Gómez-Gast et al. (2022), donde indican que los biocompuestos con fibras naturales requieren proporciones balanceadas para alcanzar resistencias mecánicas y cohesión adecuadas.

Cuadro 6.
Resistencia a la compactación.

	Resistencia (Newton) a la compactación		
Formulación	25-75	50-50	75-25
R1	0.420	2.525	0.410
R2	0.380	2.243	0.401
R3	0.400	2.218	0.393
Promedio	0.400	2.329	0.401

Fuente: Ramírez (2024).

Cuadro 7.
Análisis de varianza de la resistencia a la compactación.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	7.43	2	3.71	377-52	4.9002E-07	5.1432
Dentro de los grupos	0.0591	6	0.0098			
Total	7.49	8				

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, Análisis de datos, Análisis de varianza de un factor.
Fuente: Ramírez (2024).

Las formulaciones 25:75 y 75:25 p/p registraron valores de compactación inferiores a los obtenidos con la formulación 50:50 p/p. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que la proporción equilibrada de componentes influye positivamente en la resistencia a la compactación del plato. Para corroborar estos hallazgos, se efectuó una prueba de comparación de medias, la cual confirmó la consistencia de los resultados obtenidos.

Cuadro 8.
Prueba de medias de la resistencia a la compactación.

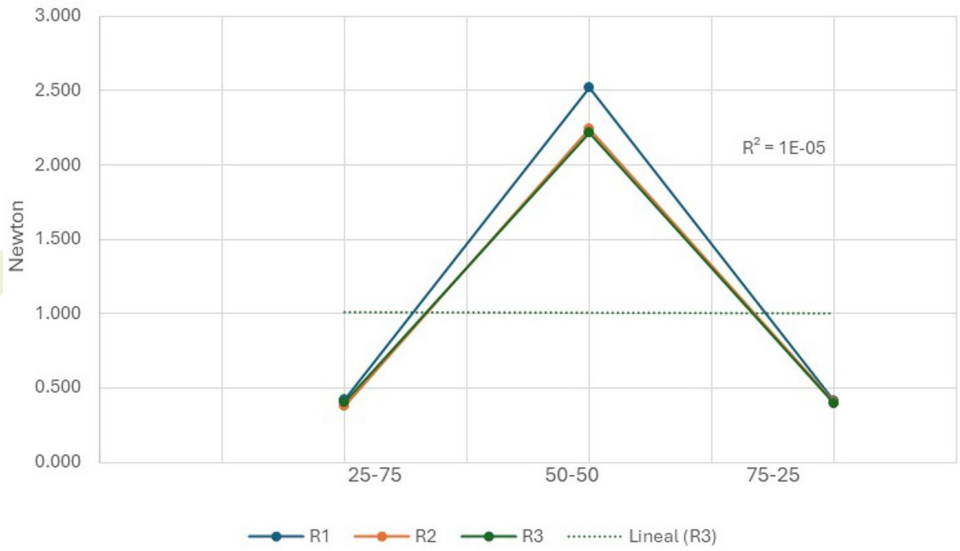
PRUEBA DE TUKEY				
Grupo 1	Grupo 2	Media	Valor P	Decisión
25-75	50-50	0.40	8.1483E-07	Sí hay diferencia
25-75	75-25	2.32	0.9998507	No hay diferencia
50-50	25-75	0.40	8.1809E-07	Sí hay diferencia

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, menú complementos, Real Stadistics, ANOVA.
Fuente: Ramírez (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que existía una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la compactación entre las formulaciones evaluadas, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Las formulaciones 25:75 y 75:25 p/p presentaron valores inferiores en comparación con la formulación 50:50 p/p, lo que sugiere que la proporción de los componentes influye de manera directa en la cohesión y resistencia del material.

Por lo tanto, luego de un análisis de rendimiento y costos (ver cuadro 3), se recomienda utilizar la formulación de 50% hoja de plátano y 50% almidón de papa.

Figura 3.
Resistencia a la compactación de los platos biodegradables de hoja de plátano.



Fuente: Ramírez (2024).

En la figura 3 se presenta la resistencia a la compactación, expresada en Newton, para las tres formulaciones de platos biodegradables elaborados a partir de hoja de plátano y almidón de papa (25:75, 50:50 y 75:25 % p/p, respectivamente). El valor

de R obtenido indica que los datos no siguen un comportamiento lineal, por lo que no resulta representativo para describir la tendencia. Las formulaciones 25:75 y 75:25 % p/p registraron valores de resistencia inferiores en comparación con la formulación 50:50 % p/p, lo que sugiere que la proporción de componentes influye en la cohesión interna y, por ende, en el rendimiento mecánico del producto.

RETENCIÓN DE HUMEDAD

La retención de humedad es un determinante clave de la vida útil de los utensilios biodegradables. La formulación 50:50 presentó el porcentaje más bajo (11.497%), lo que sugiere una estructura más densa y menos propensa a absorber agua. Las otras formulaciones mostraron porcentajes elevados, lo que podría comprometer su estabilidad bajo condiciones ambientales con alta humedad.

Este comportamiento es respaldado por estudios sobre bioplásticos como los de Cruz et al. (2022) y Tamié et al. (2021), que muestran estructuras densas y bien cohesionadas que obtienen mejores propiedades de barrera frente a la humedad.

Cuadro 9.
Capacidad de retención de humedad.

	Saturación de agua (% p/p)		
Formulación	25-75	50-50	75-25
R1	2.241	11.500	2.984
R2	2.228	11.480	2.973
R3	2.215	11.510	2.978
Promedio	2.228	11.497	2.978

Fuente: Ramírez (2024).

Cuadro 10.
Análisis de varianza de la capacidad de retención de humedad.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico de F
Entre grupos	159.03	2	79.52	551347.71	1.61094E-16	5.1432
Dentro de los grupos	0.0009	6	0.0001			
Total	159.03	8				

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, Análisis de datos, Análisis de varianza de un factor.
Fuente: Ramírez (2024).

Las formulaciones 25:75 y 75:25% p/p registraron porcentajes de retención de humedad superiores a los de la formulación 50:50% p/p. El análisis estadístico

evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica que la proporción equilibrada de componentes influye en la capacidad de retención de humedad del plato biodegradable. Para confirmar estos hallazgos, se realizó una prueba de medias, la cual respaldó la consistencia de los resultados.

Cuadro 11.
Prueba de medias de la capacidad de retención de humedad.

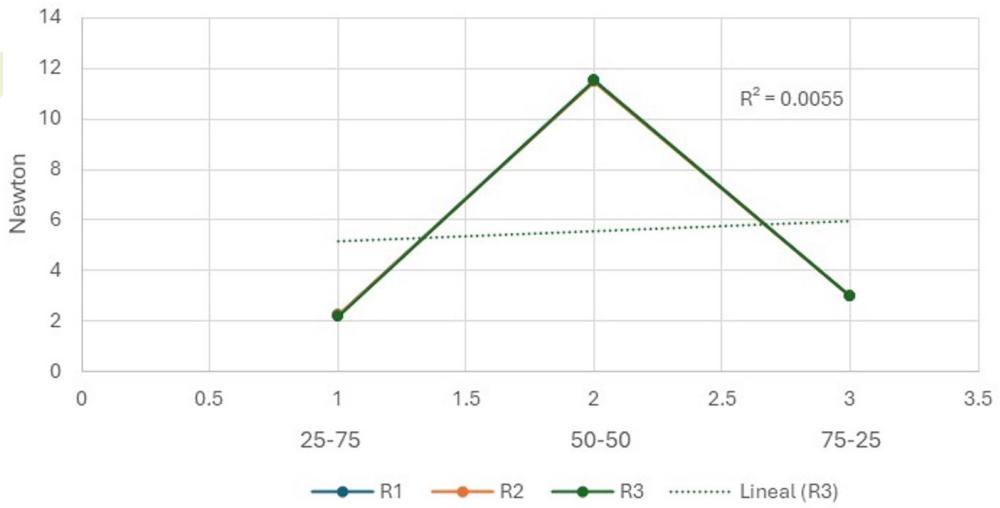
PRUEBA DE TUKEY				
Grupo 1	Grupo 2	Media	Valor P	Decisión
25-75	50-50	9.27	2.6952E-12	Sí hay diferencia
25-75	75-25	0.75	3.2826E-11	No hay diferencia
50-50	25-75	8.52	2.6954E-12	Sí hay diferencia

Nota: Datos obtenidos del software Microsoft Excel, menú complementos, Real Stadistics, ANOVA.
Fuente: Ramírez (2024).

Con base en los resultados obtenidos, se determinó que existía una diferencia estadísticamente significativa en la capacidad de retención de humedad entre las formulaciones evaluadas, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Las formulaciones 25:75 y 75:25% p/p presentaron valores más altos de retención de humedad en comparación con la formulación 50:50% p/p, lo que sugiere que la proporción de componentes influye de manera directa en esta propiedad.

Por lo tanto, luego de un análisis de rendimiento y costos (ver cuadro 3), se recomienda utilizar la formulación de 50% hoja de plátano y 50% almidón de papa.

Figura 4.
Retención de humedad de los platos biodegradables de hoja de plátano



Fuente: Ramírez (2024).

En la figura 4 se muestra una retención de humedad considerablemente menor en las formulaciones 25-75 y 75-25% p/p, mientras que el valor de R indica una correlación extremadamente baja para la línea de tendencia central. Esto sugiere que la retención de humedad no sigue un comportamiento lineal claro, por lo tanto, estaría influenciado por el factor formulación.

Los resultados indican que la formulación 50:50 de hoja de plátano y almidón de papa ofrece el equilibrio más favorable en resistencia, cohesión interna, estabilidad frente a humedad y costo. Estos hallazgos están alineados con investigaciones previas como la de Kong et al. (2023), que muestran cómo proporciones equilibradas en compuestos de fibras y matrices amiláceas logran un mejor rendimiento funcional.

Además, aun las formulaciones con desempeño inferior aportan valor científico al evidenciar los límites estructurales y funcionales de tales proporciones. Por ello, este estudio no solo identifica una alternativa viable y sostenible sino que establece una base sólida para futuras optimizaciones y estudios de bioproductos derivados de recursos agroindustriales locales.

CONCLUSIONES

La formulación con una proporción 50:50 p/p de hoja de plátano y almidón de papa se posicionó como la más eficiente en las pruebas físicas realizadas, superando de forma significativa a las formulaciones 25:75 y 75:25 p/p. Esta combinación equilibrada evidenció la mayor resistencia a la ruptura, con un valor promedio de 8.841 N, así como un desempeño favorable en el índice de compactación, alcanzando un promedio de 2.329 N, lo que permitió conservar la integridad estructural del plato. Asimismo, esta formulación presentó la menor retención de humedad (11.497%), aspecto clave para prolongar la durabilidad del producto bajo condiciones de uso potencial en la industria alimentaria. Los resultados obtenidos reflejan que una relación equitativa entre ambos componentes favorece la cohesión estructural, la resistencia mecánica y la estabilidad funcional del bioproducto, lo que consolida su viabilidad como una alternativa sostenible y eficaz frente a los utensilios plásticos de un solo uso.

Recomendaciones

Para optimizar la fabricación y funcionalidad de los platos biodegradables elaborados con hoja de plátano y almidón de papa, se proponen diversas mejoras técnicas. En primer lugar, se recomienda utilizar agua tibia durante la preparación de la mezcla, dado que el almidón de papa tiende a formar grumos cuando se disuelve en agua fría o a temperatura ambiente, dificultando su integración y prolongando innecesariamente el tiempo de mezclado. Asimismo, para prolongar la vida útil del producto terminado, se sugiere sellar los platos al vacío en bolsas plásticas, dado que, al almacenarlos sin protección, comienzan a desarrollar moho alrededor del cuarto día, debido a la exposición a la humedad y al oxígeno. Alternativamente, podrían incorporarse agentes naturales con propiedades antimicrobianas, como el extracto de romero, o aceites esenciales de canela o clavo, los cuales ayudarían a

inhibir el crecimiento microbiano sin recurrir a conservantes sintéticos. Además, se plantea el uso de barnices alimentarios, como la cera de abeja, para mejorar la superficie del plato, reduciendo la porosidad generada por las fibras de la hoja de plátano, que tienden a retener restos de comida y podrían causar incomodidad al consumidor. Finalmente, se recomienda destinar estos platos exclusivamente al servicio de alimentos sólidos, gracias a que las fibras vegetales presentan alta capacidad de absorción, lo que puede generar humedad excesiva o incluso filtraciones cuando se utilizan con alimentos líquidos.

REFERENCIAS

Acosta, M. B. (2024). *Tipos de plátanos*. Ecología Verde. https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-platanos-2686.html

Álvarez, M. (2024). *Productos biodegradables ¿Cuáles son y para qué sirven?* Nestlé. https://www.nestleagustoconlavida.com/re/productos-biodegradables

Álvarez, Y. A. (2024). *Plan de iniciativa empresarial para la elaboración de empaques biodegradables elaborados en hoja de plátano* [Tesis de licenciatura, Universidad de Santo Tomás]. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/34831/2021yessicaalvarez.pdf

Antonietti, P. R. (2024). *Plato biodegradable a base de hojas de plátano* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Ignacio de Loyola]. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8318b255-40e1-48fb-83e0-13c25caa0cea/content

Arboleda, S. D. (2024). *Intervención morfológica de la hoja de plátano* [Tesis de licenciatura, Universidad Pontificia Bolivariana]. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4968/Intervención%20morfologica%20hoja%20banano..pdf

Arias, S. P. (2024). *Validación de los empaques biodegradables elaborados con hoja de plátano por parte de expertos y clientes de la empresa Mon Ami en la ciudad de Pereira, Colombia* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Pereira]. https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/07d64d44-75a8-4604-ad88-92c01f36d373/content

Bernardo, A. (2013). *Bioplásticos, la nueva invención tecnológica más respetuosa con el medio ambiente*. https://blogthinkbig.com/bioplasticos-medio-ambiente

Durant, J. (2023). *Exportaciones de plátano en Guatemala*. TRIDGE. https://www.tridge.com/intelligences/banana/GT

Eveline Kasper, C. M. (2013). *ScienceDirect.* Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890413004639?via%3Dihub

F., E. d. (2018). *Musa paradisiaca*. Jardín Botánico de Santiago. https://botanicodesantiago.com/musa-paradisiaca/

Fundación Española de la nutrición (FEN). (s.f). *Plátano (Musa paradisiaca)*. Fundación Española de la Nutrición https://www.fen.org.es/mercadoalimentosfen/pdfs/platano.pdf

Fortuna, J. S. (2024). *Producción y comercialización de envase biodegradable a base de hojas de plátano* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Ignacio de Loyola]. https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1525fb17-4b3f-4106-9832-ef2d8bde7fe6/content

Fuentes, A. (2023). *Bandejas para transporte de alimentos: sus tipos y utilidades en la industria alimentaria*. The Food Tech. https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/bandejas-para-transporte-de-alimentos-sus-tipos-y-utilidades-en-la-industria-alimentaria/

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. *Science Advances*, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Kong, U., Mohammad Rawi, N. F., & Tay, G. S. (2023). The Potential Applications of Reinforced Bioplastics in Various Industries: A Review. *Polymers*, *15*(10), 2399. https://doi.org/10.3390/polym15102399

Loh Guan Hong, N. Y. (2021). *AIMS Materials Science.* Obtenido de Review of bioplastics as food packaging materials: https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/matersci.2021012?viewType=HTML&utm_source=chatgpt.com

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2017). Plátano (*Musa paradisiaca*). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/agro_en_cifras/ 2016/individuales/Platano%20Agro%20en%20Cifras%202016.pdf

Natalia Gómez-Gast, M. d.-P. (2022). *PMC.* Obtenido de Biopackaging Potential Alternatives: Bioplastic Composites of Polyhydroxyalkanoates and Vegetal Fibers: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8950292/?utm_source=chatgpt.com

Ramírez, D. R. (2024). *Evaluación de la resistencia mecánica de platos biodegradables con hojas de plátano (Musa paradisiaca) y almidón de papa.* Universidad de San Carlos de Guatemala.

Rui M. S. Cruz, V. K.-U. (2022). *MDPI.* Obtenido de Bioplastics for Food Packaging: Environmental Impact, Trends and Regulatory Aspects: https://www.mdpi.com/2304-8158/11/19/3087?utm_source=chatgpt.com



CAPÍTULO XXI

ANÁLISIS SENSORIAL Y BROMATOLÓGICO DEL FRUTO DEL CARAMBOLO CON CHILE HABANERO COMO ALTERNATIVA DE TRANSFORMACIÓN AGROINDUSTRIAL

Mario Alonso Fuentes Pérez, Silvia Vidal Castro, Reynaldo Gonzalez Flores y José Arturo Oleta Barrios[1]

INTRODUCCIÓN

La *Averrhoa carambola* conocida también como carambola, tamarindo chino, fruta estrella, es una fruta procedente de Malasia, Indonesia y Filipinas (Guevara et al., 2019), siendo los principales mercados España, Canadá, Francia, Alemania y Japón (González et al., 2017). Es un fruto sin gran valor agregado y de consumo en fresco con un alto contenido nutricional (Figueredo y Masmela, 2020). Es rica en vitamina A y C, reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares, recomendada a personas con diabetes, hipertensión arterial o afecciones de vasos sanguíneos y corazón (Durán y Cano, 2015).

Capsicum chínense tiene como centro de origen una gran área ubicada entre el sur de Brasil y el este de Bolivia, el Oeste de Paraguay y el Norte de Argentina (Rangel, 2016); Es uno de los frutos que se consumen habitualmente en la vida cotidiana a nivel mundial como alimento y se usa como medicina tradicional para tratar diversas enfermedades. Se ha reportado que contienen capsaicinoides, carotenoides, fenoles, vitaminas (A, B, C y E), minerales como hierro, potasio, magnesio (López y Yáñez, 2023). La capsaicina presente en el chile habanero induce muerte celular en el cáncer de páncreas, colon, próstata, hígado, esófago, piel, las leucemias y el pulmón, entre otros (Clark y Lee, 2016).

1 Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas.

La deshidratación de alimentos es una de las técnicas de conservación que permite alargar la vida útil de los alimentos (Valencia, 2020), es una operación de transferencia de energía y masa simultánea (Moreno et al., 2017). Actualmente, las frutas deshidratadas tienen una gran acogida a nivel mundial (Catucuamba, 2020) y, para prolongar la conservación de las frutas se someten a diversos procesos tecnológicos, como el secado (Feicán et al., 2016).

La Bromatología es la ciencia que se centra en el estudio de los alimentos desde todos los puntos de vista posibles, estructuras químicas de diversa forma, tamaño, textura, color, aroma y sabor, que son las únicas sustancias que dan vida, nutrientes y salud (Ortiz y Blanco, 2011). La finalidad del proyecto fue deshidratar el fruto del carambolo, agregar chile habanero para determinar sus propiedades sensoriales y nutrimentales, como fuente potencial de recursos económicos a través de la comercialización.

MARCO TEÓRICO

La *Averrhoa carambola* conocida también como carambola, tamarindo chino, fruta estrella y fruta chino, es una fruta subtropical de la familia de las Oxalidaceae procedente de Malasia, Indonesia y Filipinas (Guevara et al., 2019). Los principales mercados internacionales son España, Canadá, Francia, Alemania y Japón (González et al., 2017). Europa es un mercado potencial, así como algunos países asiáticos y latinos donde el fruto ha venido ganando lugar en mercados mayoristas (Mateus et al., 2015).

La carambola es rica en vitamina A y C, reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, por su bajo contenido de carbohidratos y bajo aporte de sodio (Durán y Cano, 2015). Es un fruto sin gran valor agregado y de consumo en fresco con un alto contenido nutricional (Figueredo y Masmela, 2020). Es una fruta que contiene propiedades laxantes, bajo contenido de calorías, utilizado para dietas en el consumo, como fuente de potasio. Recomendado para la diabetes, hipertensión, afecciones de corazón y vasos sanguíneos (Durán y Cano, 2015). La capsaicina presente en el chile habanero induce muerte celular en el cáncer de páncreas, colon, próstata, hígado, esófago, piel, las leucemias y el pulmón, entre otros (Clark y Lee 2016).

El chile habanero pertenece al género *Capsicum*, su nombre común deriva del náhuatl *chili* (CONABIO, 2019), comprende alrededor de 38 especies descritas con una amplia variedad morfológica y atributos sensoriales (Barboza et al., 2019). En México la superficie cosechada es de 1,619 ha con una producción de 31,297.47 t en 2022 (SIAP, 2023a), forma parte de la dieta diaria por sus atributos sensoriales (Sosa et al., 2018), y en Yucatán, se utiliza para consumo en fresco, elaboración de salsas caseras e industrializadas (SIAP, 2023b), y para numerosos platillos (Landero, 2023).

El chile habanero tiene efectos benéficos contra el cáncer, actúa como analgésico, antiinflamatorio, antimicrobiano, expectorante y antioxidante, protege de enfermedades cardiovasculares, padecimientos digestivos, refuerza el sistema inmunológico (Romero, 2018), funciona como antiinflamatorio natural (Carrasco, 2019), colorante natural, vitaminas, minerales, compuestos fenólicos (Rodríguez, 2018) y proporciona vitamina C (Carrasco, 2019).

El análisis sensorial permite determinar la importancia de la medición de las propiedades sensoriales de los productos alimenticios con el objetivo de evaluar la calidad de los productos. Las frutas deshidratadas presentan un buen aporte nutricional, buenas características organolépticas y están en constante crecimiento para extender su vida útil, por la tendencia mundial de cuidarse y la preferencia actual del consumo de alimentos tanto nutritivos como saludables (Del Valle y Mina, 2021).

La deshidratación de alimentos es una de las técnicas de conservación que permite alargar la vida útil de los alimentos, y consiste en la eliminación parcial del contenido acuoso (Valencia, 2020). Es una operación de transferencia de energía y masa simultánea. La primera hace referencia a la transferencia de calor desde los alrededores, hacia el sólido húmedo para evaporar el agua de la superficie del sólido, la segunda se refiere al movimiento del agua dentro del sólido, para que el vapor salga hacia el exterior (Moreno et al., 2017). Actualmente, las frutas deshidratas tienen una gran demanda a nivel mundial, debido a los beneficios y aporte nutricional que brindan (Catucuamba, 2020). Para prolongar la conservación de las frutas se someten a diversos procesos tecnológicos, uno de los métodos más utilizados es el secado (Feicán et al., 2016).

En Latinoamérica el consumo de fruta deshidratada y frutos secos ha tomado mayor interés nutricional, el cuidado de la salud y del cuerpo son estándares que las nuevas generaciones ha demarcado en los últimos años, debido a su preocupación por la generación Alpha (sus hijos) por su descuido en la salud, para una alimentación sana y disminución de "enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como enfermedades cardiacas, respiratorias, infartos, cáncer y diabetes que incluso van de la mano de la desnutrición, la malnutrición, el sobrepeso y la obesidad" (Chaguay & Peñafiel, 2021).

El mundo se encuentra en una etapa de concientización, ya que tanto en Europa como en Latinoamérica son evidentes los beneficios que tienen productos a base de frutas deshidratadas, reflejando su gran aporte nutricional desde la perspectiva de la salud, así como de la economía, debido a que éstos son productos fáciles de comercializar por su duración e inferiores probabilidades de dañarse o vencer, permitiendo así que muchas personas estén buscando la forma de incursionar en este nuevo mercado (Lanza y Becerra 2023).

El análisis químico y biológico de los alimentos o bromatología analítica inicia su operación como ciencia en los siglos XIX y XX, siendo considerada a partir de entonces un complemento indispensable para el estudio alimenticio (Quispe, 2014). Ésta es la ciencia que se centra en el estudio de los alimentos desde todos los puntos de vista posibles, estructuras químicas de diversa forma, tamaño, textura, color, aroma y sabor, que son las únicas sustancias que dan vida, nutrientes y salud (Ortiz y Blanco, 2011).

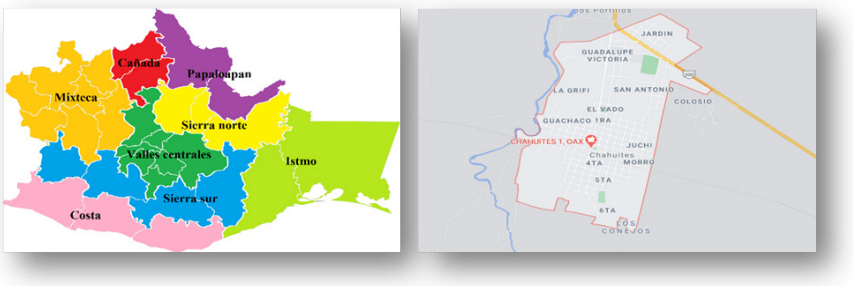
METODOLOGÍA

Localización geográfica del área de estudio

Localizado en el estado de Oaxaca, Chahuites, los municipios con los que colinda son Santo Domingo Zanatepec, San Pedro Zanatepec, Arriaga, Chiapas (Los Municipios,

2025). En el año 2020 la población de Chahuites fue de 11, 356 habitantes (49% hombres y 51% mujeres). Las principales exportaciones de esta localidad en 2024 fueron higos, piñas, aguacates, guayaba, mangos, frescos o secos (US$25.8M). Los principales destinos de exportaciones en 2024 fueron Estados Unidos (US$25.4M) y Canadá (US$389k) (Gobierno de México, 2024).

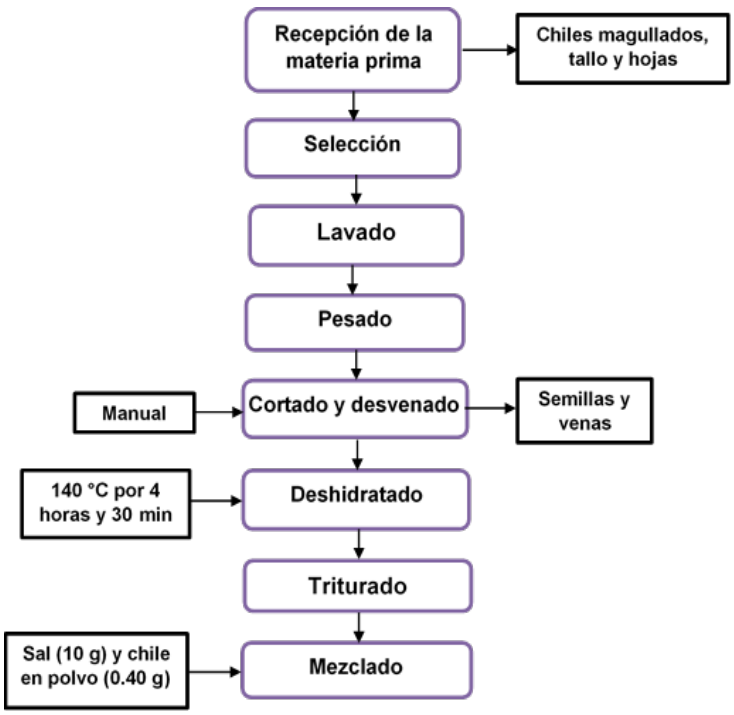
Figura 1.
Localización geográfica del área de estudio: Chahuites, Oaxaca.



Fuente: Google Maps, 2021.

Figura 2.
Proceso de elaboración del chile habanero en polvo.

Diagrama de flujo de la elaboración del chile habanero en polvo.



Fuente: Vázquez y Zepeda, 2014.

Figura 3.
Proceso de elaboración del deshidratado de la carambola y la adición de chile habanero en polvo.

Diagrama de flujo de la deshidratación del fruto del carambolo.



Fuente: Castro, 2023.

TRATAMIENTOS, REPETICIONES Y UNIDAD EXPERIMENTAL

En el Cuadro 1, se presentan los diferentes tratamientos utilizados en el proyecto, el cual se desarrolló en el municipio de Chahuites, Oaxaca.

Cuadro 1.
Tratamientos del proyecto de deshidratación del fruto del carambolo.

Tratamientos	Factores de Estudio
T_1	Carambola deshidratada
T_2	Carambola deshidratada con chile habanero

REPETICIONES Y UNIDADES EXPERIMENTALES

Se dieron muestras a degustar de los diferentes tratamientos que se tuvieron bajo estudio, el número de repeticiones para cada tratamiento fue de 30, los cuales se aplicaron en panelistas no entrenados, lo que hizo un total de 60 unidades experimentales.

DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico utilizado para este proyecto fue un Completamente al Azar (DCA), en donde se emplearon 30 panelistas no entrenados para realizar las pruebas de las variables hedónicas establecidas.

Variables para evaluar

Prueba hedónica

Se dieron pruebas de degustación a 30 panelistas no entrenados en los tratamientos, T_1= carambola deshidratada, T_2=carambola deshidratada con chile habanero, dichos panelistas dieron su respuesta con base en la encuesta que se elabora con preguntas específicas para la medición de las características organolépticas del deshidratado. Las variables evaluadas fueron color, olor, sabor y textura, utilizando para ello la escala hedónica de nueve puntos descrita por Peryam y Pilgrim (1957) (Cuadro 2).

Cuadro 2.
Escala de valores para determinar la preferencia en números de las opiniones de panelistas no entrenados (Peryam y Pilgrim, 1957).

Escala	Valor
Me gusta muchísimo (M.g.mo)	9
Me gusta mucho (M.g.m)	8
Me gusta moderadamente (M.g.me)	7
Me gusta poco (M.g.p)	6
No me gusta ni me disgusta (N.m.g N.m.d)	5
Me disgusta poco (M.d.p)	4
Me disgusta moderadamente (M.d.me)	3
Me disgusta mucho (M.d.m)	2
No me gusta (N.m.g)	1

Fuente**:** Peryam y Pilgrim, 1957.

Prueba bromatológica

El estudio bromatológico se realizó en la Facultad de Ciencias Químicas, Campus IV Tapachula, Chiapas, de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas. Se realizó en el T_2=Carambola adicionada con chile habanero, pues fue el que presentó mayor aceptación hedónica según la opinión de los panelistas no entrenados.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en el estudio se sometieron a un ANOVA a través del Diseño Completamente al Azar en el programa MENÚ 2.0. En las variables que presentaron diferencias, se procedió a realizar el análisis de rango múltiple de Tukey a nivel de 95 y 99% de confiabilidad.

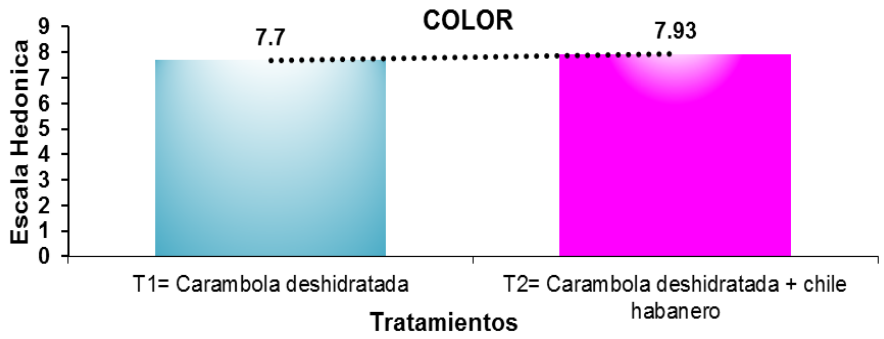
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba sensorial

Color

El color es uno de los factores que condicionan la respuesta de los consumidores. Los colores han sido ampliamente estudiados por su influencia en la percepción sensorial y el comportamiento del consumidor. Es un factor que pasa inadvertido por los consumidores (Rasines, 2019). En la Figura 4, se presentan los datos en promedio de acuerdo con la prueba hedónica para la variable color, la cual fue evaluada por panelistas no entrenados.

Figura 4.
Valores promedios obtenidos para la variable color.



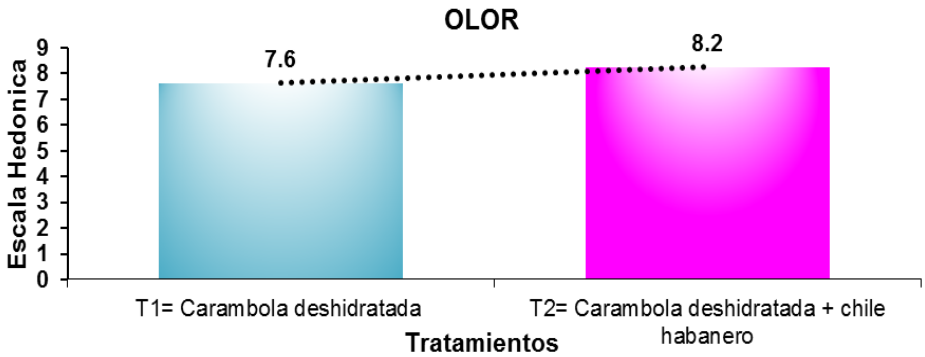
De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba hedónica aplicada a los panelistas no entrenados, como se observa en la Figura 4, T_2=carambola deshidratada adicionada con chile habanero respecto a la variable color, presentó la mayor aceptación de acuerdo a la escala de nueve puntos con un valor de 7.93, por otra parte, el T_1=carambola deshidratada presentó la menor aceptación con un valor promedio de 7.7.

Al realizar el ANOVA y la prueba Tukey a nivel $p>0.05$ y $p>0.01$, se encontró que no existieron diferencias significativas entre el T_2=carambola deshidratada con chile habanero y el T_1=carambola deshidratada con valores promedios de 7.93 y 7.70 respectivamente, estos resultados coinciden con los encontrados por Garay et al. (2021), quienes indican que las carambolas sometidas a diferentes condiciones de deshidratación osmótica presentan similares características sensoriales.

Olor

Está considerada una de las propiedades organolépticas más difíciles de definir y caracterizar. Un producto que posee olor es porque desprende moléculas volátiles que son captadas por los receptores del epitelio del órgano olfatorio (Calvo et al., 2015). En la Figura 5, se pueden apreciar los valores promedios de los resultados de la variable olor obtenidos de la prueba hedónica aplicada a 30 panelistas no entrenados de la carambola deshidratada.

Figura 5.
Valores promedios de las pruebas hedónicas para la variable olor.



En relación con los resultados obtenidos en la prueba hedónica aplicada a los panelistas no entrenados, como se muestra en la Figura 4, el T_2=Carambola deshidratada adicionada con chile habanero) respecto a la variable olor, presentó el nivel más alto de aceptación con un valor de 8.26, sin embargo, el T_1=Carambola deshidratada) presentó los niveles más bajo de aceptación con un promedio de 7.6.

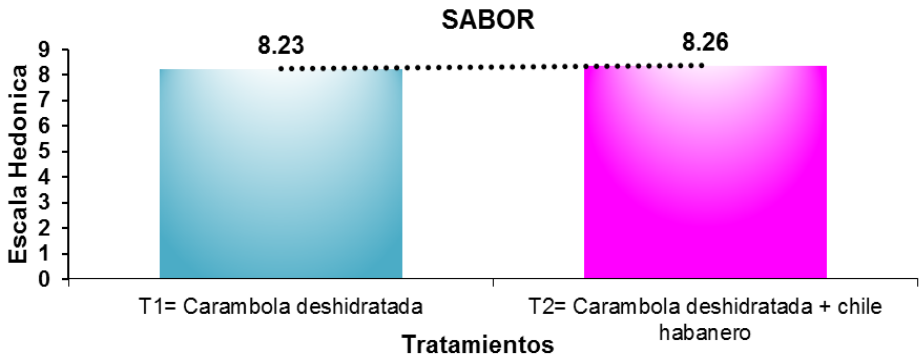
Al realizar el ANOVA y la prueba de Tukey para la variable olor se encontró que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos del experimento. Por tanto, para los panelistas no entrenados existió diferencias en el olor para los tratamientos bajo estudio, lo cual es indicativo que este ingrediente es un factor que genera diferencia organoléptica y que beneficia al T_2=adicionada con chile habanero; estos resultados son similares a los encontrados por Grajales et al. (2005), ya que mencionan en su trabajo de investigación realizado en Cali, Colombia "Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada", que existió diferencia significativa para la variable olor en la fruta de carambolo osmodeshidratada.

Sabor

El sabor es uno de los factores clave para el consumo de productos alimenticios. En la industria alimentaria, la tecnología y la innovación juegan un papel muy importante, la creación de nuevos sabores, así como el mejoramiento de algunos existentes es fundamental para el desarrollo de cualquier producto alimenticio (Alfa Editores, 2019). En la Figura 6, se presenta los valores promedios obtenidos de las pruebas hedónicas para los tratamientos bajo estudio.

En la figura 6, se muestra que el T_2=carambola deshidratada adicionada con chile habanero presentó la aceptación más alta para los panelistas no entrenados, con un promedio para la escala hedónica de 8.26. Los datos obtenidos del análisis sensorial señalan que existió una diferencia numérica de 0.03, entre los tratamientos bajo estudio. Por otra parte, al realizar el análisis de varianza y las pruebas de Tukey ($p>0.05$ y $p>0.01$) indicaron que no existen diferencias estadísticas entre ambos tratamientos.

Figura 6.
Valores promedios para la variable sabor.

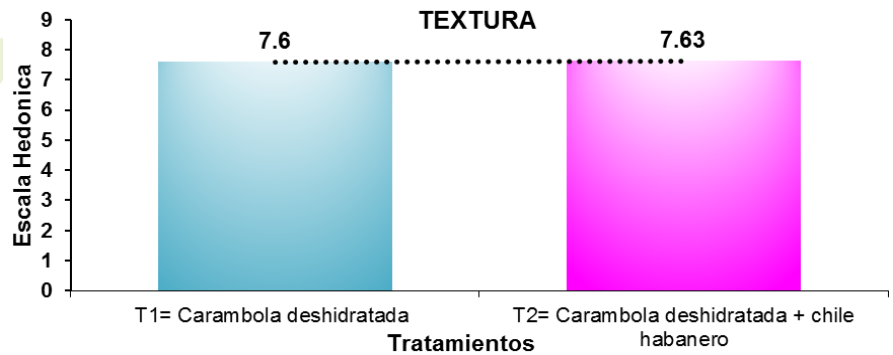


Por otra parte, Castillo y Cornejo (2019), reportan que en su trabajo "Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola", que la mayor parte de la población enmarcó el producto con la puntuación de "me gusta mucho" lo cual infiere que el producto tendrá aceptación en el mercado, ya que se encuentra dentro del rango de agrado. Estos resultados son similares a los encontrados para este estudio en el análisis hedónico aplicado para el trabajo desarrollado con carambolo deshidratado, adicionado con chile.

Textura

En la Figura 7, se aprecian los valores promedios evaluados en la prueba hedónica para los tratamientos aplicada a los panelistas no entrenados respecto a la variable textura.

Figura 7.
Valores promedios para la variable textura.



Como se puede observar en la Figura 7, existió diferencias numéricas entre el tratamiento que presentó la mayor aceptación (T_2) y el de menor promedio (T_1) con valores de 7.63 y 7.60 para la escala hedónica. Al realizar el Análisis de Varianza y la prueba

Tukey a niveles de significancia de p>0.05 y p>0.01 para la variable textura, se encontró que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos bajo estudio.

Para la variable textura no existieron diferencias estadísticas entre los tratamientos, estos resultados coinciden con Pérez (2007) que en su estudio de deshidratación osmótica de rodajas de carambola encontró resultados similares en su análisis sensorial y señala que la textura de los frutos de carambola fue considerada como similares.

Análisis bromatológico

Se realizó el análisis bromatológico para el tratamiento con mejores resultados obtenidos en el análisis sensorial (T_2=carambolo deshidratado + chile habanero), para determinar sus componentes nutrimentales.

Cuadro 3.
Análisis bromatológico para carambolo deshidratado + chile habanero.

Parámetro	Carambolo deshidratado + Chile habanero (muestra 100g)
Humedad	38.23 g
Cenizas	2.57 g
Proteína	3.20 g
Grasa	1.52 g
Carbohidratos	35.28 g
Contenido energético	138.50 Kcal
Fibra cruda	11.45 g
Azucares reductores directos	14.67 g
Azucares reductores totales	14.74 g
Sacarosa	0.06 g

Fuente: Facultad de Ciencias Químicas, Campus IV, UNACH, 2021.

Los resultados obtenidos para las variables bromatológicas de la carambola deshidratada adicionada con chile habanero se muestran en el Cuadro 3, los cuales difieren de los encontrados por Castro (2023) a una temperatura de deshidratación de 60° C, para los parámetros de cenizas (1.32), grasas (0.24), fibra (28.19) y proteínas (6.69) en el proyecto denominado "Efecto del proceso de deshidratación de la carambola como técnica poscosecha para asegurar la calidad y seguridad alimentaria" realizado en Riobamba, Ecuador.

Sin embargo, Ventura (2023) reporta en su análisis proximal practicado a la fruta de la carambola en el proyecto "Efecto del edulcorante y el tiempo de inmersión en la deshidratación osmótica en la carambola (*Averrhoa carambola* L.)" realizado en Ayacucho, Perú, que la humedad y los carbohidratos son los mayores componentes

del fruto de carambola, estos resultados coinciden con los obtenidos para el análisis bromatológico practicado en el carambolo deshidratado con chile habanero.

Por otra parte, Castro (2023) indica que se evidenció que la humedad elevada que tiene esta fruta en fresco puede afectar directamente a la preservación y haber proliferación de mohos y levaduras dando como resultado un desperdicio de alimentos, por lo que es necesario utilizar otro método de conservación como el deshidratado y con ello incrementar la vida útil del producto.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos del trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- Al realizar el análisis de varianza para la variable olor para los tratamientos estudiados de carambola, se encontró que existieron diferencias altamente significativas entre el tratamiento de carambola deshidratada + chile habanero y el tratamiento de carambola deshidratada.

- Para las variables sabor, color y textura, al aplicarles el análisis de varianza se encontró que no existieron diferencias estadísticas, sin embargo, si existieron diferencias numéricas, presentando los mayores valores promedios, el tratamiento 2 compuesto de carambola deshidratada adicionada con chile habanero.

- El análisis bromatológico indicó que el carambolo deshidratado adicionado con chile habanero (T_2), presentó valores interesantes, sobre todo en el contenido de proteína, fibra cruda y sacarosa, con valores de 3.20 g/100g de muestra, 11.45g/100g de muestra y 0.06g/100g de muestra. Debido a la creciente siembra y producción de carambolo en la región y su consumo mayormente en fresco, el deshidratado brinda una alternativa de transformación y comercialización para los productores para la obtención de recursos económicos.

- La adición de chile habanero brinda un sabor distinto al deshidratado del carambolo, haciéndolo más apetecible para los consumidores, asimismo, beneficia a los productores de este cultivo. Se recomienda que el consumo del fruto de carambolo en fresco o con valor agregado se realice de forma moderada, ya que algunos estudios científicos indican que el consumo regular ocasiona problemas a la salud de los consumidores.

REFERENCIAS

Alfa Editores (2019). La importancia Del Sabor En la Industria Alimentaria: Seminario Tecnosabor. Fecha de consulta: 15 de octubre de 2020. Publicado en línea: https://www.alfa-editores.com.mx/la-importancia-del-sabor-en-la-industria-alimentaria-seminario-tecnosabor-2019/

Barboza., G. E., Carrizo, G. C., Leiva, G. S., Scaldaferrro, M., & Reyes, X. (2019). Four new species of *Capsicum* (Solanaceae) from de tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. *PloS one*. 14 (1). e0209792

Calvo, P. H., Campo, L. E., Oria, J. R., Redondo, T. D., Venturini, F. M. E. (2015). Alimentando los sentidos. Fecha de consulta: 14 de octubre de 2020. Publicado en línea: https://ucc.unizar.es/sites/ucc.unizar.es/files/enzien de_materialdidactico_alimentando_web.pdf

Castillo, O. M. E. y Cornejo, Z. F. M. (2019). Estudio del efecto del proceso de deshidratación osmótica en la obtención de trozos secos de carambola. Fecha de consulta julio de 2024. Publicado en línea en: https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4724/1/7246.pdf

Castro, G. M. D. (2023). Efecto del proceso de deshidratación de la carambola (*Averrohoa carambola*) como técnica postcosecha para asegurar la calidad y seguridad alimentaria. Fecha de consulta: abril de 2024. Publicado en línea en: http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11658/1/Mayerling%20Dayanira%20Castro%20Guevara%20-%20EFECTO%20DEL%20PROCESO%20DE%20DESHIDRATACI%c3%93N%20DE%20LA%20CARAMBOLA%20%28Averrhoa%20carambola%29%20COMO%20T%c3%89CNICA%20POSTCOSECHA%20PARA%20ASEGURAR%20LA%20CALIDAD%20Y%20SEGURIDAD%20ALIMENTARIA.pdf

Catucuamba, A. (2020). *Propuesta de creación de una microempresa dedicada a la producción y comercialización de un snack de frutas deshidratadas en la ciudad de Cayambe.* (Ingeniera Comercial), Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. Recuperado de http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11412/2/02%20ICO%20772%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Diversidad (CONABIO) (2019). Conocimientos y uso de los alimentos: el chile. Fecha de consulta: julio de 2024. https//www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/chile.html#

Chaguay, M., & Peñafiel, J. (2021). Repositorio Universidad de Guayaquil. Obtenido de Desarrollo de una barra nutricional a base de moringa (Moringa oleífera), avena y frutos secos: http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54259

Clark R. y Lee S. H. (2016). Anticancer properties of capsaicin against human cancer. Fecha de consulta: julio de 2025. Publicado en línea en: http://rvaprostatecancersupport.org/PDF/2%2020%2021%20PCa-Capsaicin837.pdf

Del Valle, G. C. D. y Mina, C. L. M. (2021). Análisis sensorial en frutas deshidratadas. Fecha de consulta: julio de 2025. Publicado en línea en: https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/c72539ec-0a20-4972-a81f-48becb5e709e/content

Durán, I. A. M., Cano, G. M. (2015). Jugo de carambola y granadilla (*Averroha carambola y Pasiflora liglaris*). Fecha de descarga: 22 de octubre de 2019.Publicado en línea: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso _mujer/archivos/extensos/sesion1/S1-MCS08.pdf

Feicán, M. C., Encalada, A. C., & Becerril, R. A. (2016). Agronomic description of the tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) crop. *Agroproductividad, 9*(8), 78-86.

Figueredo, L. A. P. y Masmela, S. L. M. (2020). Determinar el potencial del fruto carambolo (*Averrhoa carambola*) como fuente de pectina con posibles fines agroindustriales. Fecha de consulta: julio de 2024. Publicado en línea en: https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/e051ea23-c3d3-4cdc-821f-14199fbd2b0a/content

Garay, T. E. L., García, S. E., Leandro, L. C. Parí, Q. D., Tavera, A. Y., Mamani, F. M. (2021). Deshidratación osmótica en frutos de carambola (*Averrhoa carambola*) en Pucallpa. Fecha de descarga: agosto de 2024. Publicado en línea en: http://www.revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/66/104

Gobierno de México (2024). Chahuites. Fecha de consulta: abril de 2025. Publicado en línea en: https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/chahuites?redirect=true

González, P. J. P., Hernández, O. M., González C. N., Maldonado, E., Jiménez V.R. (2017). Revista Iberoamericana de Ciencias. *Averrhoa carambola*: recomendaciones de consumo y contraindicaciones. Fecha de consulta: agosto de 2024. Publicado en línea en: https://www.reibci.org/publicados/2017/oct/2500101.pdf

Guevara, M., Tejera, E., Granda, A. M. G., Iturralde, G., Chisaguano, T. M., Granda, A. S. & Álvarez, S. J. M. (2019). Composición química y actividad antioxidante de las principales frutas consumidas en la región costera Occidental del Ecuador como fuente de compuestos promotores de la salud. Fecha de consulta julio de 2024. Publicado en línea en: https://www.mdpi.com/2076-3921/8/9/387

Grajales, A. Lina M.; Cardona, P. W. A.; Orrego, A. E. E. (2005). Liofilización de carambola (*Averrhoa carambola* L.) osmodeshidratada, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 7, número 2, pp. 19-26, Universidad del Valle de Cali, Colombia.

Lanza, E. L. C. y Becerra, C. Y. (2023). Estudio del mercado consumidor de la fruta deshidratada y frutos secos en el municipio de Florencia–Caquetá. Fecha de consulta: julio de 2025. Publicado en línea en: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/55652/ybecerracu.pdf?sequence=1&

Landero, V. K. (2023). Comercialización de los parentales silvestres del chile habanero con denominación de origen en el sureste mexicano, una oportunidad para la creación de clústers. Fecha de consulta: agosto de 2024. Publicado en línea en: https://revistainvestigacionacademicasinfrontera.unison.mx/index.php/RDIASF/article/view/570/730

López Ordaz, P. & Yáñez Fernández, J. (2023). Propiedades farmacológicas del chile *(Capsicum*) y sus beneficios en la salud humana: Una revisión bibliográfica. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades,* 4(2), 3827–3840. https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.873

Mateus, C. D., Emilio A. M., Ordaz, R. J. O. (2015). El cultivo de carambolo (*Averrhoa carambola* L.) y su comportamiento en el piedemonte del Meta. *Revista Colombia de ciencias hortícolas.* Fecha de consulta: abril de 2024. Publicado en línea en: http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v9n1/v9n1a12.pdf

Moreno, Á., Hernández, R. & Ballesteros, I. (2017). *Secado industrial con energía microondas. En Aplicaciones Industriales del Calentamiento con Energía Microondas.* Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

Ortiz, U. C. A. y Blanco, B. T. (2011). Alimentos Bromatología. Fecha de consulta: julio de 2025. Publicado en línea: https://plataformaiestphuando.com/wp-content/uploads/2023/02/bromatologia.pdf

Peryam, D. R. y F. H. Pilgrim (1957). Hedonic scale method for measuring food preferences. *Food Technology* 11, 9-47.

Pérez. A. L. (2007). Deshidratación osmótica de rodajas de carambola (*Averrhoa carambola*) en tres estados de madurez. Fecha de consulta: abril de 2024. Publicado en línea en: https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/37af3cd2-e4d7-4978-97ac-850c49d686d2/content

Quispe, R. D. (2014). Fundamentos de Bromatología. Fecha de consulta: julio de 2025. Publicado en línea en: http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/raci/v41/v41_a01.pdf

Rangel, C. L. (2016). Crecimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferente espaciamiento entre hileras en la comarca lagunera. Fecha de descarga: 19 septiembre 2019. Publicado en línea: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42420/LUCIA%20RANGEL%20CAMPOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023a). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Fecha de consulta: junio de 2024. Publicado en línea en: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023b). Producción anual agrícola. Fecha de consulta: septiembre de 2024. Publicado en línea en: https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119

Sosa, M. O., Cuevas. G. L., Pino, J. y Sauri. D. E. (2018). Conocimientos actuales sobre el aroma de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Fecha de consulta: agosto de 2024. Publicado en línea en: https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/es/article/view/40/36

Vázquez, V. L. I. y Zepeda, M. O. (2014). Deshidratación del fruto del chile habanero (*Capsicum chinense*) para la obtención de chile en polvo. Tesis. Ingeniería Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chiapas, Campus IX, Arriaga, Chiapas, México.

Ventura, C. W. A. (2023). Efecto del edulcorante y el tiempo de inmersión en la deshidratación osmótica en la carambola (*Averrhoa carambola* L.). Fecha de descarga: agosto de 2024. Publicado en línea en: https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/801552f8-7972-4d25-ad5b-8886ed4702b4/content

Valencia, A. (2020). Efecto de la deshidratación parcial a vacío y acidificación de pulpa de lúcuma (*Pouteria lucuma*) sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales, durante almacenamiento. Ingeniero en Industrias Agroalimentarias, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Recuperado de http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/10586/1/2020_Valencia%20Vasquez.PDF











SISTEMAS ALIMENTARIOS EN REGIONES TROPICALES LATINOAMERICANAS

Se terminó de editar
en el mes de septiembre de 2025.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
2025

En la actualidad, el mundo enfrenta grandes retos entre los que se destacan la reducción de la pobreza, la disminución de los efectos del cambio climático, la alimentación de una población en constante crecimiento y la satisfacción de la demanda energética. En todos estos retos, la producción agroalimentaria es fundamental para enfrentarlos y las explotaciones familiares son parte de la solución para lograr la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014; FAO, 2023).

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS

Jubileo 50 AÑOS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

SIAL
ESCUELA DE SISTEMAS ALIMENTARIOS
UNACH



HEIFER INTERNATIONAL
MEXICO