15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

MEMORIA DEL 15° CONGRESO INTERNACIONAL EN CIENCIAS BÁSICAS Y AGRONÓMICAS

2026

Mesa 5

DESARROLLO RURAL, AGROECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Octubre 2026

INDICE

I. Línea de investigación: Desarrollo rural y políticas territoriales

Corredor Interoceánico y turismo rural comunitario: reconfiguración territorial y desarrollo en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca..... 6

Policy and Management Strategies for Enhancing Community Participation in Dryland Afforestation and Restoration..... 21

Diversificación productiva mediante la acuicultura comunitaria: efectos sobre el desarrollo local en una comunidad costera mexicana .....- 6 -

Desarrollo y conservación en espacios naturales protegidos: experiencias de la biosfera de La Sepultura (Chiapas, México) y Sierra de Grazalema (Andalucía, España).....- 22 -

Bosquejo para el análisis del impacto socioeconómico, ambiental y de sustentabilidad alimentaria del queso análogo en Lagos de Moreno, Jalisco. .....- 14 -

Administración y contabilidad básica para la gestión de recursos y rentabilidad de pequeñas unidades de producción agropecuaria en la región oriente de Tlaxcala .....- 26 -

Cadenas cortas agroalimentarias ¿ambientalmente sostenibles? Reflexiones desde el caso del amaranto en la Ciudad de México 39

Análisis de la competitividad de la Canela mexicana en el mercado de EE. UU. 66

II. Línea de investigación: Agroecología y sustentabilidad productiva

Diseño de un gemelo digital para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en un laboratorio agrovoltaico universitario .....- 76 -

Obtención y caracterización de membranas de triacetato de celulosa derivadas de bagazo de agave para tratamiento de agua .....- 86 -

Eficiencia de un humedal artificial de flujo vertical para mejorar la calidad del agua en un sistema acuapónico con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa L.*) .....- 99 -

Aislamiento e identificación de *Trichoderma* spp. en El Vano, Guerrero: potencial para la transición agroecológica en el cultivo de maíz criollo. .....- 113 -

Caracterización de compostas locales como insumo en la transición hacia sistemas sostenibles de producción de frijol de temporal en Zacatecas.....- 122 -

Rendimiento de haba en verde (*Vicia faba* L.) y sus componentes bajo arreglos topológicos una y dos hileras.....- 132 -

Estrategias de valorización de residuos sólidos orgánicos para fortalecer la sustentabilidad institucional .....- 142 -

Análisis de la funcionalidad simbiótica y sostenibilidad de sistemas agroforestales de *Carludovica palmata* Ruiz & Pavón en el norte de Campeche, México.....- 148 -

Implementación de un esquema para la conservación de suelos como parte del proceso de transición agroecológica en la producción de Maíz en Tulancingo, Hidalgo.....- 158 -

Agroecología y producción biocultural de los maíces nativos en Ixtenco Tlaxcala.- 168 -

Valorización en cascada de residuos agroindustriales de la Mixteca Poblana mediante *Pleurotus spp.*: una estrategia de bioeconomía circular .....- 177 -

Desarrollo de un modelo para la comercialización de maíz agroecológico en Tlaxcala con enfoque integral para pequeños productores del campo .....- 186 -

Sistema de producción diversificado como alternativa para la seguridad alimentaria en zonas semiáridas 194

Efecto de *Trichoderma* spp. En precosecha y del agua por plasma en el manejo poscosecha de *Botrytis cinerea* en fresa 207

III. Línea de investigación: Cambio climático y resiliencia comunitaria

El programa de licenciatura en cultura física y su contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático en el municipio de Bejucal 220

Caracterización con enfoque participativo de los escenarios de riesgo por variabilidad climática y cambio climático en el corregimiento de Chiquí y vereda la Balsa, San Bernardo del Viento, Córdoba-Colombia 232

Construcción de resiliencia comunitaria frente al cambio climático mediante Adaptación basada en Ecosistemas: un estudio comparado entre México y El Salvador 244

Diagnóstico de residuos sólidos urbanos en comunidades de la cuenca alta del Río Grande, Oaxaca 261

Reservorios de carbono azul en manglares del pacífico y golfo de México 277

Cavitación para valorizar plátano sobremadurado: correspondencia entre fisiología climatérica, procesamiento no térmico y disposición de productores en Caldas, Colombia 280

Maíz azul nativo, importancia cultural, agrícola y nutrimental 287

Transición dietética y huella de carbono: un análisis desde la elasticidad ingreso de la demanda de alimentos 292

Retos de la dasonomía urbana derivados del evento meteorológico atípico de junio 2026: Análisis geoespacial y sinergia de factores 303

IV. Línea de investigación: Saberes locales y organización comunitaria

Cultivar junto al mar: memoria agraria, agricultura familiar y reconfiguración productiva en Playa Cangrejo, Oaxaca 318

Uso tradicional de especies de la selva baja caducifolia en dos comunidades del municipio de Copalillo, Guerrero 334

Patrimonio biocultural, producción artesanal y comercialización de jipi japa (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav.) en Campeche, México 348

El jardín de plantas medicinales UACAM: Un *Pet Koot* atemporal en Campeche, México 362

Saberes locales asociados a las variedades de maíz nativo del municipio de Comapa, Veracruz, México 377

Saberes tradicionales y manejo ecológico poscosecha de insectos en maíces nativos de Ixtenco, Tlaxcala 391

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo
15 y 16 de octubre 2026

Línea de Investigación

DESARROLLO RURAL Y POLÍTICAS TERRITORIALES

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo
15 y 16 de octubre 2026

Corredor Interoceánico y turismo rural comunitario: reconfiguración territorial y desarrollo en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Faustino Benjamín Rivera López[1], Marcos Pedro del Carmen Ramírez López[2], Maricela Castillo Leal[3] y Héctor Pérez Larrañaga[2]

Resumen

El Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec (CIIT) es la intervención de infraestructura más importante del sureste mexicano reciente y opera como variable territorial de primer orden sobre las economías rurales de su zona de influencia. La meta es analizar como la reconfiguración territorial del CIIT, desde la perspectiva de la comunalidad, transforma las condiciones posibles del turismo rural comunitario en tres municipios istmeños: Santa María Guienagati, Santa María Chimalapa y San Pedro Comitancillo. Se realizó un análisis de los instrumentos legales del corredor y se caracterizaron los 46 municipios oaxaqueños dentro de su zona de influencia con base en el Censo Nacional de Gobiernos Municipales 2025, el índice de marginación 2020 y el Censo de Población y Vivienda 2020. Además, se estableció un proceso multicriterio que incluye como criterio de calificación la gobernanza comunal. Los hallazgos indican que la zona de influencia revierte el patrón estatal, ya que el 66.7 % de los municipios oaxaqueños opta por sistemas normativos indígenas, pero solo el 23.9 % de los 46 municipios del CIIT lo hace, y ninguno de los seis con Polo de Desarrollo para el Bienestar establecido. Además, el 70.9 % de la población en esta área habita en municipios dirigidos por partidos políticos. Se concluye que la comunalidad es una referencia pertinente para políticas territoriales que reconozcan la gobernanza comunitaria frente al riesgo de despojo, y se presenta la estructura preliminar de un instrumento de 58 ítems en seis dimensiones, en proceso de validación de contenido, para valorar la aptitud socioterritorial de los sitios.

Palabras clave: turismo rural comunitario; comunalidad; Corredor Interoceánico; políticas territoriales; análisis multicriterio.

Abstract

The Interoceanic Corridor of the Isthmus of Tehuantepec (CIIT) is the most significant recent infrastructure intervention in southeastern Mexico and operates as a first-order territorial variable affecting the rural economies within its area of influence. The aim is to analyse how

[1] Programa de Estancias Posdoctorales por México, SECIHTI. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correo: d20161938@itoaxaca.edu.mx. ORCID 0009-0004-1769-6152. Autor de correspondencia.

[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correos: marcos.rl@itoaxaca.edu.mx; hector.pl@oaxaca.tecnm.mx.

[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correo: maricelacastillo3@gmail.com.

the territorial reconfiguration associated with the CIIT modifies the conditions of possibility for community-based rural tourism in three Isthmian municipalities —Santa María Chimalapa, Santa María Guienagati and San Pedro Comitancillo— read through the framework of communality. A documentary analysis of the corridor's legal instruments published in the Official Gazette of the Federation was combined with a characterisation of the 46 Oaxacan municipalities in its area of influence, based on the 2020 Population and Housing Census, the 2020 marginalisation index and the 2025 National Census of Municipal Governments, and a multicriteria procedure incorporating communal governance as a suitability criterion was formalised. Results show that the area of influence reverses the state pattern: 66.7 % of Oaxaca's municipalities elect their authorities through Indigenous normative systems, but only 23.9 % of the 46 CIIT municipalities do so, and none of the six with a declared Development Pole for Well-being; 70.9 % of the area's population lives in party-governed municipalities. It is concluded that communality is a pertinent reference for territorial policies that recognise community governance in the face of dispossession risk, and the preliminary structure of a 58-item instrument in six dimensions, currently under content validation, is presented to assess the socio-territorial suitability of sites.

Keywords: community-based rural tourism; communality; Interoceanic Corridor; territorial policy; multicriteria analysis.

Introducción

El turismo comunitario ha surgido en América Latina como una estrategia de desarrollo que busca que las comunidades rurales e indígenas mantengan la gestión de sus recursos y obtengan beneficios del sector a escala local (Jackson, 2025; Liu et al., 2023). Pero las pruebas recogidas son dudosas. Estas iniciativas, ya sea que se orígenen desde lo alto o dependan completamente del financiamiento externo, tienden a tener un bajo impacto económico, ser atrapadas por las élites locales y tener una corta vida útil después de que el apoyo cesa, según Mitchell y Muckosy (2008), Taylor (2017) y Zapata et al. (2011). Por otra parte, cuando se originan de la iniciativa local y se sustentan en el control que la comunidad tiene sobre los recursos y en sistemas de gestión colectiva, estos presentan mayor perdurabilidad, sinergias con la economía rural e incluso procesos de recampesinización (Gascón y Cañada, 2025; Maldonado-Erazo y cols., 2022).

Las revisiones de casos coinciden en que tanto el liderazgo en el sector turístico como la propiedad comunal de la tierra dan autonomía a las comunidades para tomar decisiones, controlar los recursos y repartir los beneficios de forma más justa (Zielinski et al., 2020). Por otra parte, entre los factores del éxito, la capacidad organizativa a nivel local es más importante que la calidad del atractivo (Dodds et al., 2018).

Ese debate se solapa con la más ambiciosa intervención territorial del sureste de México en décadas, en el Istmo de Tehuantepec. En junio de 2019 se fundó el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec (CIIT) como una entidad pública descentralizada para conectar los puertos de Salina Cruz y Coatzacoalcos a través del ferrocarril (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2019). Su programa regional estableció una zona de influencia que comprende 79 municipios, de los cuales 46 se encuentran en Oaxaca (DOF, 2020). En el año 2023, la entidad fue sectorizada a la Secretaría de Marina y adquirió la facultad para declarar

Polos de Desarrollo para el Bienestar (PODEBI) así como para adquirir, lotear, otorgar concesiones y transferir propiedades para parques industriales (DOF, 2023a). Los megacorredores, según la literatura más reciente, son infraestructuras de circulación que trasladan beneficios hacia otras áreas, lo cual tiene un impacto integrador y asimilador en la población local (Hofmann, 2024). A este respecto, los observan como un ejemplo de colonialismo interno que modifica el paisaje y fomenta la dependencia (Tornel, 2026) — una prolongación de la economía política de despojo ya registrada en los parques eólicos oaxaqueños (Hesketh, 2022) —, o como una colonialidad insertada en el programa nacional de desarrollo mismo (Samaniego, 2025). De ahí que se den formas de defender la vida más allá del ser humano (Philipp, 2025). También se debe considerar en un enfoque equilibrado que el proyecto persigue objetivos legítimos de desarrollo y de disminución del aislamiento en una región que ha sido históricamente empobrecida (Solorio, 2025).

Sin embargo, todavía existe un vacío analítico. Ha habido pocas investigaciones sobre cómo la reconfiguración del territorio del CIIT modifica las condiciones de posibilidad del turismo rural comunitario en particular, y sobre cómo el marco de la comunalidad —una forma de vida en los pueblos oaxaqueños que gira alrededor de la tierra, del trabajo en conjunto, del poder asambleario y de las festividades (Doyle, 2024; Sánchez-Antonio, 2021)— ofrece una manera de analizar esa tensión con datos censales y no únicamente argumentos normativos. El propósito de este trabajo es contribuir a cubrir ese vacío.

Planteamiento del problema, hipótesis y objetivos.

El conflicto se genera por la contradicción entre las lógicas de desarrollo regional impulsadas por el corredor y los modelos de gobernanza comunitaria del territorio en el Istmo. La reconfiguración territorial del CIIT suele poner a las economías rurales del istmo en una posición subordinada, pero el turismo de base comunitaria puede ser una opción para un desarrollo equitativo en términos territoriales, en vez de ser un vector de despojo, siempre y cuando se base en el control comunal de los recursos y en mecanismos de gestión colectiva propios del ámbito comunal. El objetivo central es analizar cómo la reconfiguración territorial vinculada al CIIT modifica las condiciones de viabilidad del turismo rural comunitario en tres municipios del istmo. Los objetivos específicos son: (i) analizar la reconfiguración territorial del CIIT a través de sus instrumentos jurídicos y programáticos; (ii) caracterizar la composición de la gobernanza municipal en el área de influencia del corredor y contextualizarla desde el marco de la comunalidad, incluyendo los municipios objeto de estudio; y (iii) establecer un proceso multicriterio para evaluar la idoneidad socioterritorial de los lugares para el turismo comunitario, que considere como criterio la gobernanza comunal.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La investigación se sitúa en la zona de influencia del CIIT en Oaxaca y toma tres municipios como unidades de caracterización, propuestos como casos para la fase de aplicación: Santa María Chimalapa, en territorio zoque de la Selva de los Chimalapas; Santa María Guienagati, municipio zapoteco serrano al norte de la planicie istmeña; y San Pedro Comitancillo, municipio zapoteco de la planicie, contiguo a la traza del Ferrocarril del Istmo. Los tres pertenecen a la zona de influencia del corredor y fueron seleccionados por contraste

deliberado: cubren las dos modalidades de elección municipal que distingue el censo de gobiernos, dos grados de marginación y un gradiente de ruralidad que va de 1.6 % a 100 % de población en localidades menores de 2,500 habitantes (Cuadro 1 y Figura 1).

Cuadro 1. Caracterización territorial e institucional de los municipios de estudio

Indicador	**San Pedro Comitancillo**	**Santa María Guienagati**	**Santa María Chimalapa**
Población total, 2020	4,333	3,178	9,578
Población en localidades rurales (%)	1.6	100.0	73.7
Hablantes de lengua indígena, 3 años y más (%)	42.5	25.5	44.8
Grado promedio de escolaridad (años)	10.8	6.3	5.8
Población de 15 años y más sin educación básica completa (%)	25.6	61.5	63.2
Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos (%)	67.9	92.6	96.0
Grado de marginación, 2020	Bajo	Alto	Alto
Modalidad de elección del ayuntamiento, CNGMD 2025	Partidos políticos	Sistemas normativos indígenas	Sistemas normativos indígenas
Integrantes del ayuntamiento	7	6	9

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2021), CONAPO (2021) e INEGI (2025).

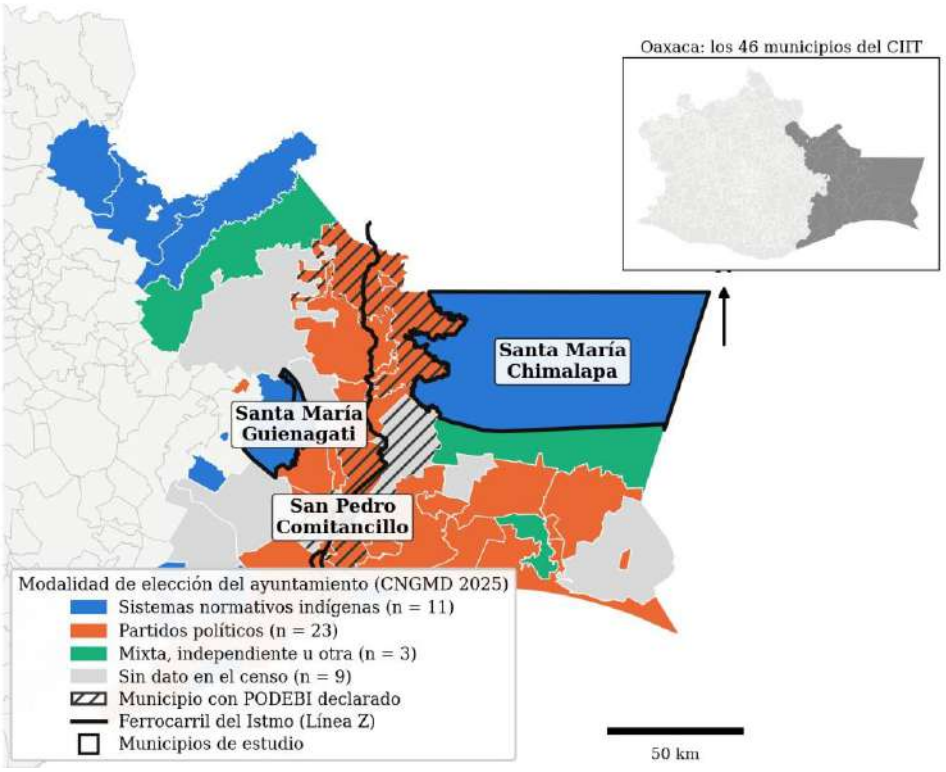


Figura 1. Zona de influencia del CIIT en Oaxaca por modalidad de elección municipal, municipios con PODEBI y municipios de estudio

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2025), Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2024) y Red Ferroviaria Nacional (ARTF, 2026). Los 46 municipios siguen la cobertura regional del programa 2020-2024, remitida a su Anexo 1 (DOF, 2020), según la operacionalización de la base municipal del proyecto.

Enfoque y diseño

Se adoptó un enfoque mixto, no experimental, de alcance exploratorio-descriptivo, organizado en tres componentes. El primero es un análisis documental de los instrumentos jurídicos y programáticos del CIIT publicados en el DOF entre 2019 y 2023 —decreto de creación, programa regional, decreto de reforma, programa institucional, decreto de estímulos fiscales, decretos expropiatorios y declaratorias de PODEBI—, orientado a caracterizar la reconfiguración territorial en sus propios términos normativos. El segundo es una caracterización territorial de los 46 municipios oaxaqueños de la zona de influencia, con tres fuentes censales integradas por clave geoestadística: los Principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021), de donde se obtuvieron población total, proporción de población en localidades rurales, proporción de hablantes de lengua indígena de tres años y más y grado promedio de escolaridad; el índice y grado de marginación municipal 2020 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2021); y el módulo de ayuntamientos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales 2025 (INEGI, 2025), de donde se tomó la modalidad de elección de las autoridades —sistemas normativos indígenas, partidos políticos, mixta, independiente u otra— en la elección más reciente. La traza ferroviaria proviene de la Red Ferroviaria Nacional (Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario [ARTF], 2026). La delimitación de los 46 municipios oaxaqueños sigue la cobertura regional del Programa para el Desarrollo del Istmo de Tehuantepec 2020-2024, que la remite a su Anexo 1 (DOF, 2020), tal como se operacionalizó en la base municipal del proyecto. El Programa Institucional 2025-2030, aprobado en octubre de 2025 (DOF, 2025), amplió la zona de influencia a 120 municipios —46 de Oaxaca, 33 de Veracruz, 31 de Chiapas y 10 de Tabasco— (Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec [CIIT], 2025); este trabajo conserva la delimitación del programa 2020-2024 como unidad operativa y fija como fecha de corte de la revisión documental el 31 de agosto de 2026. El tercer componente es la formalización de un procedimiento multicriterio para valorar la aptitud socioterritorial de los sitios.

Procedimiento multicriterio

Para jerarquizar la aptitud socioterritorial se propone emplear el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) combinado con una suma ponderada aditiva, en línea con la práctica consolidada de evaluación del potencial turístico mediante análisis multicriterio y sistemas de información geográfica (Çetinkaya et al., 2018; Hoang et al., 2018; Mansour et al., 2020; Withanage et al., 2024). El índice de aptitud de un sitio s se define como la combinación lineal de la ecuación (1), donde w_i es el peso del criterio i, obtenido por comparaciones pareadas con razón de consistencia menor que 0.10 y con $\Sigma\ w_i = 1$, y $d_i(s) \in [0, 1]$ es el desempeño normalizado del sitio en ese criterio:

$$A(s) = \sum_{i=1}^{n} w_i d_i(s) \qquad (1)$$

A diferencia de las aplicaciones convencionales, centradas en factores biofísicos, de accesibilidad y de servicios, el procedimiento incorpora dos criterios propios del contexto: la disposición comunitaria y gobernanza indígena, y la reconfiguración territorial inducida por

el CIIT. Las evaluaciones multicriterio de sostenibilidad del turismo comunitario identifican la participación y la capacidad de gestión de la comunidad entre los factores críticos, por encima de los atributos físicos del sitio (Ngo y Creutz, 2022), lo que respalda su inclusión como criterios con peso propio. Los seis criterios y sus indicadores se operacionalizaron en un instrumento de 58 ítems en escala Likert de cinco puntos, derivado de 47 artículos indexados seleccionados por pertinencia a cada dimensión y vinculados ítem por ítem a su fuente en la matriz del instrumento, y organizado en las dimensiones que resume el Cuadro 2. El instrumento se encuentra en proceso de validación de contenido por un panel de siete expertos mediante el coeficiente V de Aiken y la razón de validez de contenido, que evalúan pertinencia, claridad y suficiencia de cada ítem; la captura de las valoraciones y la aplicación en campo están pendientes, por lo que en este trabajo se reporta el diseño y no las ponderaciones. Los resultados que se presentan corresponden, por tanto, a la caracterización documental y censal y al diseño preliminar del instrumento; la validación de contenido y la aplicación del AHP están en curso, de modo que no se reporta un índice de aptitud ni una jerarquización de municipios.

Cuadro 2. Estructura del instrumento multicriterio de aptitud socioterritorial para el turismo comunitario

Dimensión (criterio AHP)	**Núm. de ítems**	**Indicadores representativos**
D1. Recursos naturales, culturales y patrimonio biocultural	9	biodiversidad local; patrimonio arqueológico; tradiciones vivas; gastronomía; lengua y cosmovisión; paisaje agrícola
D2. Infraestructura turística y servicios	8	alojamiento; alimentación; guías locales; señalización; servicios básicos; comunicaciones; seguridad
D3. Accesibilidad, conectividad y valoración multicriterio	8	acceso vial; transporte público; distancia a nodos; conectividad CIIT; proximidad a mercados
D4. Disposición comunitaria y gobernanza indígena	15	disposición a participar; tequio y organización; capacidad de gestión; participación en decisiones; empoderamiento político y social; orgullo cultural
D5. Sensibilidad ambiental y sostenibilidad ecológica	9	fragilidad ecosistémica; capacidad de carga; manejo de residuos; educación ambiental; conservación activa
D6. Reconfiguración territorial por el CIIT	9	reconocimiento del proyecto; desplazamiento o despojo; consulta previa; oportunidad turística; autonomía frente al corredor; cambio en flujos económicos

Fuente: elaboración propia. Instrumento CBT-CIIT, 58 ítems Likert de cinco puntos derivados de 47 artículos indexados; validación de contenido por panel de siete expertos (V de Aiken y razón de validez de contenido) en curso.

Marco analítico

La interpretación está dirigida por el marco de la comunalidad. Diferentes investigaciones han encontrado que los municipios oaxaqueños que son gobernados por normas y asambleas indígenas ofrecen bienes públicos con más eficiencia que aquellos de características similares que se encuentran bajo el mando de los partidos. Esto ocurre porque son capaces de resolver problemas de acción colectiva y limitar la captura de las élites (Díaz-Cayeros et al., 2014; Magaloni et al., 2019). Además, la comunalidad apoya la gestión de bienes comunes en línea con la guía de Ostrom (Lorenzen et al., 2022) y los métodos de gobernanza ambiental desde

una perspectiva inferior (Fuente-Carrasco et al., 2019). En esta línea, la forma de elección municipal se emplea aquí como un indicador censal aproximado pero verificable de la vigencia institucional de la gobernanza comunitaria. Es un dato administrativo, no una evaluación directa de la comunalidad o de la calidad de la gobernanza, y su lectura agregada por municipio puede incurrir en el riesgo de caer en una falacia ecológica. Por ello, se emplea como proxy exploratorio en la fase de campo que triangulará con las normas comunitarias, el funcionamiento de la asamblea, la propiedad social, y la participación y control local sobre los beneficios.

Resultados y discusión

La reconfiguración territorial del CIIT en sus instrumentos

El estudio de la documentación demuestra que el corredor no es sólo una obra de carácter logístico, sino también un mecanismo jurídico explícito de reorganización territorial. El CIIT quedó establecido como un organismo descentralizado para la implementación de una plataforma logística que conjunte la gestión portuaria de Salina Cruz y Coatzacoalcos con el transporte ferroviario, mediante el decreto de creación de 2019 (DOF, 2019). Sin la asignación de un nuevo presupuesto, el programa regional 2020-2024 abarcó la atención a la pobreza extrema, la biodiversidad y la diversidad lingüística, el nuevo modelo de crecimiento y la infraestructura social y productiva. Se aplicó en 79 municipios y a más de 2.4 millones de personas (DOF, 2020). La reforma de marzo de 2023 marcó un giro: el organismo quedó sectorizado a la Secretaría de Marina, incorporó las administraciones portuarias de Puerto Chiapas y Dos Bocas, y adquirió la facultad para emitir declaraciones PODEBI y para adquirir, urbanizar, lotear, vender y otorgar concesiones sobre bienes para parques industriales (DOF, 2023a). El decreto de estímulos fiscales dio a las empresas asentadas en los polos la exención total del ISR durante tres años y del 50% en los tres siguientes, así como deducción inmediata de inversiones y crédito completo del impuesto al valor agregado durante cuatro años (DOF, 2023c). El programa institucional, por su parte, estableció que la integración de toda la reserva territorial para diez polos se realizaría a más tardar a fines de 2024 (DOF, 2023d).

La base territorial de los polos se integró por expropiación y declaratoria. En Santa María Mixtequilla se expropiaron 502-42-60 hectáreas de tierras ejidales —179-84-24 parceladas y 322-58-36 de uso común— a favor del CIIT, con una indemnización de 130.6 millones de pesos (DOF, 2023b). Entre mayo y octubre de 2023 se declararon los seis polos oaxaqueños que resume el Cuadro 3, con superficies que van de 82 a 412 hectáreas (DOF, 2023e, 2023f, 2023g, 2023h, 2023i, 2023j). La Línea Z del ferrocarril, de 308.5 kilómetros entre Coatzacoalcos y Salina Cruz, opera carga y pasajeros desde diciembre de 2023 (Presidencia de la República, 2025). A la fecha de corte (31 de agosto de 2026), el portal oficial de proyectos de inversión reportaba catorce polos en cuatro estados, la mayoría concesionados y el resto en proceso de adjudicación o en etapa de declaratoria (Proyectos México, 2026); no se localizó registro oficial de algún polo en operación industrial. La reconfiguración es, por tanto, primero normativa y territorial —reserva de suelo, régimen fiscal de excepción, sectorización a la autoridad naval— y solo después productiva. El patrón coincide con lo documentado en el entorno de otros megaproyectos del sureste, donde la titulación y el cambio de régimen de la tierra ejidal han operado como mecanismos de despojo antes que como palanca de inversión productiva (Torres-Mazuera, 2023).

Cuadro 3. Polos de Desarrollo para el Bienestar declarados en Oaxaca, 2023

Polo de Desarrollo para el Bienestar	Municipio	Superficie declarada (ha)	Declaratoria en el DOF	Modalidad de elección municipal
Salina Cruz	Salina Cruz	82.1	12 de mayo de 2023	Partidos
San Blas Atempa	San Blas Atempa	331.5	12 de mayo de 2023	Partidos
Ciudad Ixtepec	Ciudad Ixtepec	412.5	11 de octubre de 2023	Partidos
Matías Romero	Matías Romero Avendaño	179.3	11 de octubre de 2023	Partidos
Santa María Mixtequilla	Santa María Mixtequilla	n. d.	11 de octubre de 2023	Sin dato en el censo
Ixtaltepec (Chivela)	Asunción Ixtaltepec	246.1	16 de octubre de 2023	Sin dato en el censo

Fuente: elaboración propia con base en DOF (2023e, 2023f, 2023g, 2023h, 2023i, 2023j) e INEGI (2025). n. d.: la declaratoria no consigna la superficie en el texto del acuerdo.

La lectura se ve fortalecida por el hecho de que los datos se basan en la experiencia anterior con la energía eólica. En la parte sur del istmo se instaló el desarrollo eólico bajo un patrón extractivo, sin considerar a las organizaciones y culturas locales, y sin normativas de ordenamiento territorial. Esto generó rupturas en las comunidades y conflictos que impidieron la ejecución de los proyectos (Zárate-Toledo et al., 2019). En un área donde los propietarios indígenas concentran una porción significativa de la propiedad social, la excepción normativa funciona como una técnica de gobierno territorial (Zárate Santiago y Vázquez García, 2024). La experiencia indica que cuando no existen mecanismos de participación y tampoco se reconoce la tenencia comunal, la reconfiguración territorial tiende a generar más conflicto y despojo que desarrollo conjunto.

Composición de la gobernanza municipal en la zona de influencia

El segundo hallazgo es censal ya que, hasta donde se sabe, no había sido registrado anteriormente. En Oaxaca, la gobernanza comunitaria se manifiesta más claramente a nivel institucional: 380 de los 570 municipios (66.7 %) eligieron a sus autoridades bajo sistemas normativos indígenas en el último censo de gobiernos, mientras que sólo 119 (20.9 %) lo hicieron a través de los partidos políticos (INEGI, 2025). El CIIT revierte el patrón en su zona de influencia. Del total de 46 municipios oaxaqueños del corredor, la mitad (23) se elige a través de partidos políticos, mientras que el 11 (23.9%) mediante sistemas normativos indígenas, otros tres utilizan sistemas mixtos, independientes u otras modalidades y en nueve casos no se especifica la modalidad en el censo. La asimetría es más pronunciada en términos demográficos: de los 719.575 habitantes de la zona, el 70,9 % vive en municipios administrados por partidos, mientras que solo el 10,9 % habita en municipios de sistemas normativos. De los seis municipios que tienen declarado el PODEBI, ninguno pertenece a sistemas normativos; cuatro optan por partidos y dos no especifican en el censo la modalidad.

Este resultado descriptivo puede interpretarse de dos maneras complementarias. La primera, es que el corredor se localizó en lugares donde la gobernanza comunitaria ya estaba debilitada a nivel institucional o donde predominan las áreas logísticas y urbanas —Salina Cruz, Juchitán, Tehuantepec, Ixtepec, Matías Romero—; lo cual concuerda con una lógica de localización industrial. La segunda es que los ayuntamientos de sistemas normativos de la

región, como Santiago Astata, Santa María Chimalapa, Guevea de Humboldt o San Mateo del Mar, quedan en la periferia del dispositivo, obtienen sus consecuencias territoriales sin formar parte del núcleo decisional. Diecisiete de los municipios tienen un nivel de marginación muy alto o alto y dieciséis tienen un porcentaje mayor o igual al 40 % de hablantes de lenguas indígenas (INEGI, 2021; CONAPO, 2021). La tensión entre ambas lógicas de organización territorial, la una centralista y circulatoria, la otra asamblearia y comunal, no es un mero problema teórico, pues está incorporada a la geografía institucional del corredor.

Los tres municipios de estudio en ese mapa

Los casos seleccionados ocupan posiciones distintas en esa geografía (Cuadro 1). San Pedro Comitancillo, con 4,333 habitantes, 1.6 % de población rural, grado promedio de escolaridad de 10.8 años y marginación baja, elige por partidos y se ubica sobre la traza ferroviaria: es el caso de mayor integración a la lógica del corredor. Santa María Chimalapa, con 9,578 habitantes, 73.7 % de población rural, 44.8 % de hablantes de lengua indígena, escolaridad de 5.8 años y marginación alta, se gobierna por sistemas normativos y custodia uno de los macizos forestales más extensos del país: es el caso de mayor autonomía institucional y de mayor exposición a la presión sobre bienes comunes. Santa María Guienagati, con 3,178 habitantes, totalmente rural, 25.5 % de hablantes de lengua indígena, escolaridad de 6.3 años y marginación alta, también se gobierna por sistemas normativos y constituye un caso intermedio de serranía zapoteca con acceso limitado a la planicie. Los tres comparten proporciones de población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos superiores a 67 %, y en Chimalapa y Guienagati más de 60 % de la población de 15 años y más no completó la educación básica (CONAPO, 2021). Esta heterogeneidad es la razón del diseño comparado: permite observar cómo la misma variable territorial —el corredor— se procesa bajo arreglos institucionales distintos.

Comunalidad y gobernanza territorial

La lógica vertical del corredor choca con formas de gobierno que han funcionado en las comunidades del Istmo: la asamblea, el tequio, el sistema de cargos. Los municipios con una gobernanza tradicional logran expandir el acceso a bienes y servicios públicos de manera más eficaz que los municipios igualmente empobrecidos que están bajo la administración de los partidos, y se convierten en espacios de participación política vigorosa, y no en enclaves autoritarios (Díaz-Cayeros et al., 2014; Magaloni et al., 2019). La comunalidad, en el contexto de los recursos compartidos, se refiere a las normas de gobernanza de Ostrom y apoya la gestión colectiva de bosques y aguas (Fuente-Carrasco et al., 2019; Lorenzen et al., 2022). Cuando se analiza desde la perspectiva de su genealogía, la comunalidad no es un rasgo folclórico, sino una forma de vida y una alternativa política y epistémica frente al modelo de desarrollo dominante (Doyle, 2024; Sánchez-Antonio, 2021); en el contexto del CIIT, los habitantes la utilizan como el medio a través del cual garantizan sus mundos de vida —la reciprocidad, la atención y la gestión colectiva de los recursos— frente a las infraestructuras (Hofmann, 2025). El descubrimiento censal anterior sugiere que esa alternativa está institucionalmente disponible en menos de una cuarta parte de los municipios del corredor; esto limita la efectividad de cualquier política que pretenda basarse en ella y, a la vez, hace más importante protegerla donde ya existe.

El turismo comunitario como alternativa condicionada

La actividad turística basada en la comunidad puede servir como una estrategia para enfrentar las operaciones extractivas, como una forma de diversificar la matriz productiva sin perder el dominio territorial (Maldonado-Erazo et al., 2022) e incluso como un apoyo a la capacidad de resistencia comunitaria frente a procesos de despojo y colonización (Pilquimán-Vera et al., 2020). Sin embargo, la evidencia muestra que estos efectos no ocurren con cualquier tipo de arreglo: los arreglos verticales tienden a fracasar o ser capturados por las élites (Zapata et al., 2011; Taylor, 2017; Mitchell and Muckosy, 2008). Se ha reportado coincidiendo en que la condición crucial es doble: que tanto los recursos turísticos como los agrícolas se mantengan bajo control de los habitantes locales y que haya métodos para administrar colectivamente dichos recursos. Sólo en este caso, el turismo comunitario puede generar sinergias con la economía campesina y ayudar al progreso local (Gascón y Cañada, 2025; Liu et al., 2023). Las cooperativas indígenas de la península de Yucatán demuestran además que el turismo se concibe como parte de sistemas pluriactivos y de crecimiento conjunto y limitado, y no como una estrategia independiente (García-Frapolli y Asara, 2026). Estas condiciones se corresponden con las características que ofrece la comunalidad en Guienagati y Chimalapa, pero no se encuentran como organización institucional formal en Comitancillo. Esto confirma la hipótesis de la investigación y predice un orden distinto de la aptitud cuando se incluye la gobernanza como factor.

La propuesta multicriterio

El procedimiento AHP, al contemplar la gobernanza comunal, hace posible operacionalizar analíticamente dicha condición decisiva. En las aplicaciones tradicionales, la aptitud está sujeta a factores como el paisaje, la topografía, los servicios y la accesibilidad (Çetinkaya et al., 2018; Hoang et al., 2018; Mansour et al., 2020; Withanage et al., 2024); aquí, además de esos elementos, la aptitud se basa también en la solidez de las instituciones locales y en el nivel de alteración que el corredor ha realizado en los flujos económicos y en la tenencia. El Cuadro 2 muestra que la dimensión de gobernanza y disposición comunitaria es la que tiene mayor número de indicadores del instrumento, lo cual es coherente con su función en la hipótesis. Puede anticiparse, con base en la estructura del Cuadro 1 y sin asignar ponderaciones todavía, que un criterio de gobernanza situaría a Chimalapa y Guienagati en un nivel superior al de Comitancillo, mientras que los criterios de accesibilidad y servicios harían lo contrario. La jerarquización final dependerá de la verificación sobre el terreno y de los pesos que otorgue el panel, por lo que no se anota aquí. Lo que aporta esta fase es el diseño preliminar del instrumento, el cual puede ser seguido ítem por ítem en la literatura. Con el fin de lograr una reproducibilidad total, se publicará la matriz completa de 58 ítems, con sus fuentes y reglas de puntuación al finalizar la validación.

Conclusiones

Antes de la producción, se reconfiguró territorialmente el Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. De 2019 a 2023 el Estado creó el organismo, sectorizó al mismo a la autoridad naval, incorporó por expropiación y declaratoria seis áreas industriales en Oaxaca como reserva de suelo y estableció un sistema fiscal de excepción. Sin embargo, al final de la revisión, ningún polo operaba a nivel industrial. Esta secuencia modifica las condiciones que hacen posible el desarrollo rural en la zona de influencia y plantea un peligro de

subordinación de las economías a nivel comunitario, consistente con lo documentado para otros megaproyectos del sureste y con el proyecto eólico del istmo.

En la zona que influye el corredor, se invierte la geografía institucional de Oaxaca: mientras que el estado opta por regímenes normativos indígenas en dos tercios de los municipios, el corredor lo hace en menos de uno de cada cuatro y no en ninguno de los municipios con polo declarado. La gobernanza comunitaria, por tanto, no es el arreglo más importante en el centro del dispositivo sino una característica de su periferia. Es allí precisamente donde puede ser o no una opción alternativa el turismo de base comunitaria. Su aptitud para operar como un canal de desarrollo equitativo, en lugar de como un instrumento de despojo, descansa en que los recursos permanezcan bajo control local y haya sistemas de gestión colectiva. En Santa María Guienagati y Santa María Chimalapa la comunalidad mantiene esta característica, que San Pedro Comitancillo no tiene de manera formal.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo plantea un proceso multicriterio que incorpora la gobernanza comunal y la reconfiguración impulsada por el corredor como criterios de idoneidad. Además, se muestra la estructura inicial de una herramienta compuesta por 58 indicadores repartidos en seis dimensiones, que se encuentra en proceso de validación de contenido y aplicación. Hasta ahora no se ha reportado un índice de idoneidad ni una clasificación jerárquica de los municipios; se emplea como proxy exploratorio el indicador censal de gobernanza. De ahí que la idea de comunalidad sea importante para la construcción de políticas territoriales que tomen a la gobernanza comunitaria como un valor a resguardar y no como una barrera a eliminar. Este análisis censal y documental que aquí se expone, se complementará con las ponderaciones del panel y con la implementación en el campo, con el objetivo de hacer saber decisiones sobre desarrollo rural equitativo a nivel territorial en el nuevo contexto logístico del Istmo.

Literatura Citada

Revistas

- Çetinkaya, C., Kabak, M., Erbaş, M., & Özceylan, E. (2018). Evaluation of ecotourism sites: A GIS-based multi-criteria decision analysis. *Kybernetes*, 47(8), 1664–1686. https://doi.org/10.1108/K-10-2017-0392
- Díaz-Cayeros, A., Magaloni, B., & Ruiz-Euler, A. (2014). Traditional governance, citizen engagement, and local public goods: Evidence from Mexico. *World Development*, 53, 80–93. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.01.008
- Dodds, R., Ali, A., & Galaski, K. (2018). Mobilizing knowledge: Determining key elements for success and pitfalls in developing community-based tourism. *Current Issues in Tourism*, 21(13), 1547–1568. https://doi.org/10.1080/13683500.2016.1150257
- Doyle, R. (2024). Comunalidad, development and indigenous rights in Oaxaca, Mexico. *The Journal of Law, Social Justice and Global Development*, (26). https://doi.org/10.31273/LGD.2023.2702
- Fuente-Carrasco, M. E., Barkin, D., & Clark-Tapia, R. (2019). Governance from below and environmental justice: Community water management from the perspective of social metabolism. *Ecological Economics*, 160, 52–61. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.022

- García-Frapolli, E., & Asara, V. (2026). Navigating touristification through social entrepreneurship: Community-based tourism in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Tourist Studies*, 26(1), 83–107. https://doi.org/10.1177/14687976261430379
- Gascón, J., & Cañada, E. (2025). Repeasantization and synergy between community-based tourism and family farming. *Journal of Rural Studies*, 116, 103627. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103627
- Hesketh, C. (2022). Clean development or the development of dispossession? The political economy of wind parks in Southern Mexico. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 5(2), 543–565. https://doi.org/10.1177/2514848621991764
- Hoang, H. T. T., Truong, Q. H., Nguyen, A. T., & Hens, L. (2018). Multicriteria evaluation of tourism potential in the Central Highlands of Vietnam: Combining GIS, AHP and PCA. *Sustainability*, 10(9), 3097. https://doi.org/10.3390/su10093097
- Hofmann, S. (2024). Infrastructure megaprojects as world erasers: Cultural survival in the context of the Tehuantepec Isthmus Interoceanic Corridor. *Latin American Perspectives*, 51(5), 140–163. https://doi.org/10.1177/0094582X241294080
- Hofmann, S. (2025). Security meanings and land defense in the context of the Interoceanic Corridor infrastructure (CIIT) megaproject. *Security Dialogue*, 56(4), 370–395. https://doi.org/10.1177/09670106251331021
- Jackson, L. A. (2025). Community-based tourism: A catalyst for achieving the United Nations Sustainable Development Goals one and eight. *Tourism and Hospitality*, 6(1), 29. https://doi.org/10.3390/tourhosp6010029
- Liu, Y.-L., Chiang, J.-T., & Ko, P.-F. (2023). The benefits of tourism for rural community development. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 137. https://doi.org/10.1057/s41599-023-01610-4
- Lorenzen, M., Orozco-Ramírez, Q., Ramírez-Santiago, R., & Garza, G. G. (2022). Governing the commons in Mexico's Mixteca Alta: Linking Ostrom's design principles and comunalidad. *Forest Policy and Economics*, 145, 102862. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102862
- Magaloni, B., Díaz-Cayeros, A., & Ruiz-Euler, A. (2019). Public good provision and traditional governance in indigenous communities in Oaxaca, Mexico. *Comparative Political Studies*, 52(12), 1841–1880. https://doi.org/10.1177/0010414019857094
- Maldonado-Erazo, C. P., del Río-Rama, M. C., Miranda-Salazar, S. P., & Tierra-Tierra, N. P. (2022). Strengthening of community tourism enterprises as a means of sustainable development in rural areas: A case study of community tourism development in Chimborazo. *Sustainability*, 14(7), 4314. https://doi.org/10.3390/su14074314
- Mansour, S., Al-Awhadi, T., & Al-Hatrushi, S. (2020). Geospatial based multi-criteria analysis for ecotourism land suitability using GIS & AHP: A case study of Masirah Island, Oman. *Journal of Ecotourism*, 19(2), 148–167. https://doi.org/10.1080/14724049.2019.1663202
- Ngo, T. H., & Creutz, S. (2022). Assessing the sustainability of community-based tourism: A case study in rural areas of Hoi An, Vietnam. *Cogent Social Sciences*, 8(1), 2116812. https://doi.org/10.1080/23311886.2022.2116812
- Philipp, R. F. (2025). Defensa de la vida: More-than-human care as resistance against the threats of mega-projects at the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Geoforum*, 104453. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2025.104453

- Pilquimán-Vera, M., Cabrera-Campos, G., & Tenorio-Pangui, P. (2020). Experiences of resilience and Mapuche community based tourism in the pre-cordilleran territories of Panguipulli, southern Chile. *Sustainability*, 12(3), 817. https://doi.org/10.3390/su12030817
- Samaniego, D. (2025). 'The South resists': The coloniality of Mexico's National Development Plan. *Third World Quarterly*, 46(3), 296–315. https://doi.org/10.1080/01436597.2025.2470996
- Sánchez-Antonio, J. C. (2021). Genealogía de la comunalidad indígena: Descolonialidad, transmodernidad y diálogos inter-civilizatorios. *Latin American Research Review*, 56(3), 696–710. https://doi.org/10.25222/larr.839
- Solorio, I. (2025). Good times for the people, bad times for the environment: AMLO's populism and the legacy for future generations. *Georgetown Journal of International Affairs*, 26. https://doi.org/10.1353/gia.2025.a965791
- Taylor, S. R. (2017). Issues in measuring success in community-based Indigenous tourism: Elites, kin groups, social capital, gender dynamics and income flows. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(3), 433–449. https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1217871
- Tornel, C. (2026). Energy and colonialism: How energy policy is driving capitalism and extractivism in Mexico. *The Professional Geographer*, 78(4), 511–522. https://doi.org/10.1080/00330124.2025.2565472
- Torres-Mazuera, G. (2023). Dispossession through land titling: Legal loopholes and shadow procedures to urbanized forestlands in the Yucatán Peninsula. *Journal of Agrarian Change*, 23(2), 346–364. https://doi.org/10.1111/joac.12520
- Vázquez García, A. R., & Zárate Santiago, A. (2024). Estado de excepción neoliberal y resistencia en el sureste de México. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, (57), 47–70. https://doi.org/10.7440/antipoda57.2024.03
- Withanage, N. C., Wijesinghe, D. C., Mishra, P. K., Abdelrahman, K., Mishra, V., & Fnais, M. S. (2024). An ecotourism suitability index for a world heritage city using GIS-multi criteria decision analysis techniques. *Heliyon*, 10(11), e31585. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31585
- Zapata, M. J., Hall, C. M., Lindo, P., & Vanderschaeghe, M. (2011). Can community-based tourism contribute to development and poverty alleviation? Lessons from Nicaragua. *Current Issues in Tourism*, 14(8), 725–749. https://doi.org/10.1080/13683500.2011.559200
- Zárate-Toledo, E., Patiño, R., & Fraga, J. (2019). Justice, social exclusion and indigenous opposition: A case study of wind energy development on the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Energy Research & Social Science*, 54, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.03.004
- Zielinski, S., Jeong, Y., & Milanés, C. B. (2020). Factors that influence community-based tourism (CBT) in developing and developed countries. *Tourism Geographies*, 23(5–6), 1040–1072. https://doi.org/10.1080/14616688.2020.1786156

Páginas electrónicas y documentos oficiales

- Agencia Reguladora del Transporte Ferroviario. (2026). Red Ferroviaria Nacional: vía férrea [Conjunto de datos geoespaciales, actualización de enero de 2026]. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. https://www.gob.mx/artf

- Consejo Nacional de Población. (2021). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2020 [Base de datos]. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372
- Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. (2025). Programa Institucional del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec 2025-2030. Secretaría de Marina. https://www.dof.gob.mx/2025/SEMAR/ProgramaInstitucionalCIIT.pdf
- Diario Oficial de la Federación. (2019, 14 de junio). Decreto por el que se crea el organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, no sectorizado, denominado Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5562774
- Diario Oficial de la Federación. (2020, 4 de agosto). Programa para el Desarrollo del Istmo de Tehuantepec 2020-2024. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5597712
- Diario Oficial de la Federación. (2023a, 15 de marzo). Decreto por el que se reforma el diverso por el que se crea el organismo público descentralizado denominado Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5682765
- Diario Oficial de la Federación. (2023b, 2 de febrero). Decreto por el que se expropia una superficie de 502-42-60 hectáreas de terrenos de agostadero de uso común y parcelados del ejido Santa María Mixtequilla, municipio de Santa María Mixtequilla, Oaxaca. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5678707
- Diario Oficial de la Federación. (2023c, 5 de junio). Decreto por el que se fomenta la inversión de los contribuyentes que realicen actividades económicas productivas al interior de los Polos de Desarrollo para el Bienestar del Istmo de Tehuantepec. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5691049&fecha=05/06/2023
- Diario Oficial de la Federación. (2023d, 3 de julio). Programa Institucional del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec 2023-2024. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5694112
- Diario Oficial de la Federación. (2023e, 12 de mayo). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar Salina Cruz. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5688610
- Diario Oficial de la Federación. (2023f, 12 de mayo). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar San Blas Atempa. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5688611
- Diario Oficial de la Federación. (2023g, 11 de octubre). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar Ciudad Ixtepec. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5704697
- Diario Oficial de la Federación. (2023h, 11 de octubre). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar Matías Romero Avendaño. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5704695
- Diario Oficial de la Federación. (2023i, 11 de octubre). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar Santa María Mixtequilla. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5704696&fecha=11/10/2023
- Diario Oficial de la Federación. (2023j, 16 de octubre). Declaratoria del Polo de Desarrollo para el Bienestar Ixtaltepec. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5705269

- Diario Oficial de la Federación. (2025, 16 de octubre). Acuerdo Secretarial núm. 652/2025 por el que se aprueba el Programa Institucional del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec 2025-2030. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5770077
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Censo de Población y Vivienda 2020: Principales resultados por localidad (ITER) [Conjunto de datos]. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). Marco Geoestadístico Nacional, diciembre de 2024 [Conjunto de datos geoespaciales]. https://www.inegi.org.mx/temas/mg/
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2025. Módulo de ayuntamientos y alcaldías [Conjunto de datos]. https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2025/
- Mitchell, J., & Muckosy, P. (2008). A misguided quest: Community-based tourism in Latin America (ODI Opinion 102). Overseas Development Institute. https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/a-misguided-quest-community-based-tourism-in-latin-america
- Presidencia de la República. (2025). Primer Informe de Gobierno 2024-2025: Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec. https://www.informegobierno.gob.mx/indice/i-corredor-interoceanico-del-istmo-de-tehuantepec
- Proyectos México. (2026). Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec [Portal de proyectos de inversión]. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. https://www.proyectosmexico.gob.mx/en/interoceanic-corridor-of-the-isthmus-of-tehuantepec/

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo
15 y 16 de octubre 2026

Policy and Management Strategies for Enhancing Community Participation in Dryland Afforestation and Restoration

Asmae Amiri-Ghanatsaman[1], José Luis González Jiménez[1], Rocío Soria[1], Manuel Esteban Lucas-Borja[1]

Resumen

La participación comunitaria constituye un elemento fundamental para el éxito de la forestación en zonas áridas y la restauración de paisajes. Sin embargo, las barreras que limitan una participación efectiva continúan siendo insuficientemente documentadas en diferentes contextos regionales. Este estudio tiene como objetivo identificar los principales factores socioeconómicos, institucionales y de gobernanza que condicionan dicha participación en programas de forestación en Irán, contrastando los resultados con la evidencia disponible en otros contextos de restauración forestal y de zonas áridas. Para ello, se aplicó una encuesta estructurada a profesionales del sector forestal y de los recursos naturales, utilizando un instrumento basado en una escala Likert de nueve dimensiones, complementado con preguntas abiertas para recoger las perspectivas de los expertos. Los resultados muestran que la dependencia económica de los recursos forestales, el papel de las organizaciones no gubernamentales y el ecoturismo ejercen una influencia de moderada a alta. No obstante, las deficiencias en la sensibilización pública, la comunicación y la confianza mutua entre las comunidades y las autoridades constituyen las principales barreras transversales para la participación. Estos resultados son consistentes con la literatura comparativa de África Oriental, Asia Meridional y otras regiones áridas, lo que sugiere que fortalecer la sensibilización, la comunicación y la confianza es una condición ampliamente transferible para mejorar la restauración participativa. Los hallazgos proporcionan evidencia preliminar para orientar políticas de restauración de zonas áridas centradas en las comunidades y fundamentan el desarrollo de futuras investigaciones de mayor escala.

Palabras clave: Participación comunitaria; forestación en zonas áridas; sensibilización pública; confianza institucional; gobernanza forestal comparada.

Abstract

Community participation is widely recognised as a cornerstone of successful dryland afforestation and landscape restoration, yet the specific barriers that constrain meaningful engagement remain unevenly documented across regions. This paper synthesises evidence from a structured expert survey administered to forestry and natural-resource professionals in Iran, situating the findings within a broader comparative reading of community-participation research from other dryland and forest-restoration contexts worldwide. Using a nine-dimension Likert-scale instrument together with open-ended expert reflections, the study examines the socio-economic, institutional and governance factors shaping community engagement in afforestation programmes. Findings indicate that, although economic

[1] Asmae Amiri-Ghanatsaman (Iraní): Asmae.AmiriGhanatsam@uclm.es, José Luis González Jiménez (Español): JoseL.Gonzalez@uclm.es, Rocío Soria (Española): Rocio.Soria@uclm.es, Manuel Esteban Lucas-Borja (Español): ManuelEsteban.Lucas@uclm.es

dependence on forest resources, the role of non-governmental organisations, and ecotourism are all perceived as moderately to highly influential, gaps in public awareness, communication and mutual trust between communities and authorities emerge as the most frequently cited cross-cutting barrier to participation. These patterns findings reported in comparative literature from East Africa, South Asia and other dryland regions, suggesting that awareness- and trust-building are broadly transferable preconditions for participatory restoration success rather than context-specific artefacts. The findings offer preliminary, practitioner grounded evidence to inform policy discussions on community-centred dryland restoration, and lay the groundwork for a larger, stratified study currently in preparation.

Keywords: Community participation; dryland afforestation; public awareness; institutional trust; comparative forest governance.

Introduction

Drylands and semi-arid regions cover a substantial share of the global land surface and support well over a billion people, most of them among the world's poorest (Huang et al., 2017; Scholes, 2020). These regions are structurally water-limited and inherently vulnerable to rainfall variability; Scholes (2020) argues that the coping strategies historically used by dryland communities are becoming progressively less viable as warming outpaces the adaptive capacity of both ecosystems and livelihoods, producing what he terms a weak fabric of coupled social-ecological failure. Huang et al. (2017) similarly document accelerating aridification and land degradation across the world's dryland belt, driven jointly by greenhouse-gas forcing and land-use intensification. These pressures are not merely environmental: because dryland populations typically depend on forest and rangeland resources for fuel, fodder, and supplementary income, ecological degradation in these regions tends to translate rapidly into livelihood insecurity, out-migration, and a weakening of the very social structures on which collective natural-resource management depends. Afforestation and restoration are accordingly framed in international policy not only as ecological interventions but as instruments of rural development and climate adaptation. This approach highlights the importance of achieving the right community engagement, since a programme that fails to secure local participation is in danger to worsen, rather than relieving, the social pressures it was designed to address.

In response to these pressures, forest and landscape restoration has become one of the most heavily invested environmental policy agendas of the past decade, anchored by international commitments such as the Bonn Challenge, the UN Decade on Ecosystem Restoration (2021–2030), and national land degradation-neutrality targets under the UNCCD. Stanturf et al. (2019) note that translating these pledges into durable outcomes on the ground has proven far more difficult than setting the targets themselves, and that implementation gaps are frequently social rather than technical in origin. Reviewing a global sample of restoration projects, Höhl et al. (2020) find that the single most consistent driver of project failure is the absence of genuine local community engagement in decision-making, closely followed by inequitable benefit-sharing and weak monitoring for adaptive management, problems that persist even where the underlying technical design is sound.

A growing empirical literature confirms that participation is not incidental to restoration

success but one of its principal determinants. In a systematic case survey of protected area governance worldwide, Huber et al. (2023) found that greater stakeholder participation was consistently associated with more favourable ecological and social outcomes. In Tanzania, Luswaga and Nuppenau (2020) found that training attendance and, above all, trust in local institutions were significant predictors of the intensity of household participation in participatory forest management. In the central highlands of Ethiopia, Yewendwesen et al. (2025) show that education, membership duration in forest-user groups, access to training, and perceived economic incentives all significantly raise both the likelihood and intensity of participation in collective forest management, while off-farm income and larger livestock holdings tend to reduce it. In the Indian Himalaya, Nagahama et al. (2022) report that participation in forest-management activities themselves was comparatively easy to secure, but that women's participation in decision-making specifically remained the most persistent structural weakness of the programme they studied. In Kenya's semi-arid rangelands, Mganga et al. (2015) show that the sustainable land-management technologies communities actually adopt are shaped as much by their perceived livelihood relevance as by their technical merit, underscoring that awareness of practical, near-term benefit is often what converts willingness into action.

Large, state-led afforestation programmes illustrate both the promise and the risk of this same pattern at scale. China's Grain-for-Green programme, among the largest ecological restoration and rural-development initiatives of its kind, has converted millions of hectares of marginal cropland to forest and grassland since 1999; recent evidence from its most recent compensation round shows that farmers' willingness to participate, and to sustain that participation once payments taper off, is shaped less by the technical merits of the programme than by perceived economic benefit and household-level resource endowments (Duan & Wu, 2025). Africa's Great Green Wall offers a more cautionary counterpoint: despite billions of dollars in pledged international finance, Zhu et al. (2025) find that measurable ecological gains on the ground have been limited, and attribute this largely to a persistent gap between symbolic, donor-driven commitments made at the global level and the comparatively mundane, locally meaningful benefits, such as employment, water access, and basic services, that actually sustain community engagement with planted land. Read together with the site-level studies above, these two large-scale programmes reinforce the same underlying point: the durability of community participation in afforestation depends less on the scale of investment than on whether local communities perceive programmes as responsive to their own priorities and understanding.

Iran's own forest and rangeland social-ecological systems face a broadly similar constellation of pressures: high dependence of rural populations on forest resources, limited economic diversification, and recurrent drought, and a comparable, still-developing evidence base on what drives or constrains community engagement. Azadi et al. (2013) identified institutional, economic and educational factors as jointly explaining the greatest share of variance in sustainable forest-management outcomes across Iranian case studies. More directly relevant to the present study, Jafari et al. (2018), assessing community forest management in the Zagros region, found that of all the sustainability criteria examined, local communities' awareness had the largest remaining distance to the sustainable-forest-management target, that is, of all the levers available to managers, closing the awareness gap offered the greatest

potential improvement. This finding anticipates, at a single-site scale, the pattern that the present multi-province expert survey sets out to test more broadly.

Despite this accumulating evidence, most existing studies are single-site or single-technique investigations, and comparatively few draw on the accumulated, cross-site perspective of practising forestry and natural-resource experts to identify which barriers to community participation are most broadly shared across a range of dryland afforestation contexts. The relevance of this question is not confined to Iran: Hernandez-Montilla et al. (2026) show that even in Mexico, where roughly 60% of forests are already under community management and ambitious restoration commitments are in place, national policy frameworks still fall short of translating the principle of community participation into concrete mechanisms for meaningful local involvement, underscoring that closing the gap between participatory rhetoric and participatory practice remains an unresolved, cross-country challenge in forest and landscape restoration generally. This paper addresses that gap. Using a structured expert survey administered across Iran, it identifies the principal socio-economic, institutional and governance barriers to community participation in dryland afforestation programmes, and situates these findings within the wider comparative literature summarised above.

Materials and Methods

A structured questionnaire was designed and targeted at a panel of forestry and natural-resource management experts, local managers, and community liaisons, each actively involved in dryland afforestation programmes across a range of provinces of Iran, spanning diverse dryland and semi-arid forest and rangeland conditions. Respondents were selected purposively on the basis of their direct professional involvement in community-facing afforestation, extension, or natural-resource governance work.

The instrument comprised two components. The first was a nine-item, five-point Likert-scale battery (1 = very low to 5 = very high) covering: the relationship between cultural context and public participation; the economic dependency of the local population on forest resources; the perceived effectiveness of women's participation; the perceived progress in community participation relative to fifteen years earlier; the role of ecotourism; the role of non-governmental organisations; the perceived likelihood of intentional fire-setting by local communities; the observed success and sustainability of species retained solely for a protective, non-productive role; and the perceived contribution of non-forestry job creation by government to afforestation uptake. The second component comprised two open-ended questions asking respondents, in their own words, which factors they considered most effective in attracting community participation, and what they regarded as the single most important challenge to participation in their province.

This design is intentionally exploratory: it is intended to surface practitioner-grounded hypotheses about the relative salience of different barriers, rather than to establish causal or population-level estimates. A larger, stratified survey extending this instrument to a broader and more representative sample of experts and community members is currently in preparation.

Results and Discussion

Taken together, the nine Likert-rated dimensions point to a consistent general pattern: experts

perceived structural and economic levers, namely non-forestry job creation, the role of ecotourism and NGOs, and the broader cultural context, as comparatively supportive of participation, while economic dependency on forest resources, the sustainability of protective-only species, and the perceived risk of intentional fires were rated more moderately. A full breakdown of item-level results is reserved for a forthcoming, larger-scale study currently in preparation.

Beyond these structured ratings, thematic coding of the experts' open-ended responses identified a small number of recurring, cross-cutting barrier and driver themes shaping participation outcomes across the provinces surveyed (Figure 1).

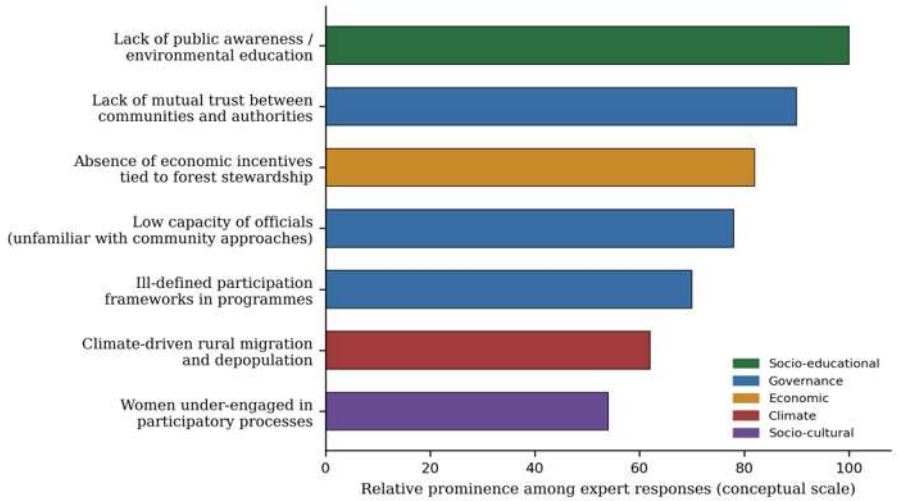


Figure 1. Conceptual ranking of barrier themes derived from expert survey responses

Note. Bars illustrate the relative prominence of barrier themes identified by respondents.

Source: Authors' own elaboration based on expert survey responses.

Gaps in public awareness, communication, and mutual trust between communities and natural-resource authorities emerged as the most prominent cross-cutting barrier, ahead of weak economic and livelihood incentives, top-down and insufficiently tailored programme design, institutional friction and land-tenure ambiguity, and a smaller cluster of more localised concerns relating to budget constraints, climate-driven migration and gender-differentiated participation. A detailed, province-level breakdown of these qualitative patterns is likewise reserved for the forthcoming larger study.

These general patterns are broadly consistent with, and help to contextualise within, the wider comparative literature on participation in dryland and forest-restoration programmes. The centrality of awareness and trust echoes Jafari et al. (2018), who found, in a single Iranian case study, that local communities' awareness had the greatest remaining distance to sustainable forest-management targets of any criterion examined; the present survey suggests that this is not an isolated finding but a pattern that recurs across a wider range of Iranian dryland contexts. It also mirrors evidence from Tanzania, where Luswaga and Nuppenau (2020) identified trust in local institutions, alongside training attendance, as a significant

predictor of participation intensity, and the broader conclusion of ShaikhKhatibi et al. (2021) that public awareness and knowledge are consistently linked to more effective engagement in environmental and climate policy more generally.

The secondary themes identified here also find clear parallels elsewhere. The salience of economic and livelihood incentives corresponds to Yewendwesen et al. (2025), who found perceived economic incentives to be a significant positive predictor of participation in Ethiopian collective forest management, to Mganga et al. (2015), whose Kenyan findings show that land-management technologies are adopted in proportion to their perceived livelihood relevance rather than their technical merit alone, and to Duan and Wu (2025), who found that Chinese farmers' willingness to sustain afforestation under the Grain-for-Green programme depended more on perceived economic benefit and household circumstances than on the programme's stated ecological objectives. The concern raised here about top-down, insufficiently tailored programme design is consistent with Höhl et al. (2020), whose global review identifies the absence of genuine local decision-making authority as the single most consistent driver of forest-landscape-restoration failure, and with Zhu et al. (2025), whose analysis of Africa's Great Green Wall similarly attributes limited on-the-ground impact to a gap between symbolic, donor-driven commitments and the more mundane, locally meaningful benefits that actually sustain community engagement. Finally, the institutional friction and land-tenure ambiguity reported qualitatively by respondents resonates with Huber et al. (2023), whose systematic case survey of protected-area governance found that the quality not merely the existence of participatory arrangements was what distinguished favourable from unfavourable outcomes; with Hernandez-Montilla et al. (2026), who show that even Mexico's relatively mature community-forestry framework still lacks concrete mechanisms for translating participatory principles into practice; and with Nagahama et al. (2022), who found that even where community participation in activities was well established, participation in actual decision-making, particularly among women, remained comparatively weak.

Taken as a whole, these findings carry a practical implication for how international restoration commitments are translated into national and provincial programmes. As noted in the Introduction, global pledges made under frameworks such as the Bonn Challenge and the UN Decade on Ecosystem Restoration are, in Stanturf et al.'s (2019) terms, easier to set than to deliver, precisely because delivery depends on social conditions, such as awareness, trust, and perceived relevance, that are rarely specified in the pledges themselves. Read against that backdrop, the present findings suggest that dryland afforestation policy in Iran, and potentially in comparable dryland contexts elsewhere, would benefit from building awareness-raising and trust-building mechanisms directly into programme design and budgeting, rather than treating them as secondary to the technical and financial components of restoration planning.

Conclusions

These results suggest that restoring dryland landscapes sustainably requires, before all else, restoring the social and communicative infrastructure that surrounds them. Across the provinces surveyed, gaps in public awareness, communication, and mutual trust between communities and natural-resource authorities emerged as the most prominent barrier to

participation, ahead of economic incentives, programme design, and institutional friction, a pattern that closely parallels independent evidence from Iran and from comparable dryland and forest-restoration contexts internationally. This suggests that awareness- and trust-building strategies are not merely a local remedy but a broadly transferable precondition for participatory restoration success. Afforestation programmes that treat awareness-raising and transparent, two-way communication as first-order design priorities alongside, rather than instead of, economic incentives and locally tailored governance arrangements are accordingly more likely to achieve durable community engagement and, ultimately, durable ecological outcomes.

In policy and management terms, this points toward a small number of practical priorities: investing in sustained, locally delivered environmental-education and extension activities rather than one-off awareness campaigns; embedding transparent, two-way communication channels between forestry authorities and communities from the earliest planning stages of a programme, rather than after design decisions have already been made; and pairing any economic incentive scheme with parallel efforts to build institutional trust, since incentives designed without trust appear, on the evidence reviewed here, to be considerably less durable. None of these priorities substitutes for adequate financing, secure land tenure, or sound silvicultural design; rather, the findings suggest that they are necessary complements to them, and are too often treated as an afterthought in programme budgets and timelines. Because the underlying evidence is exploratory and based on a small panel of expert perspectives, these conclusions should be treated as preliminary and practitioner-grounded rather than statistically definitive. They are intended to inform policy discussion and to lay the groundwork for a larger, stratified study, currently in preparation, that will test these patterns across a broader and more representative sample of experts and communities.

References

- Azadi, H., Samari, D., Zarafshani, K., Hosseininia, G., & Witlox, F. (2013). Sustainable forest management in Iran: A factor analysis. *Sustainability Science*. 8(4): 543–551. https://doi.org/10.1007/s11625-012-0190-4
- Duan, P., & Wu, K. (2025). Afforestation through sand control: Farmer participation under China's new round of Grain-for-Green compensation policy. *Agriculture*. 15(7): 671. https://doi.org/10.3390/agriculture15070671
- Hernandez-Montilla, M., Pritchard, R., Foster, T., & Oldekop, J. A. (2026). Mapping the rights-implementation gap in Forest Landscape Restoration: Evidence from Mexico. *Restoration Ecology*. 34: e70351. https://doi.org/10.1111/rec.70351
- Höhl, M., Ahimbisibwe, V., Stanturf, J. A., Elsasser, P., Kleine, M., & Bolte, A. (2020). Forest landscape restoration—what generates failure and success? *Forests*. 11(9): 938. https://doi.org/10.3390/f11090938
- Huang, J., Li, Y., Fu, C., Chen, F., Fu, Q., Dai, A., Shinoda, M., Ma, Z., Guo, W., Li, Z., Zhang, L., Liu, Y., Yu, H., He, Y., Xie, Y., Guan, X., Ji, M., Lin, L., Wang, S., ... Wang, G. (2017). Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics*. 55(3): 719–778. https://doi.org/10.1002/2016RG000550
- Huber, J. M., Newig, J., & Loos, J. (2023). Participation in protected area governance: A systematic case survey of the evidence on ecological and social outcomes. *Journal of Environmental Management*. 336: 117593.

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117593

- Jafari, A., Sadeghi Kaji, H., Azadi, H., Gebrehiwot, K., Aghamir, F., & Van Passel, S. (2018). Assessing the sustainability of community forest management: A case study from Iran. *Forest Policy and Economics*. 96: 1–8. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.08.001
- Luswaga, H., & Nuppenau, E.-A. (2020). Participatory forest management in West Usambara, Tanzania: What is the community perception on success? *Sustainability*. 12(3): 921. https://doi.org/10.3390/su12030921
- Mganga, K. Z., Musimba, N. K. R., & Nyariki, D. M. (2015). Combining sustainable land management technologies to combat land degradation and improve rural livelihoods in semi-arid lands in Kenya. *Environmental Management*. 56(6): 1538–1548. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0579-9
- Nagahama, K., Tachibana, S., & Rakwal, R. (2022). Critical aspects of people's participation in community-based forest management from the case of Van Panchayat in Indian Himalaya. *Forests*. 13(10): 1667. https://doi.org/10.3390/f13101667
- Scholes, R. J. (2020). The future of semi-arid regions: A weak fabric unravels. *Climate*. 8(3): 43. https://doi.org/10.3390/cli8030043
- ShaikhKhatibi, F., Dedekorkut-Howes, A., Howes, M., & Torabi, E. (2021). Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies? *Discover Sustainability*. 2: 18. https://doi.org/10.1007/s43621-021-00024-z
- Stanturf, J. A., Kleine, M., Mansourian, S., Parrotta, J., Madsen, P., Kant, P., Burns, J., & Bolte, A. (2019). Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: A systematic approach. *Annals of Forest Science*. 76: 50. https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z
- Yewendwesen, M., Beyene, F., Haji, J., & Gezahegn, M. (2025). Determinants of farm households' participation in collective forest management: The case of Chilimo Gaji Forest, central highlands of Ethiopia. *Trees, Forests and People*. 20: 100855. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100855
- Zhu, A. L., Ndiaye, A., Dahm, R., Mauclaire, M., & Boas, I. (2025). Africa's Great Green Mirage? Assessing the disconnect between global finance and local implementation in Africa's Great Green Wall. *Land Use Policy*. 157: 107670. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107670

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Diversificación productiva mediante la acuicultura comunitaria: efectos sobre el desarrollo local en una comunidad costera mexicana

Ángela Maleny Salto Morales[1], César Salto Morales[2], Juan Narciso Ojeda Cárdenas[3]

Resumen

La dependencia de la pesca artesanal como principal actividad económica ha incrementado la vulnerabilidad de numerosas comunidades costeras frente al cambio climático, la degradación ambiental y las perturbaciones socioeconómicas. En este contexto, la diversificación productiva representa una alternativa para fortalecer las capacidades locales y promover procesos de desarrollo territorial más resilientes. El objetivo de esta investigación es analizar la contribución de la acuicultura comunitaria como estrategia de diversificación productiva y su incidencia en el desarrollo local en la comunidad de Plan de Los Amates, en Acapulco de Juárez, Guerrero (2018–2025). La investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, integrando revisión documental, observación participante y no participante, entrevistas semiestructuradas, encuestas, cartografía social y análisis espacial mediante sistemas de información geográfica. Los resultados muestran que la acuicultura comunitaria ha favorecido la generación de ingresos complementarios, la diversificación de los medios de vida y el fortalecimiento de la organización comunitaria, al tiempo que impulsó la cooperación, el aprendizaje colectivo y el aprovechamiento sostenible de los recursos locales. Asimismo, la actividad permitió incrementar la capacidad adaptativa de la comunidad frente a la pandemia por COVID-19, los huracanes Otis y John, y la mortandad masiva de peces, reduciendo la dependencia de la pesca artesanal. Se concluye que la acuicultura comunitaria constituye una estrategia socioterritorial que dinamiza el desarrollo local al fortalecer las capacidades colectivas, diversificar la base económica y favorecer la resiliencia territorial, aportando evidencia para el diseño de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible de las comunidades costeras.

Palabras clave: Acuicultura comunitaria, Diversificación productiva, Desarrollo local, Resiliencia territorial, Comunidades costeras

Abstract

The dependence on artisanal fishing as the primary economic activity has increased the vulnerability of many coastal communities to climate change, environmental degradation, and socioeconomic disturbances. In this context, productive diversification represents an alternative for strengthening local capacities and promoting more resilient territorial development processes. The objective of this research is to analyze the contribution of

[1] Centro de Investigación y Posgrado en estudios socioterritoriales (CIPES-Chilpancingo). Doctorado en Estudios Sociales y Territoriales. Calle 16 de septiembre No. 42, Barrio de San Mateo, C.P. 39022, Chilpancingo, Guerrero.07133887@uagro.mx. Mexicana.

[2] Centro de Investigación y Posgrado en estudios socioterritoriales (CIPES-Chilpancingo). Doctorado en Estudios Sociales y Territoriales. Calle 16 de septiembre No. 42, Barrio de San Mateo, C.P. 39022, Chilpancingo, Guerrero. 10079111@uagro.mx. Mexicano

[3] Universidad del Mar campus Huatulco, Km 250, México 200, 70989 Bahías de Huatulco, Oaxaca, juanojeda3150@gmail.com. Peruano.

community aquaculture as a productive diversification strategy and its influence on the local development of the community of Plan de Los Amates, Acapulco de Juárez, Guerrero, during the period 2018–2025. The study employed a mixed-methods approach, integrating documentary review, participant and non-participant observation, semi-structured interviews, surveys, participatory social mapping, and spatial analysis using Geographic Information Systems (GIS). The findings indicate that community aquaculture has contributed to the generation of complementary income, the diversification of livelihoods, and the strengthening of community organization, while fostering cooperation, collective learning, and the sustainable use of local resources. Furthermore, the activity enhanced the community's adaptive capacity in response to the COVID-19 pandemic, Hurricanes Otis and John, and the mass fish mortality event, thereby reducing dependence on artisanal fishing. It is concluded that community aquaculture constitutes a socio-territorial strategy that promotes local development by strengthening collective capacities, diversifying the local economic base, and enhancing territorial resilience. These findings provide empirical evidence to support the design of public policies aimed at the sustainable development of coastal communities.
Keywords: Community aquaculture; Productive diversification; Local development; Territorial resilience; Coastal communities.

Introducción

Durante las últimas décadas, las comunidades costeras han enfrentado profundas transformaciones derivadas del cambio climático, la degradación de los ecosistemas, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y la creciente incertidumbre económica. Estos procesos han evidenciado la vulnerabilidad de los sistemas productivos sustentados exclusivamente en la pesca artesanal, actividad que históricamente ha constituido la principal fuente de ingresos y seguridad alimentaria para numerosas poblaciones ribereñas. Frente a este escenario, la diversificación productiva ha adquirido una importancia estratégica al ofrecer alternativas capaces de reducir la dependencia de una sola actividad económica y fortalecer las capacidades de adaptación de los territorios. En este contexto, la acuicultura comunitaria surge como una alternativa que trasciende su dimensión productiva.

Además de incrementar la disponibilidad de alimentos y generar ingresos complementarios, puede fortalecer la organización comunitaria, promover el aprendizaje colectivo, estimular la cooperación entre actores locales y ampliar las oportunidades de desarrollo territorial. Sin embargo, gran parte de la literatura continúa abordando la acuicultura desde perspectivas técnicas, biológicas, económicas o ambientales, privilegiando el análisis de la productividad y la eficiencia, mientras que los procesos socioterritoriales mediante los cuales esta actividad contribuye al desarrollo local permanecen insuficientemente explorados. Plan de Los Amates, constituye un caso representativo para analizar estas dinámicas. Entre 2018 y 2025, la comunidad enfrentó perturbaciones de gran magnitud, entre ellas la pandemia por COVID-

19, los huracanes Otis y John, así como la mortandad masiva de peces, eventos que afectaron las actividades productivas tradicionales y evidenciaron la necesidad de fortalecer estrategias de diversificación económica. En este contexto, la acuicultura comunitaria adquirió un papel relevante como mecanismo para complementar los ingresos familiares, reducir la dependencia de la pesca artesanal y fortalecer las capacidades de adaptación de la población. El presente estudio tiene como objetivo analizar la contribución de la acuicultura comunitaria como estrategia de diversificación productiva y su incidencia en el desarrollo local de Plan de Los Amates. Se plantea que sus efectos trascienden el ámbito económico, al favorecer procesos de organización social, cooperación, fortalecimiento de las capacidades colectivas y resiliencia territorial. Desde esta perspectiva, la investigación aporta evidencia empírica y elementos analíticos para comprender el papel de la acuicultura comunitaria en la construcción de trayectorias de desarrollo local más resilientes y para orientar el diseño de políticas públicas dirigidas a las comunidades costeras.

Diversificación productiva y desarrollo local: fundamentos conceptuales

La diversificación productiva constituye una estrategia socioterritorial para fortalecer la capacidad de adaptación de las comunidades frente a la incertidumbre económica, ambiental y climática. No se limita a incorporar nuevas actividades o fuentes de ingreso, sino que implica reorganizar recursos, conocimientos, instituciones y redes de cooperación para reducir riesgos y construir medios de vida resilientes. Desde esta perspectiva, el territorio es un sistema histórico de relaciones sociales, productivas, ambientales y de poder, y no únicamente el espacio físico donde se desarrolla la producción (Boisier, 2005; Vázquez Barquero, 2007; Díez y Riffo, 2025). En las comunidades costeras, esta diversificación resulta especialmente relevante debido a la dependencia de la pesca artesanal y a su exposición a la variabilidad climática, la contaminación, la degradación ambiental, la sobreexplotación y la inestabilidad de los mercados. La combinación de pesca, acuicultura de pequeña escala y circuitos comerciales próximos puede distribuir los riesgos y fortalecer la seguridad alimentaria, aunque sus sinergias y tensiones dependen del acceso a los recursos, los mercados y la gestión de los riesgos (Mansfield et al., 2024). Sin embargo, la diversidad productiva no elimina por sí misma la vulnerabilidad, pues sus resultados dependen también del acceso al financiamiento, la infraestructura, los insumos, los mercados y el respaldo institucional (Manlosa et al., 2021).

En este contexto, la acuicultura comunitaria puede complementar la pesca artesanal y ampliar las alternativas económicas de las familias. A diferencia de los modelos intensivos orientados exclusivamente a la rentabilidad, articula objetivos económicos, sociales, alimentarios y territoriales mediante la participación de los productores, el intercambio de conocimientos, la cooperación y la gestión compartida de los recursos acuáticos. Aunque la FAO (2024) reconoce la creciente contribución de la acuicultura a la alimentación, el empleo y los medios de vida rurales, su expansión no produce automáticamente desarrollo territorial. Cuando se implementa sin participación comunitaria, regulación ambiental ni distribución equitativa de los beneficios, puede generar contaminación, conflictos por el agua, concentración de recursos y desplazamiento de prácticas tradicionales.

Castillo et al. (2025, 2026) advierten que los proyectos acuícolas verticales y ajenos a las características territoriales pueden profundizar desigualdades y generar nuevas dependencias. Por ello, la acuicultura no debe sustituir mecánicamente a la pesca artesanal, sino integrarse de manera complementaria, reconociendo las instituciones locales, las tradiciones culturales y la participación efectiva de los productores. Desde la perspectiva de la resiliencia, las comunidades no solo deben absorber las perturbaciones, sino también adaptarse y transformar las condiciones que producen vulnerabilidad (Holling, 1973; Berkes y Folke, 1998; Walker et al., 2004). En este proceso, las redes sociales, la confianza y la cooperación constituyen recursos fundamentales para movilizar información y apoyos durante las crisis (Kriegl et al., 2022). No obstante, el capital social también puede reproducir exclusiones y desigualdades de género o liderazgo; por ello, es necesario analizar quién participa, quién decide y cómo se distribuyen los beneficios y riesgos (Bourdieu, 1986; Coleman, 1988; Putnam, 1993).

Asimismo, la sostenibilidad de los proyectos depende de una gobernanza basada en reglas legítimas, vigilancia, participación y mecanismos de resolución de conflictos (Ostrom, 1990). En los sistemas acuícolas, esta gobernanza también debe considerar la calidad y disponibilidad del agua, el espacio, la infraestructura, el conocimiento y las reglas institucionales que regulan estos bienes compartidos (Partelow et al., 2022). En Plan de Los Amates, la acuicultura comunitaria complementa la pesca artesanal y amplía los medios de vida disponibles frente a las perturbaciones experimentadas entre 2018 y 2025, como la pandemia, los huracanes, el calentamiento del agua, la contaminación y la mortandad de peces. En consecuencia, su contribución al desarrollo local no debe evaluarse únicamente mediante la producción, la rentabilidad o el empleo. También deben considerarse la distribución de los beneficios, la participación de mujeres y jóvenes, el acceso al financiamiento, la conservación de los conocimientos locales, la gobernanza ambiental y la capacidad de respuesta ante eventos extremos. La acuicultura comunitaria fortalece la resiliencia cuando se sustenta en la equidad, la organización colectiva, el aprendizaje, la sostenibilidad ambiental y la articulación institucional; por ello, representa no solo una alternativa económica, sino un proceso de construcción de capacidades y transformación territorial.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, sustentado en el paradigma pragmático y en la perspectiva socioterritorial, con el propósito de comprender la contribución de la acuicultura comunitaria a la diversificación productiva y al desarrollo local en la comunidad de Plan de Los Amates, Acapulco de Juárez, Guerrero, durante el periodo 2018–2025. La elección de este enfoque respondió a la necesidad de integrar evidencia cuantitativa y cualitativa para analizar un fenómeno complejo en el que convergen dimensiones económicas, sociales, ambientales, culturales e institucionales. Esta estrategia permitió superar las limitaciones de los enfoques exclusivamente cuantitativos o cualitativos, favoreciendo una comprensión integral de las dinámicas territoriales que configuran la actividad acuícola. Desde el paradigma pragmático, la investigación reconoce que la realidad social no puede explicarse mediante un único método, sino que requiere la articulación de

diferentes estrategias de producción de información, seleccionadas en función del problema de investigación (Creswell & Plano Clark, 2018). En este sentido, la perspectiva socioterritorial constituyó el eje articulador del estudio al concebir el territorio como una construcción social e histórica donde interactúan actores, instituciones, recursos naturales, relaciones de poder y estrategias productivas. Bajo esta lógica, la acuicultura comunitaria fue analizada no únicamente como una actividad económica, sino como un proceso territorial capaz de fortalecer capacidades colectivas, reorganizar los medios de vida y contribuir al desarrollo local.

El estudio adoptó el diseño de estudio de caso, por considerar que esta estrategia metodológica permite comprender en profundidad fenómenos contemporáneos dentro de su contexto real (Yin, 2018). La comunidad de Plan de Los Amates fue seleccionada debido a que representa un territorio donde convergen procesos de pesca artesanal, acuicultura comunitaria y una elevada exposición a perturbaciones ambientales y socioeconómicas, entre ellas la pandemia por COVID-19, los huracanes Otis y John, y la mortandad masiva de peces. Estas condiciones ofrecieron un escenario idóneo para analizar cómo la diversificación productiva incide en la reorganización territorial y en la construcción de capacidades adaptativas.

La información empírica se obtuvo mediante la integración de diversas técnicas de investigación. En primer lugar, se realizó una revisión documental de literatura científica, estadísticas oficiales, programas gubernamentales y documentos institucionales relacionados con la acuicultura, el desarrollo territorial y la comunidad de estudio. Esta etapa permitió contextualizar el fenómeno, identificar vacíos de conocimiento y construir el marco analítico que orientó la investigación.

Posteriormente, se desarrolló observación no participante mediante recorridos sistemáticos en la comunidad para registrar las condiciones físicas del territorio, la infraestructura productiva, los servicios públicos, las actividades económicas y las transformaciones del paisaje. De manera complementaria, se llevó a cabo observación participante, incorporándose temporalmente a las actividades cotidianas de pescadores y acuicultores con el propósito de comprender los procesos organizativos, las prácticas productivas y las relaciones de cooperación que difícilmente pueden identificarse mediante técnicas exclusivamente declarativas. La combinación de ambas modalidades permitió contrastar los discursos de los actores con las prácticas observadas en el territorio.

La investigación también incorporó entrevistas semiestructuradas dirigidas a productores acuícolas, pescadores, representantes de organizaciones locales y actores institucionales.
Esta técnica facilitó la recuperación de narrativas relacionadas con la evolución de la actividad acuícola, las estrategias de diversificación económica, las formas de organización

comunitaria y las respuestas construidas frente a las perturbaciones recientes. Paralelamente, se aplicaron encuestas a habitantes de la comunidad con el propósito de obtener información cuantitativa sobre las características socioeconómicas de los hogares, la participación en actividades productivas, la percepción sobre la acuicultura y las condiciones del desarrollo local.

Como parte de la estrategia metodológica se desarrolló un proceso de cartografía social participativa, mediante el cual los habitantes identificaron colectivamente los espacios de producción, las áreas con problemas ambientales, las zonas vulnerables y los principales cambios ocurridos en el territorio durante el periodo de estudio. Esta técnica permitió incorporar el conocimiento local al análisis territorial y comprender cómo los actores representan y resignifican el espacio que habitan, aportando elementos fundamentales para interpretar las relaciones entre territorio, actividad productiva y desarrollo comunitario.
Finalmente, la información obtenida fue complementada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG**)**, que permitieron integrar información espacial, representar la distribución de las actividades acuícolas y analizar la relación entre las condiciones ambientales y los procesos productivos.

La articulación entre cartografía social y análisis geoespacial fortaleció la interpretación de las dinámicas territoriales desde una perspectiva multiescalar y facilitó la triangulación entre información cualitativa y cuantitativa. El análisis de la información se realizó mediante un proceso de triangulación metodológica, integrando los hallazgos provenientes de las diferentes técnicas de investigación para identificar convergencias, contrastes y complementariedades. Esta estrategia incrementó la consistencia analítica del estudio y permitió explicar la contribución de la acuicultura comunitaria más allá de sus efectos económicos inmediatos. En consecuencia, la investigación demuestra que la diversificación productiva constituye un proceso socioterritorial que fortalece la organización comunitaria, amplía las capacidades colectivas y favorece trayectorias de desarrollo local más resilientes frente a escenarios de incertidumbre. Esta aproximación metodológica resulta coherente con el objetivo general de la investigación, orientado a explicar los mecanismos mediante los cuales la acuicultura comunitaria fortalece las capacidades colectivas, favorece la resiliencia territorial y contribuye a la disminución de la vulnerabilidad social.

La acuicultura comunitaria como estrategia de diversificación productiva

La diversificación productiva constituye una estrategia fundamental para reducir la dependencia de actividades económicas altamente vulnerables a las fluctuaciones ambientales, climáticas y de mercado. En comunidades como Plan de Los Amates, donde la pesca artesanal ha sido históricamente la principal fuente de ingresos, la incorporación de la acuicultura comunitaria ha permitido ampliar los medios de vida y fortalecer la capacidad de adaptación frente a escenarios de incertidumbre. Durante el periodo de estudio, la

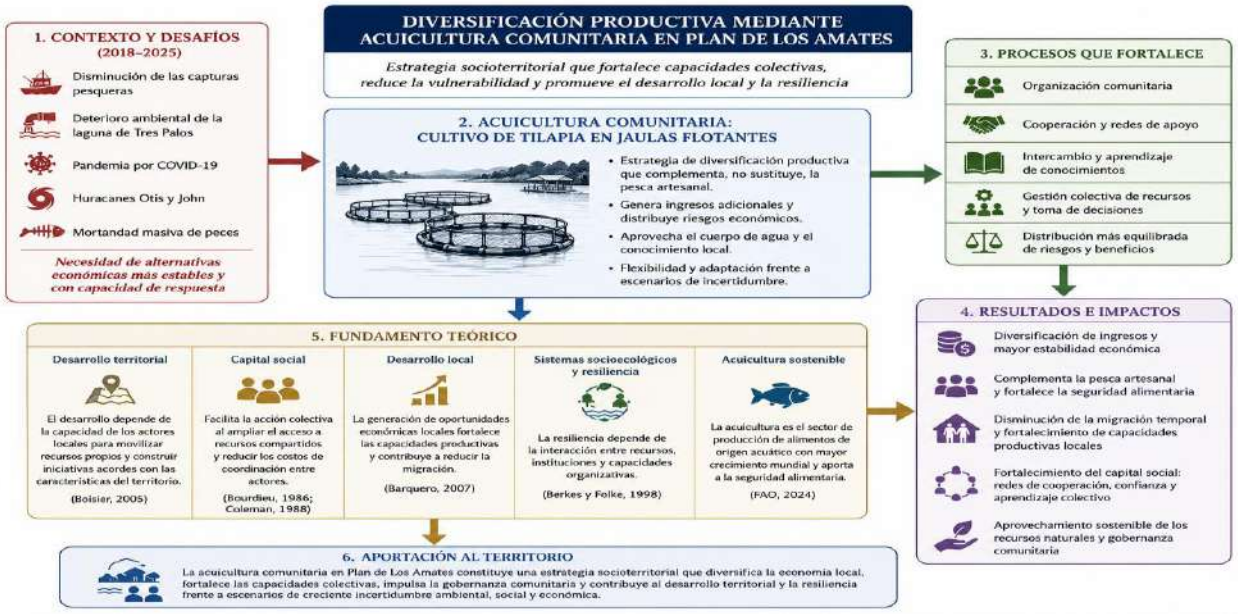
disminución de las capturas pesqueras, el deterioro ambiental de la laguna de Tres Palos, la pandemia por COVID-19, los huracanes Otis y John, así como la mortandad masiva de peces, evidenciaron la necesidad de desarrollar alternativas económicas con mayor estabilidad y capacidad de respuesta.

En este contexto, el cultivo de tilapia en jaulas flotantes se consolidó como una estrategia de diversificación productiva que complementó, sin sustituir, la pesca artesanal. Más allá de generar ingresos adicionales, la acuicultura fortaleció procesos de organización comunitaria, cooperación e intercambio de conocimientos entre productores, permitiendo una gestión colectiva de los recursos y una distribución más equilibrada de los riesgos económicos.

Desde la perspectiva del desarrollo territorial, esta experiencia confirma el planteamiento de Boisier (2005), quien sostiene que el desarrollo depende de la capacidad de los actores locales para movilizar recursos propios y construir iniciativas productivas acordes con las características del territorio (Cuadro 1).

Los resultados muestran que la instalación y operación de las jaulas flotantes fortaleció el capital social de la comunidad mediante redes de cooperación, confianza y aprendizaje colectivo. En este sentido, Bourdieu (1986) y Coleman (1988) señalan que el capital social facilita la acción colectiva al ampliar el acceso a recursos compartidos y reducir los costos de coordinación entre los actores. Asimismo, la acuicultura contribuyó a disminuir la migración temporal al generar oportunidades económicas dentro de la comunidad, fortaleciendo las capacidades productivas locales, como plantea Vázquez Vázquez Barquero (2007).

Cuadro 1. Diversificación productiva mediante la acuicultura comunitaria de Plan de Los Amates



Fuente: elaboración propia, 2026

La FAO (2024) reconoce que la acuicultura es el sector de producción de alimentos de origen acuático con mayor crecimiento mundial; sin embargo, el caso de Plan de Los Amates demuestra que sus aportaciones trascienden la producción y la seguridad alimentaria. La actividad fortaleció la cohesión social, promovió la gobernanza comunitaria y favoreció el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. Desde la perspectiva de los sistemas socioecológicos, Berkes y Folke (1998) sostienen que la resiliencia depende de la interacción entre recursos, instituciones y capacidades organizativas. En consecuencia, la acuicultura comunitaria constituye una estrategia socioterritorial que diversifica la economía local, fortalece las capacidades colectivas e impulsa procesos de desarrollo territorial y resiliencia frente a escenarios de creciente incertidumbre.

Impactos de la acuicultura sobre el desarrollo local

En Plan de Los Amates, la acuicultura comunitaria modificó gradualmente la estructura económica local al complementar la pesca artesanal con una actividad de mayor estabilidad productiva. Los resultados muestran que esta diversificación permitió ampliar las fuentes de ingreso, reducir la dependencia de una sola actividad económica y fortalecer la economía familiar en un contexto marcado por la disminución de las capturas pesqueras y el deterioro ambiental de la laguna de Tres Palos. Sin embargo, los beneficios observados trascienden la dimensión económica. La construcción, mantenimiento y operación de las jaulas flotantes requirió formas permanentes de organización entre productores, fortaleciendo la cooperación, la confianza y el intercambio de conocimientos. En este sentido, Putnam (1993) afirma que el capital social constituye un elemento fundamental para el desarrollo porque facilita la coordinación entre actores y fortalece las instituciones comunitarias.

Asimismo, la actividad acuícola favoreció la generación de capacidades colectivas mediante procesos continuos de aprendizaje. Los productores adquirieron conocimientos relacionados con el manejo de organismos acuáticos, la administración de las unidades de producción, la prevención de enfermedades y la comercialización, capacidades que fueron construidas tanto a través de programas de capacitación como de la experiencia cotidiana y el intercambio de saberes entre los propios acuicultores. Argyris y Schön (1978) sostienen que el aprendizaje organizacional fortalece la capacidad de las organizaciones para responder a problemas complejos y adaptarse a nuevas condiciones, aspecto que se refleja en la evolución de la actividad acuícola en la comunidad (Cuadro 2.)

Otro hallazgo relevante es el fortalecimiento de la gobernanza territorial. La utilización compartida de la laguna como espacio productivo exigió acuerdos para regular el uso del agua, la ubicación de las jaulas flotantes, la vigilancia de las unidades de producción y la resolución de conflictos entre productores. Estos procesos coinciden con lo planteado por Ostrom (1990), quien demuestra que la gestión sostenible de los recursos de uso común depende de la existencia de reglas compartidas, cooperación e instituciones locales sólidas.

Cuadro 2. Actividades económicas revitalizadas por la acuicultura

Sector	Actividades económicas	Productos
Primario	Agricultura	Maíz, sandía, mango, coco, jamaica, cacahuate y plantas ornamentales
	Ganadería	Ganado en pie, cría de vacas, cerdos y aves de corral
Secundario	Palma de coco	Sombreros, cestas, cortinas, tapetes y bolsas
	Cerámica y barro	Jarrones, platos, vasos, ollas, objetos decorativos, etc.
	Conchas, piedras marinas y caracoles	Objetos decorativos
	Tamarindo y coco	Dulces tradicionales
Terciario	Tiendas panaderías, carpinterías, talleres, fondas y restaurantes	Venta de bienes y servicios

Fuente: elaborado con datos recopilados en la comunidad, (2025).

En consecuencia, la acuicultura comunitaria fortaleció no solo la economía local, sino también los mecanismos de coordinación necesarios para la gestión sostenible del territorio. Los resultados también evidencian que la acuicultura desempeñó un papel estratégico frente a las perturbaciones ocurridas entre 2018 y 2025. Durante la pandemia por COVID-19, los

huracanes Otis y John, así como la mortandad masiva de peces, la diversificación productiva permitió mantener fuentes alternativas de ingreso y reorganizar las estrategias económicas de numerosas familias. Berkes y Ross (2013) sostienen que la resiliencia comunitaria depende de la capacidad de organización, aprendizaje y acción colectiva para enfrentar situaciones de crisis. La experiencia de Plan de Los Amates confirma este planteamiento, al demostrar que la acuicultura comunitaria fortaleció la capacidad adaptativa de la comunidad y favoreció la continuidad de los medios de vida en escenarios de alta incertidumbre.

Diversificación productiva y resiliencia territorial

impulsaron procesos de reorganización productiva y fortalecimiento de las capacidades locales, en los cuales la acuicultura comunitaria desempeñó un papel central.

Los resultados de la investigación muestran que la diversificación productiva permitió reducir parcialmente la exposición económica de los hogares al incorporar la acuicultura como una fuente complementaria de ingresos. Esta estrategia no sustituyó la pesca artesanal, sino que amplió las opciones productivas disponibles para las familias, disminuyendo el riesgo asociado a la dependencia de una sola actividad económica. Desde la perspectiva de Holling (1973), esta capacidad para mantener funciones esenciales mediante la reorganización de las estrategias productivas constituye uno de los principales atributos de los sistemas resilientes. En consecuencia, la resiliencia observada en Plan de Los Amates no se explica por la ausencia de impactos, sino por la capacidad de la comunidad para adaptar sus medios de vida frente a condiciones cambiantes.

La contribución de la acuicultura comunitaria a la resiliencia territorial también se manifiesta en el fortalecimiento de las capacidades colectivas. La producción en jaulas flotantes requiere procesos permanentes de cooperación para la construcción y mantenimiento de la infraestructura, la adquisición de insumos, el monitoreo de la producción y la comercialización del pescado. Estas actividades favorecieron la consolidación de redes de colaboración, el intercambio de conocimientos y la construcción de confianza entre los productores. Berkes y Ross (2013) señalan que la resiliencia comunitaria depende de factores como el liderazgo local, el capital social, el aprendizaje colectivo y la capacidad de organización, elementos que permiten a las comunidades responder de manera coordinada frente a situaciones de crisis.

En el caso de Plan de Los Amates, estas capacidades fueron fortalecidas mediante la experiencia acumulada por los acuicultores y la cooperación desarrollada en torno a la actividad productiva.

Otro aspecto relevante es la capacidad de aprendizaje social generada durante las distintas perturbaciones. La experiencia derivada de la pandemia, los huracanes y los problemas

ambientales asociados a la laguna permitió que los productores modificaran prácticas de manejo, reforzaran la infraestructura de las jaulas flotantes, diversificaran estrategias de comercialización y desarrollaran mecanismos colectivos para enfrentar nuevos escenarios de riesgo. Pahl-Wostl (2009) sostiene que el aprendizaje social constituye un componente fundamental de la gobernanza adaptativa, ya que permite transformar el conocimiento individual en capacidades colectivas orientadas a mejorar la gestión de los recursos y la toma de decisiones. Desde esta perspectiva, la resiliencia territorial no es una condición preexistente, sino un proceso construido mediante la experiencia acumulada y la capacidad de adaptación de los actores locales.

Asimismo, la investigación evidencia que la resiliencia territorial se encuentra estrechamente vinculada con la gobernanza comunitaria. La organización de los productores para gestionar de manera colectiva el uso de la laguna, establecer acuerdos sobre la ubicación de las unidades de cultivo y coordinar acciones frente a contingencias ambientales fortaleció las instituciones locales encargadas de regular el aprovechamiento de los recursos comunes. Estos hallazgos coinciden con Ostrom (1990), quien demuestra que la sostenibilidad de los recursos de uso común depende de la existencia de reglas compartidas, mecanismos de cooperación y procesos de vigilancia construidos por los propios usuarios. En consecuencia, la resiliencia observada en Plan de Los Amates no deriva exclusivamente de la diversificación económica, sino también de la consolidación de formas de gobernanza que fortalecen la capacidad de respuesta colectiva.

Desde una perspectiva socioterritorial, estos resultados permiten afirmar que la diversificación productiva constituye un mecanismo de transformación adaptativa que fortalece simultáneamente la economía local, el capital social, la organización comunitaria y la gobernanza del territorio. La resiliencia no emerge como una característica inherente de la comunidad, sino como el resultado de la interacción entre recursos naturales, capacidades organizativas, aprendizaje colectivo e instituciones locales que permiten responder de manera flexible frente a escenarios de incertidumbre. Esta interpretación coincide con la propuesta analítica desarrollada en la presente investigación, que concibe la acuicultura comunitaria como una estrategia socioterritorial capaz de fortalecer las capacidades colectivas, incrementar la resiliencia territorial y reducir la vulnerabilidad social mediante la diversificación de los medios de vida y la reorganización de las relaciones entre comunidad, territorio y actividad productiva.

Resultados y discusión

Los resultados de la investigación evidencian que la acuicultura comunitaria ha contribuido de manera significativa a la diversificación productiva y al fortalecimiento del desarrollo territorial en la comunidad de Plan de Los Amates. A diferencia de los enfoques que evalúan la actividad acuícola únicamente a partir de indicadores de producción o rentabilidad, la

evidencia empírica demuestra que sus principales aportaciones se manifiestan en la reorganización de las estrategias de subsistencia, el fortalecimiento de las capacidades colectivas y la ampliación de las oportunidades de desarrollo local. La incorporación del cultivo de tilapia en jaulas flotantes permitió complementar la pesca artesanal, reduciendo la dependencia económica de una actividad cada vez más afectada por la degradación ambiental, la disminución de las capturas y la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Esta diversificación favoreció una mayor estabilidad en los ingresos familiares y fortaleció la capacidad de respuesta de la comunidad frente a escenarios de incertidumbre.

Los hallazgos muestran que los beneficios de la acuicultura trascienden la dimensión económica. La producción comunitaria generó procesos de cooperación para la construcción y mantenimiento de las jaulas flotantes, la adquisición de insumos, la comercialización del producto y la gestión compartida del espacio lagunar. Estas prácticas fortalecieron las redes de confianza, el aprendizaje colectivo y la organización comunitaria, consolidando formas de acción colectiva indispensables para el desarrollo territorial. En este sentido, los resultados coinciden con la propuesta de Ostrom (1990), quien sostiene que la gestión sostenible de los recursos de uso común depende de la existencia de instituciones locales, reglas compartidas y mecanismos de cooperación construidos por los propios habitantes. Asimismo, respaldan los planteamientos de Putnam (1993), al evidenciar que el capital social constituye un recurso estratégico para impulsar procesos de desarrollo y fortalecer la gobernanza territorial.

Otro resultado relevante es que la acuicultura comunitaria incrementó la capacidad adaptativa de la población frente a las perturbaciones ocurridas entre 2018 y 2025.

La pandemia por COVID-19, los huracanes Otis y John y la mortandad masiva de peces representaron eventos que alteraron simultáneamente las condiciones económicas, ambientales y sociales de la comunidad. Sin embargo, lejos de generar únicamente procesos de deterioro, estos acontecimientos impulsaron nuevas formas de organización y cooperación que permitieron reorganizar las actividades productivas y mantener parcialmente los medios de vida de las familias. Este comportamiento confirma que la resiliencia territorial no depende exclusivamente de la disponibilidad de recursos naturales, sino de la capacidad de las comunidades para aprender, innovar y coordinar acciones colectivas frente a escenarios de crisis, tal como plantean Berkes y Ross (2013).

Desde una perspectiva analítica, los resultados cuestionan las interpretaciones lineales que asumen que el incremento de la producción conduce automáticamente al desarrollo local. La evidencia obtenida demuestra que la relación entre acuicultura y desarrollo está mediada por procesos de organización comunitaria, gobernanza, aprendizaje social y fortalecimiento de capacidades colectivas. En consecuencia, la diversificación productiva solo genera impactos sostenibles cuando se articula con instituciones locales sólidas y con mecanismos de

cooperación que permitan transformar una actividad económica en un proceso de desarrollo territorial.

Esta interpretación coincide con los planteamientos de Boisier (2005) y Vázquez Vázquez Barquero (2007), quienes sostienen que el desarrollo depende de la capacidad de los actores locales para movilizar recursos, construir consensos e impulsar estrategias endógenas de transformación.

En conjunto, la investigación aporta evidencia de que la acuicultura comunitaria constituye una estrategia socioterritorial capaz de fortalecer el desarrollo local más allá de su función productiva. Su principal contribución radica en la construcción de capacidades colectivas que favorecen la diversificación económica, la resiliencia territorial y la reducción de la vulnerabilidad social. Estos hallazgos amplían la discusión académica sobre el papel de la acuicultura en comunidades costeras y sugieren la necesidad de diseñar políticas públicas que incorporen enfoques territoriales, participativos e integrales, orientados no solo a incrementar la producción, sino también a fortalecer la organización comunitaria, la gobernanza y la capacidad adaptativa de los territorios.

Conclusiones

La presente investigación evidencia que la acuicultura comunitaria constituye una estrategia de diversificación productiva cuyos efectos trascienden el ámbito económico para incidir en el fortalecimiento del desarrollo territorial de la comunidad de Plan de Los Amates. La evidencia obtenida confirma que la incorporación del cultivo de tilapia en jaulas flotantes no reemplazó a la pesca artesanal, sino que la complementó mediante la ampliación de los medios de vida, la generación de ingresos adicionales y la reducción de la dependencia de una única actividad productiva. Sin embargo, su principal aportación radica en haber fortalecido procesos de organización comunitaria, cooperación y construcción de capacidades colectivas que incrementaron la capacidad de respuesta del territorio frente a escenarios de incertidumbre. Estos hallazgos respaldan el planteamiento central de la investigación, según el cual la diversificación productiva solo adquiere un carácter transformador cuando se articula con procesos sociales e institucionales que fortalecen la acción colectiva.

Asimismo, los resultados evidencian que el desarrollo territorial no puede explicarse exclusivamente mediante indicadores de crecimiento económico o productividad. En Plan de Los Amates, el desarrollo se construye a partir de la interacción entre los recursos naturales, las formas de organización comunitaria, el aprendizaje social y la gobernanza local. La experiencia analizada demuestra que la acuicultura comunitaria favoreció la consolidación de redes de cooperación, el intercambio de conocimientos y la gestión colectiva de los recursos, fortaleciendo las capacidades endógenas del territorio para enfrentar procesos de

cambio. En este sentido, la investigación coincide con las perspectivas territoriales que conciben el desarrollo como un proceso de construcción social sustentado en la movilización de recursos locales y en la capacidad de los actores para generar proyectos colectivos orientados al bienestar comunitario.

Otro aporte relevante consiste en demostrar que la resiliencia territorial no constituye una condición preexistente de las comunidades, sino una capacidad que se construye mediante la experiencia, el aprendizaje y la adaptación frente a las perturbaciones. La pandemia por COVID-19, los huracanes Otis y John y la mortandad masiva de peces representaron eventos que pusieron a prueba la estabilidad económica y social de la comunidad; sin embargo, también favorecieron procesos de reorganización productiva que permitieron fortalecer la cooperación y diversificar las estrategias de subsistencia. La acuicultura comunitaria desempeñó un papel fundamental en este proceso al ofrecer una alternativa productiva que redujo parcialmente la vulnerabilidad derivada de la dependencia de la pesca artesanal y fortaleció la capacidad adaptativa de la población.

Desde una perspectiva teórica, el estudio aporta evidencia para cuestionar los enfoques sectoriales que interpretan la acuicultura exclusivamente como una actividad orientada al incremento de la producción o la seguridad alimentaria. Los resultados muestran que sus impactos deben analizarse desde una perspectiva socioterritorial que incorpore dimensiones como la organización comunitaria, el capital social, la gobernanza, el aprendizaje colectivo y la resiliencia territorial. Esta aproximación amplía el campo de estudio de la acuicultura al reconocer que su contribución al desarrollo depende de la interacción entre factores económicos, sociales, institucionales y ambientales, más que del crecimiento aislado de los indicadores productivos.

Finalmente, la investigación evidencia la necesidad de que las políticas públicas orientadas al fortalecimiento del sector acuícola trasciendan los enfoques centrados exclusivamente en el financiamiento o el incremento de la producción. Los resultados sugieren que las estrategias de desarrollo para las comunidades costeras deben incorporar una visión territorial que fortalezca la organización comunitaria, promueva la gobernanza de los recursos comunes, impulse procesos de capacitación y favorezca la articulación entre instituciones, productores y actores locales. Bajo esta perspectiva, la acuicultura comunitaria se consolida como una estrategia socioterritorial con potencial para contribuir al desarrollo territorial, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad social en comunidades costeras de México y América Latina, ofreciendo elementos analíticos y prácticos para el diseño de políticas de desarrollo con enfoque territorial.

Bibliografía

- Argyris, C., & Schön, D. A. (1978). Organizational learning: A theory of action perspective. Addison-Wesley.
- Berkes, F., & Folke, C. (Eds.). (1998). Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press.
- Berkes, F., & Ross, H. (2013). Community resilience: Toward an integrated approach. Society & Natural Resources, 26(1), 5–20. https://doi.org/10.1080/08941920.2012.736605
- Boisier, S. (2005). ¿Hay espacio para el desarrollo local en la globalización? Revista CEPAL, 86, 47–62. https://hdl.handle.net/11362/11068
- Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), Handbook of theory and research for the sociology of education (pp. 241–258). Greenwood Press.
- Castillo, L. S., Ferguson Irlanda, C. E., Aceves-Bueno, E., Froehlich, H. E., Mancilla, C., Rivera, A., & Gaines, S. D. (2025). Aquaculture isn't always the answer: Rethinking blue transitions through justice and community experience. Global Environmental Change, 94, 103046. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2025.103046
- Castillo, L. S., Knott, C., Quintana, A. C. E., Spalding, A. K., Aceves-Bueno, E., Blythe, J., Rivera, A., & Basnett, B. (2026). Community-centered approaches to aquaculture in small-scale fisheries. Ambio, 55, 1304–1321. https://doi.org/10.1007/s13280-025-02302-w
- Coleman, J. S. (1988). Social capital in the creation of human capital. American Journal of Sociology, 94, S95–S120. https://doi.org/10.1086/228943
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE.
- Díez Pinto, E., & Riffo Pérez, L. (Coords.). (2025). Desarrollo territorial en un escenario de transformaciones: Presentaciones del seminario internacional Desafíos actuales para un desarrollo territorial inclusivo y sostenible en América Latina y el Caribe (Serie Seminarios y Conferencias, N.º 111; LC/TS.2025/28). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://hdl.handle.net/11362/81871
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. https://doi.org/10.4060/cd0683en
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 4, 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- Kriegl, M., Kluger, L. C., Gorris, P., & Kochalski, S. (2022). Coastal livelihood resilience to abrupt environmental change: The role of social capital in a Peruvian bay. Regional Environmental Change, 22, Article 103. https://doi.org/10.1007/s10113-022-01959-3
- Manlosa, A. O., Hornidge, A.-K., & Schlüter, A. (2021). Aquaculture-capture fisheries nexus under COVID-19: Impacts, diversity, and social-ecological resilience. Maritime Studies, 20, 75–85. https://doi.org/10.1007/s40152-021-00213-6
- Mansfield, E. J., Micheli, F., Fujita, R., Fulton, E. A., Gelcich, S., Battista, W., Bustamante, R. H., Cao, L., Daniels, B. N., Finkbeiner, E. M., Gaines, S., Peckham, H., Roche, K., Ruckelshaus, M., Salomon, A. K., Sumaila, U. R., White, C., & Naylor, R.

(2024). Anticipating trade-offs and promoting synergies between small-scale fisheries and aquaculture to improve social, economic, and ecological outcomes. npj Ocean Sustainability, 3, Article 1. https://doi.org/10.1038/s44183-023-00035-5

- Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press.
- Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. Global Environmental Change, 19(3), 354–365. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001
- Partelow, S., Schlüter, A., Manlosa, A. O., Nagel, B., & Octa Paramita, A. (2022). Governing aquaculture commons. Reviews in Aquaculture, 14(2), 729–750. https://doi.org/10.1111/raq.12622
- Putnam, R. D. (1993). Making democracy work: Civic traditions in modern Italy. Princeton University Press.
- Vázquez Barquero, A. (2007). Desarrollo endógeno: Teorías y políticas de desarrollo territorial. Investigaciones Regionales, 11, 183–210.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and Society, 9(2), Article 5. https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Desarrollo y conservación en espacios naturales protegidos: experiencias de la biosfera de La Sepultura (Chiapas, México) y Sierra de Grazalema (Andalucía, España)

Joel Maximiliano Martínez[1]

Resumen
El objetivo de esta investigación es contribuir al debate sobre las relaciones entre desarrollo rural, áreas protegidas y medio ambiente, especialmente en áreas donde existen poblaciones locales que mantienen una estrecha relación con los recursos naturales. Para ello, el autor centra su análisis en la figura de las "Reservas de la Biosfera" (REBI), una figura de protección con la que se pretende conciliar el objetivo de la "conservación" y el del "desarrollo". Para abordar el trabajo empírico, han seleccionado dos REBI: la reserva de "La Sepultura" (Chiapas, México) y la reserva de la "Sierra de Grazalema" (Andalucía, España). En el caso mexicano, el objetivo de la "conservación" acaba imponiéndose sobre el del "desarrollo", dadas las carencias en infraestructuras, equipamientos y servicios, que impiden o dificultan el uso público de los recursos asociados al espacio natural. En el caso de Grazalema, la existencia de un territorio bien dotado y con un buen nivel de desarrollo, favorece el acceso del público a la reserva, siendo el objetivo de la "conservación" amenazado por la presión ejercida por las poblaciones autóctonas y foráneas, que buscan el aprovechamiento de los recursos naturales con fines económicos, recreativos o de ocio. Comparar ambas zonas permite reflexionar sobre las dificultades de conciliar esos dos objetivos si no existe una adecuada coordinación de los departamentos de medio ambiente con los de otras áreas de las políticas públicas (desarrollo rural, turismo, educación, salud,…)
Palabras clave: Desarrollo Rural; Desarrollo Sostenible; Conservación, Medio Ambiente

Abstract
The main aim of this research is to contribute to discuss about the relationship among development, protected areas and the environment, especially in those areas where local people have a close relationship with natural resources. The authors' analysis focus on the "Biosphere Reserves" (BIREs), an environmental protection instrument that seeks to combine both conservation and development objectives. Two BIREs have been selected when addressing the empirical work: the reserve of the "Sepultura" (Chiapas, Mexico), and the reserve of "Sierra de Grazalema" (Andalusia, Spain). In the case of Mexico, the objective of conservation prevails over development, as environmental departments play a prominent role. In addition, the total lack of infrastructure, equipment and services may indeed hinder the public use of resources associated with the natural environment. In the case of Grazalema, however, the existence of a well-equipped territory with a good level of development reached already, contributes to the public access to the reserve. The underlying problem is that local and foreign communities are endangering the aim of conservation, as they exert a great impact on the use of natural resources regarding economic, recreational or leisure purposes. When comparing both territories, we can reflect upon how difficult could be to reconcile

[1] Docente de Ciencias Sociales, secretaria de Educación Pública, Escuela Preparatoria Oficial no. 109, Acambay, Estado de México, Correo electrónico: jmaxmart@gmail.com; Teléfono: 712 257 8618, Estado de México, México.

these two approaches, given that no proper coordination among environmental departments is being made whatsoever with those in other public policy areas, such as rural development, tourism, education and health.
Keywords: Rural Development; Sustainable Development; Conservation; Environment.

Introducción

De entre las figuras de protección de espacios naturales, las "reservas de la biosfera" destacan por ser el eje del programa MaB de la UNESCO, cuyo objetivo es salvaguardar lo mejor posible su riqueza ecológica buscando la participación activa de la comunidad local. "La Sepultura" es uno de esos espacios naturales donde están presentes los elementos característicos de las "reservas de la biosfera", a saber: un alto valor ecológico y una fuerte presencia de poblaciones locales allí asentadas (en este caso, comunidades indígenas). De este modo, hemos podido reflexionar sobre el caso mexicano, donde el objetivo de la "conservación" acaba imponiéndose sobre el del "desarrollo", dadas las carencias en infraestructuras, equipamientos y servicios, que impiden o dificultan el uso público de los recursos asociados al espacio natural. Y el caso de Grazalema, en donde la existencia de un territorio bien dotado y con un buen nivel de desarrollo, favorece el acceso del público a la reserva, siendo el objetivo de la "conservación" amenazado por la presión ejercida por las poblaciones nativas y foráneas, que buscan el aprovechamiento de los recursos naturales con fines económicos, recreativos o de ocio (turismo). Comparar ambas zonas permite reflexionar sobre las dificultades de conciliar esos dos objetivos si no existe una adecuada coordinación de los departamentos de medio ambiente con los de otras áreas de las políticas públicas (desarrollo rural, educación, salud,…)

Metodología y técnicas de investigación

Desde el punto de vista epistemológico, la metodología utilizada ha sido de naturaleza exploratoria, utilizándose técnicas de carácter cualitativo en forma de entrevistas individuales y grupales a informantes cualificados relacionados con la Reserva de la Biosfera de la Sepultura (REBISE). En concreto, el trabajo de campo consideró entrevistas semiestructuradas. Una vez recogida la información se sistematizó interpretándola a la luz de los enfoques teóricos utilizados. Se estudió la aplicación del programa MaB de la UNESCO en España (tomando como referencia empírica el caso de la reserva de la "Sierra de Grazalema"), un espacio natural de alto valor ecológico como el de "La Sepultura".

Marco general de análisis

Toledo (2005), menciona que hay "en el mundo 105.000 áreas naturales protegidas en 220 países, con una superficie equivalente al 11,5 % de la superficie terrestre, de las cuales unas 480 son reservas de la biosfera". Si se comparan los datos que aporta Toledo en base al WDPAC, con los citados anteriormente del IUCN y referidos al año 2012, resulta que, en sólo siete años, hubo un aumento de más de un punto porcentual (1,2%) de la superficie mundial ocupada por ANP, lo que es indicativo de la importancia que en la última década se le ha dado a nivel internacional a este tema de la protección de los espacios naturales. Sin embargo, en ese mismo artículo, Toledo hace un análisis, con base cuantitativa y cualitativa, en el que llega a la conclusión, no muy positiva, de que "la creación de reservas, parques y otras áreas naturales protegidas, conforma una visión limitada, estrecha y, en el largo plazo,

inoperante", ya que el deterioro de los espacios naturales avanza a más velocidad que el ritmo de creación de ANP.

De ahí que este autor, y otros como él, planteen la necesidad de afrontar de una manera integral los retos que tiene el tema de la protección de la naturaleza en el mundo, considerando no sólo el asunto específico de la biodiversidad y conservación de las áreas reconocidas como ANP, sino teniendo también en cuenta todos los elementos presentes en el entorno de esos espacios naturales, tanto los elementos que afectan directamente a los ecosistemas (vivos y no vivos), como los que se refieren a las condiciones de vida de la población que reside en dichos espacios. Con ello, lo que se está planteando es ampliar el paradigma de la protección de la naturaleza sacándolo del reducido ámbito ecológico para afrontar en su globalidad el desarrollo sustentable de las áreas naturales.

La protección de la naturaleza como problema de interés general

A nivel mundial son considerables los círculos académicos en los que se han debatido las cuestiones medioambientales, interviniendo en ese debate no sólo la comunidad científica, sino también diversas organizaciones de la sociedad civil, como las de consumidores, ecologistas, productores agrícolas y empresarios, al considerar que el tema de la protección del medio ambiente es un asunto que afecta al conjunto de la sociedad. En México, esos debates se han extendido fuera de la comunidad académica para alcanzar a la propia sociedad rural, impregnando las asambleas de los ejidos y comunidades con temas que afectan directamente a sus prácticas agrícolas y, en general, al modo de explotar los recursos naturales.

Toda esa preocupación por el deterioro de los recursos naturales y por la necesidad de proteger la naturaleza, se fundamenta en las alarmas surgidas de los informes sobre el estado del medio ambiente que vienen elaborando desde mediados de los años sesenta del pasado siglo XX los organismos nacionales e internacionales. Como señala Sylvia Becerra (2003), ya en la Conferencia Internacional de la UNESCO sobre la Biosfera (1968), la comunidad científica internacional alertaba a los gobiernos nacionales del preocupante estado en que se encontraban los espacios naturales a nivel mundial y avisaba de que la situación se agravaría en el futuro si no se hacía nada para frenar esa tendencia. En dicha Conferencia, se consideraba, además, que las iniciativas aisladas de protección de la naturaleza fuesen nacionales o locales, estaban siendo poco eficaces, por lo que se urgía a los gobiernos nacionales a emprender acciones concertadas a nivel internacional.

Desde hace varias décadas, la política de protección de la naturaleza se basa en una lógica de "gestión integrada", es decir, en un modo de intervención que se esfuerza por tener en cuenta los diferentes usos sociales y las funcionalidades ecológicas de los espacios a proteger. Según esta lógica, el reto consiste en definir adecuadas políticas ambientales y de ordenación del territorio que permitan mantener (o restaurar) el equilibrio entre, de un lado, el funcionamiento de los ecosistemas y, de otro, el desarrollo de las actividades realizadas por la población que reside en ellos. De hecho, y de un modo más general, la noción de "desarrollo sostenible (sustentable)" ha sido acuñada para indicar la necesidad de hacer compatible la conservación del medio natural y el desarrollo económico, y de integrar en las acciones a corto plazo la preocupación por sus consecuencias futuras. La conferencia de la ONU celebrada en Río de Janeiro (1992) fijó como objetivo principal hacer operativo el

concepto de "desarrollo sostenible" instando a los gobiernos nacionales a integrar las constricciones ambientales en todas las políticas sectoriales (Becerra, 2003).

A nivel nacional e internacional, las instituciones tratan de afrontar, por tanto, el creciente deterioro del medio ambiente provocado por la acción de los seres humanos y asociado al acelerado crecimiento demográfico y al modelo de consumo y desarrollo económico dominante, promoviendo estudios e investigaciones cuyos resultados son recogidos en informes y artículos publicados en revistas académicas y difundidos en conferencias y demás eventos de divulgación científica. También los movimientos sociales, especialmente los vinculados al movimiento ecologista y a las organizaciones de conservación de la naturaleza, han desempeñado un rol importante en este campo temático, llamando la atención de estos problemas y haciendo que la sociedad tome conciencia de su gravedad (Castell, 2009).

Todo ello puede calificarse de un avance significativo en la materia, si bien ya no sería tan evidente el avance si observamos los pobres resultados de los programas de acción sobre el medio ambiente y comprobamos que, a pesar de la fuerte movilización social y los avances científicos, el deterioro de los espacios naturales sigue su ritmo inexorable en muchas áreas del planeta. Ante esa situación cabe preguntarse sobre la singularidad de las políticas de protección de la naturaleza, sobre sus limitaciones y sobre los problemas que suscita su implementación en los territorios.

Las relaciones sociedad-naturaleza

La historia de las relaciones naturaleza-sociedad se basa, en primer lugar, en la lucha de los seres humanos contra los elementos naturales y en la explotación de los recursos agrícolas, pesqueros, forestales, cinegéticos,… Esta relación descansa en la transformación del medio natural con fines de utilidad para el ser humano (Barouch, 1989, citado en Becerra, 2003), lo que ha dado lugar a una pluralidad de modos de gestión de los espacios naturales y a una diversidad de representaciones sociales respecto de la naturaleza. Los conflictos de interés entre cazadores y ambientalistas sobre las fechas de apertura de la caza, por ejemplo, muestran en qué medida varían los intereses y las formas de pensar la naturaleza.

Sin embargo, si bien es cierto que las actividades humanas transforman los espacios naturales, también lo es que la configuración de estos espacios obliga, a su vez, a las actividades humanas a adaptarse a los mismos y a estructurar las relaciones que mantienen con ellos. Las condiciones naturales estructuran las relaciones entre los seres humanos y suscitan una competencia muchas veces conflictiva por la apropiación y ordenación del espacio natural (Picon, 1968, citado en Becerra, 2003).

Las actividades humanas ligadas a la explotación de los espacios naturales nos llevan también a reconocer una especie de "derecho" de uso y disfrute de los recursos asociados a ellos, un derecho muchas veces reivindicado en nombre de la tradición, de una identidad colectiva o de la propia cultura local. A pesar de la transformación de las condiciones de su actividad, las diversas categorías de usuarios del medio natural mantienen viva una "memoria" y unos saberes técnicos locales que ellos definen como "saberes ecológicos" (Drouin, 1991 citado en Becerra, 2003). En algunos países, puede encontrarse en las comunidades y villas de final del siglo XVIII el origen de muchos "usos y costumbres" que definen hoy las "buenas

prácticas" en los espacios naturales. Estas reglas ordenaban las relaciones entre las diferentes categorías de usuarios limitando los respectivos derechos de uso.

La "demanda de naturaleza" es una expresión coloquial que puede dar cuenta del desarrollo de ciertas necesidades recreativas, estéticas y de contemplación del paisaje (Turismo), sentidas por unas poblaciones urbanas cada vez más separadas de los espacios naturales. Rasgo típico de las sociedades modernas, esta "demanda de naturaleza" traduce una búsqueda de felicidad personal que encuentra su medio de expresión en los nuevos usos de la naturaleza o en el retorno a los usos tradicionales. Expresión de una cierta cultura del ensimismamiento personal, estos nuevos usos no han dejado de desarrollarse desde el final del siglo XIX. Van desde "el paseo contemplativo a la actividad física, pasando por la gimnasia de preparación y las terapias del alma, y por las medicinas suaves alternativas" (Alphandery, Bitoun et Dupont, 1993, citado en Becerra, 2003). Los usos lúdicos y recreativos de la naturaleza pueden tener un carácter deportivo/cultural (Moscoso, 2010; González-Fernández 2006).

Estas prácticas asociadas a la visita y disfrute de un espacio natural, pueden ser individuales o colectivas, pueden ser privadas o pueden desarrollarse en el marco de un verdadero "servicio público". Tienen a veces una dimensión cultural, artística y científica (observación naturalista, ecología, ornitología,…), pero ellas tienen, sobre todo, para la gran masa de usuarios, una función terapéutica (relajarse, oxigenarse,…) que refleja la necesidad de compensar las presiones de la vida urbana.

Prácticas antiguas de la aristocracia, los usos recreativos de la naturaleza se extendieron a lo largo del siglo XIX a la burguesía urbana con el surgir del turismo y del veraneo, expandiéndose con la generalización de las vacaciones y de los fines de semana a una gran parte de la población urbana (Bertho-Lavenir, 1999, citado en Becerra, 2003). Desde el comienzo del siglo XX, por medio de diversas asociaciones e instituciones, las clases medias urbanas reivindican un acceso libre a los espacios naturales y a los paisajes singulares, exigiendo además medidas de conservación. Estas tendencias revelan un "nuevo arte de frecuentar el medio natural", arte opuesto a las prácticas tradicionales de apropiación "depredadora" de los recursos de la naturaleza (Chamboredon, 1985:148, citado en Becerra, 2003). Al mismo tiempo, la ciencia aporta su contribución a este proceso de "naturalización" de los campos, de tal modo que los conceptos de "medio natural" y de "ecología" son elaborados y difundidos a partir de la segunda mitad del siglo XIX (Blanc Pamard, 1992; Drouin, 1991; Baigorri, 1995, citados en Becerra, 2003).

Resultados y discusión

A lo largo de sus más de cuarenta años de funcionamiento, el Programa ha ido centrando sus actuaciones en la figura de la "reserva de la biosfera" (REBI), de tal modo que, en la actualidad, el objetivo prioritario del MaB es potenciar la "Red Mundial de Reservas de la Biosfera" y promover una gestión eficiente de estas áreas protegidas a lo largo del planeta. Esta Red comprendía a fecha de junio de 2015 un total de 650 reservas (quince de ellas transfronterizas) distribuidas en 120 países.

Las orientaciones que rigen las reservas de la biosfera se generan en encuentros de la citada Red Mundial, siendo luego aprobadas por los órganos de gobierno del Programa MaB, en

primera instancia, y, finalmente, por la Conferencia General de la UNESCO. Ya desde sus inicios, en 1974, el concepto de "reserva de la biosfera" (REBI) estuvo definido con bastante precisión, estableciéndose que su objetivo es "armonizar" el objetivo de la conservación con el del bienestar de las poblaciones locales. No hay que olvidar que, en esos años 70, el objetivo de conservar los espacios naturales se concebía como algo que excluía a los seres humanos, por lo que ese modo de abordar el problema de esas áreas naturales constituía una verdadera innovación.

No obstante, y por inercia, las primeras REBIs que se aprobaron a partir de 1976, mostraban en el modo de su constitución que, a pesar de la claridad con que habían sido definidas por la UNESCO, se estaban aplicando con la antigua mentalidad de "área protegida", resaltándose incluso que eran zonas merecedoras de la máxima protección por ser de gran valor ecológico. Se le daba, por tanto, mayor relevancia al objetivo de la "conservación" que al del "desarrollo".

En el I Congreso Mundial del Programa MaB, celebrado en 1984 en la ciudad de Minsk (Bielorrusia), promovido por la UNESCO, se planteó este problema y se puso énfasis en la dimensión del "desarrollo" como elemento fundacional de las REBIs. En ese congreso se elaboró el Primer Plan de Acción, en el que, además de recomendar determinados tipos de acciones para que la Red Mundial de Reservas de la Biosfera velara por la conciliación entre los objetivos del "desarrollo" y la "conservación", se proponía también algunas iniciativas para impulsar el Programa MaB en su conjunto y extenderlo por aquellos países aún no adheridos al mismo.

Superando las resistencias de los conservacionistas, la Conferencia de Sevilla (1995) señaló como reto inmediato la puesta en práctica de modelos de desarrollo sostenible en las REBIs, objetivo que se plasmó en la llamada "Estrategia de Sevilla". En esa misma conferencia se aprobó un Marco Estatutario, que recogía la definición de "reserva de la biosfera", sus funciones, criterios, procedimientos de designación, herramientas de aplicación práctica, funcionamiento en red,… Ambos documentos constituyeron un paso muy significativo en el desarrollo del programa MaB y en su evolución hacia una aplicación integral de la figura de "reserva de la biosfera", por lo que aún hoy son una importante referencia para la Red Mundial de Reservas de la Biosfera. Con esos dos documentos se definía el rol que podían desempeñar las REBI en la implementación de la Agenda 21 propiciada por la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (Cumbre de Río, 1995) y de la Convención sobre la Biodiversidad Biológica.

La figura de las "reservas de la biosfera" (REBIs) ha surgido en el contexto del avance antes comentado sobre la protección de la naturaleza a nivel internacional, irradiando sus efectos en los diversos países del planeta. A diferencia de otras figuras de protección, las REBIs se aplican en áreas naturales de importancia ecológica, donde residen poblaciones locales que guardan una estrecha relación con los recursos asociados a esos espacios.

Las REBIs son, por tanto, territorios en los que, por su importancia ecológica para la biodiversidad, se aplican políticas destinadas a conciliar el objetivo de la conservación de la naturaleza y el del desarrollo económico y social. Se establecen sobre zonas ecológicamente

representativas o que tengan un valor único, situadas en áreas terrestres, costeras o marinas y en las cuales la población humana y sus actividades son parte integral de dicho espacio natural. La declaración de una zona como REBI debe contribuir a preservar y mantener valores naturales y culturales gracias a una gestión sostenible apoyada en bases científicas, en el conocimiento y saberes locales, en la identidad cultural de la población y en la implicación de los diferentes agentes que operan sobre el territorio.

La incorporación de nuevas REBI a la Red Mundial se hace a petición de los Estados adheridos al MaB o que deseen adherirse al mismo, presentando la correspondiente propuesta, en la que se deben cumplir ciertos requisitos y en la que se asumen ciertos compromisos para asegurar el cumplimiento de las funciones básicas de las REBI, a saber: conservación, desarrollo y apoyo logístico. Los diversos componentes y enfoques que dan sentido a la figura de la REBI pueden expresarse de forma sintética haciendo referencia a sus funciones y a una zonificación que debe ser la adecuada para cumplir con las funciones antes citadas, estableciéndose tres tipos de zonas.

La REBI es el único tipo de área natural protegida cuyo objetivo específico es preservar la biodiversidad conciliándolo con el desarrollo y bienestar de las poblaciones locales, y constituye, por tanto, una categoría de protección en la que explícitamente se incluye a la población local como actor fundamental en la gestión de estos espacios naturales (Guevara, 2010).

Echeverry (2002) afirma que "…los problemas ambientales unen en un interés común y colectivo a toda la sociedad humana", y continúa "…las riquezas naturales no tienen implicaciones exclusivas para las poblaciones asentadas en los territorios donde se encuentran, sino que la estructura de ecosistemas globales implica que las funciones medioambientales de producción y conservación de vida, de regulación de sistemas climáticos y de perspectivas de producción sean de interés que une a toda la comunidad internacional". Con esta afirmación queremos dar por entendido que las REBIs son ya un hecho a nivel internacional, y se corresponden con esfuerzos colectivos de negociación y de cooperación a nivel local, regional y territorial, haciendo realidad los esfuerzos colectivos que aportan propuestas financieras y estratégicas para el cuidado, protección y preservación del medio ambiente.

Breve aproximación a la Reserva de la "Sierra de Grazalema"

La reserva de "Sierra de Grazalema" fue la primera en ser reconocida por la UNESCO dentro del programa MaB, reconocimiento que se produjo en 1977. Entonces, la Sierra de Grazalema no era Parque Natural, sino que estaba protegida por otra figura de menor entidad en lo que se refiere a la conservación ("área natural"). Más tarde, en 1985, es cuando recibe el reconocimiento como Parque Natural.

Cuando es reconocida como REBI, se establece en el área natural de la Sierra de Grazalema la zonificación que marca la UNESCO, delimitando las correspondientes zonas. Así, la "zona núcleo" coincidirá con el área del pinsapar, y es la que, por su valor en biodiversidad, justifica ese reconocimiento. Probablemente, sin la importancia del pinsapar no habría sido declarada REBI. Más tarde el área del Parque Natural se ha ido ampliando, incorporando otros

elementos de biodiversidad (no sólo incluyendo nuevas especies vegetales, sino también especies animales en riesgo de extinción). La "zona tampón" está formada por esas otras áreas de importancia ecológica, aunque de menor relevancia que la del pinsapar, y la "zona de transición" corresponde a pequeñas manchas donde se realiza algún tipo de agricultura (olivar, ganadería,…).

En lo que se refiere a la REBI de "Sierra Grazalema", existe una Junta Rectora, presidida por el alcalde de uno de los municipios incluidos en la reserva (que además preside el Grupo de Desarrollo Rural del programa europeo Leader), y formada por representantes de las diversas entidades de la sociedad civil presentes en el territorio: ayuntamientos, asociaciones de empresarios, organizaciones agrarias, universidades, centros de investigación científica, asociaciones ecologistas, grupos de desarrollo rural,… La Junta Rectora es un órgano consultivo, pero tiene un gran protagonismo en la gestión de la REBI, ya que la mayor parte de las acciones o propuestas deben ser informadas por esa Junta.

Entre los problemas planteados cabe destacar los siguientes. En primer lugar, el problema de la división de la reserva en dos áreas: la que pertenece a la provincia de Málaga y la de Cádiz. De hecho, hay dos oficinas: la gaditana en El Bosque, y la malagueña en Benaozán. Eso crea confusión entre la población, e incluso genera agravios comparativos, debido, además, a que esas oficinas dependen de dos delegaciones provinciales de medio ambiente, que tienen formas diferentes de abordar la gestión diaria de la REBI. Falta entendimiento y coordinación entre ambas oficinas.

El segundo problema es el de la relación con otras entidades implicadas en el desarrollo del territorio. Por ejemplo, el GDR (Grupo de Desarrollo Rural) es una asociación que lleva realizando acciones de desarrollo desde principios de 1990, y que tiene poca relación con el equipo de la REBI. Aunque el presidente del GDR es también presidente de la Junta Rectora de la REBI, su presencia es meramente de representación política, al ser alcalde de uno de los municipios. Lo que se echa en falta es mayor colaboración entre los equipos técnicos del GDR y de la REBI. De hecho, si la REBI quiere lograr el objetivo del "desarrollo" necesita la ayuda y la colaboración del GDR, que es el verdaderamente especializado en estos temas, ya que los técnicos de la REBI, por su formación y dependencia de la Consejería de Medio Ambiente, están más interesados en el objetivo de la "conservación".

Un tercer problema es el de la proliferación del uso público del área de la REBI. Hasta hace poco, la mayor atención de los técnicos de la REBI se centraba en velar por la conservación del espacio natural y preservarlo de la actividad económica (agricultura, ganadería, construcción de viviendas,…). Con la crisis económica, esa actividad se redujo mucho, y ahora ha surgido una amenaza aún mayor, y es el uso público del espacio natural para actividades recreativas y de ocio (rutas de senderismo, deportes de naturaleza, rallies, rafting,…). Esa vigilancia es la que ahora ocupa la mayor parte del tiempo del personal técnico-administrativo de la REBI, lo que lamentan al considerar que les quita tiempo de lo que más le interesa: la conservación.

Por último, nos dicen que, gracias a la mejora de infraestructuras y al desarrollo del sistema de bienestar (centros educativos y de salud, servicios sociales,…) propiciados por el proceso

de reformas asociado a la democratización, el objetivo del "desarrollo" se ha logrado en Grazalema, y en muchas zonas de Andalucía, sin necesidad de que exista la REBI, por lo que su principal interés radica en que ese desarrollo no perjudique al objetivo de la "conservación".

El caso de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura

La reserva "La Sepultura" es un espacio natural del estado mexicano de Chiapas donde se asienta una variada población indígena, formando parte, además, de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, por lo que es un buen ejemplo para analizar los factores que inciden en el proceso de implementación de una política de protección de la naturaleza en áreas donde se combina el objetivo de la "conservación" con el del "desarrollo y el bienestar" de la población local. A describir el contexto de creación de la REBISE y sus rasgos más sobresalientes dedicaremos este primer apartado.

En 1995, el territorio de "La Sepultura" fue declarado por la CONANP "área natural protegida" e incluida ese mismo año por la UNESCO en la categoría de "reservas de la biosfera" (REBI). Cuatro años más tarde (1999) se aprobó el Plan de Manejo, que ofrece información sobre los recursos naturales con que cuenta la zona, así como sobre las características del suelo, la flora y la fauna, el clima y los sistemas de tenencia de la tierra. Dicho Plan contiene información que aún hoy es, en muchos aspectos, de plena vigencia, como la referida a aspectos físicos, geográficos y sociales del área de la reserva, por lo que la utilizaremos como base de la presente investigación.

En "La Sepultura", los recursos han sido tradicionalmente utilizados por la población local con fines, sobre todo, de economía de subsistencia, practicándose una agricultura de autoconsumo y aprovechándose el espacio forestal como fuente de energía y como medio para la apertura de caminos que conectan a las distintas comunidades entre sí. Dada la baja intensidad de los modelos de explotación agraria asentados en la reserva, puede decirse que, salvo en el caso de algunas pocas grandes haciendas, los efectos de las actividades agrícolas y ganaderas sobre el medio natural, han sido menos dañinas que las forestales y extractivas. Estas otras actividades son las que han ido ocasionando efectos de erosión y deforestación, sobre todo en lo que se refiere a las talas ilegales de árboles para la apertura de caminos o para la extracción de madera[1].

Debido a la constatación del deterioro de los recursos forestales en una zona de alto valor ecológico como "La Sepultura", el gobierno del estado de Chiapas se propuso ya en 1993 declarar el área como "zona sujeta a conservación ecológica", aprobando incluso un borrador de decreto que, sin embargo, no fue publicado (Instituto Nacional de Ecología, 1999). A los dos años, y ante la paralización del proyecto del gobierno chiapaneco, fue el gobierno federal el que tomó la iniciativa utilizando la figura de "reserva de la biosfera" como vía para proteger el espacio natural de "La Sepultura". Así, el 6 de junio de 1995 se aprobó el decreto

[1] De hecho, tal como señalan los mismos ejidatarios de la zona, en La Sepultura se ha extraído mucha madera noble, como caoba y roble, en dirección a las fábricas de muebles instaladas en las ciudades del estado. Por ejemplo, en el ejido "Tierra y Libertad" del municipio de Villaflores existía un aserradero privado al que iba destinada mucha de la madera extraída de la reserva, pero que se cerró al declararse la REBISE como área protegida; de hecho la creación de la reserva significó un cambio en las prácticas extractivas y de tala de árboles.

presidencial que declaraba "área natural protegida con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada La Sepultura, localizada en los municipios de Villacorzo, Villaflores, Jiquipilas, Cintalapa, Arriaga y Tonalá".

La REBISE tiene una superficie total de 167.309 has, de las cuales 13.759 has corresponden a la "zona núcleo" (formada por áreas discontinuas) y 153.550 has a la "zona tampón o de amortiguamiento" (INE, 1999). La Reserva es un área que se caracteriza por su marcada influencia antrópica, es decir, por la presencia de los seres humanos, como lo muestra el hecho de que el 95% de su superficie total está formada por ejidos, tierras comunales y tierras de propiedad privada. Esto significa que el uso de los recursos naturales por parte de las poblaciones locales ha sido lo que ha marcado durante mucho tiempo el modo de gestionar la conservación del espacio de "La Sepultura", con lo que eso significa de presión sobre estos recursos (INE, 1999).

A partir de la información recogida en el trabajo de campo, los *ejidos* presentes en la REBISE pueden clasificarse en tres grupos:
Ejidos bien poblados y dotados de servicios y equipamientos. Son ejidos con una población que oscila entre los 500 y 1.000 habitantes, lo que permite cierto grado de diversificación de actividades, muchas de ellas en estrecha interacción con el municipio al que pertenecen. Esa interacción es posible gracias a que estos ejidos están situados en el entorno cercano a algún importante núcleo urbano (que en algunos casos, es incluso la cabecera del municipio), y gracias también a tener a su disposición diversos medios de transporte (microbuses, automóviles, taxis, bici-taxis,…). Además, al disponer de equipamientos sociales (salud, educación,…), la educación de los niños está asegurada, al menos hasta la enseñanza primaria, pudiendo luego continuar sus estudios en los centros superiores del municipio o de municipios cercanos, gracias precisamente a la ya comentada existencia de medios de transporte. La desigualdad en el acceso a estudios superiores está, no obstante, condicionada por el nivel de renta familiar, y no por la falta de infraestructuras. Dada la cercanía de estos ejidos a las áreas urbanas, parte de la superficie de estas tierras ejidales está muy urbanizada, y no pertenece a la "zona núcleo" de la REBISE, que, en su gran mayoría, está formada por tierras del interior del ejido, donde apenas reside ya población al haberse instalado en los núcleos urbanos del municipio.

Ejidos poco poblados, pero con un grado mínimo de equipamientos. Son los más comunes de la REBISE, y en ellos residen poblaciones que oscilan entre los 100 y 300 habitantes. Están situados en zonas intermedias de la reserva, entre la vertiente de sierra alta y baja (justo en la meseta), y su lejanía respecto de los núcleos urbanos es mayor que en el caso de los ejidos del primer grupo, siendo más deficientes las infraestructuras viarias y los medios de transporte. De hecho, el único medio de transporte con que cuentan las comunidades de estos ejidos es un autobús de línea que hace al día un solo viaje de ida y vuelta (con salida del ejido hacia la cabecera municipal a las seis de la mañana y regreso desde el municipio a las dos de la tarde), careciéndose de otros medios de transporte privados. La gente ya sabe los horarios y utiliza el transporte para hacer compras en el núcleo urbano del municipio y bajar sus productos (maíz, frijol y café) al mercado para venderlos. Algunos ejidos y comunidades, no todas, cuentan con centros de enseñanza preescolar y primaria, donde trabajan instructores comunitarios del CONAFE (Consejo Nacional de Fomento Educativo) y profesores contratados por el gobierno federal o por el gobierno chiapaneca. Los ejidatarios suelen

trabajar en las parcelas que tienen asignadas en las tierras del ejido, si bien hay casos de miembros de las familias que salen a trabajar fuera del ejido, ya sea en actividades no agrícolas en los núcleos urbanos del municipio o desplazándose a otros municipios de la zona.

Ejidos muy poco poblados y con graves carencias de equipamientos. Este grupo está formado por ejidos con poblaciones muy pequeñas, entre 30 y 80 habitantes, aislados en lugares recónditos de la sierra y atravesados por ríos profundos que los dejan incomunicados en temporadas de lluvia. La carencia en infraestructuras y equipamientos es casi total: no hay escuelas (salvo algún centro de enseñanza preescolar y primaria gestionado por instructores de CONAFE y compartido por varios ejidos); los caminos están en muy mal estado y el servicio de transporte no existe, por lo que la gente tiene que caminar de una a dos horas para llegar al ejido mayor y más cercano donde poder coger algún autobús de línea. Dado que para llegar a muchos de estos ejidos hay que cruzar ríos y arroyos, ocurre que, en temporada de lluvias, se hacen intransitables y dejan aislados a las poblaciones. En las estaciones secas, los ríos y arroyos se pueden cruzar caminando, pero al no existir puentes y estar en malas condiciones los caminos carreteros por falta de mantenimiento, la población de los ejidos sigue aislada el resto del año. Tampoco se dispone de servicios de saneamiento (no hay agua corriente, ni aseos, ni letrinas) y la red eléctrica, de reciente instalación (hace sólo 5 años), es deficiente al tener poca potencia y no resistir los cambios de tensión.

El tamaño de población del ejido y su distancia respecto al principal núcleo urbano del municipio es un elemento discriminatorio por cuanto que condiciona las decisiones en materia de política pública en el sentido de beneficiar más a los ejidos más poblados, que suelen ser también los más cercanos a los núcleos urbanos. La discriminación en favor de estos ejidos no afecta sólo a las políticas educativas y de salud y a la dotación de equipamientos, sino también a los programas de protección del espacio natural de la REBISE, tal como analizaremos en detalle más adelante.

Conclusiones

Para que las poblaciones locales se impliquen en la aplicación de los programas de protección, es necesario que hayan estado presentes como sujetos activos desde el comienzo de todo el proceso, es decir desde el momento en que se delimita el territorio de actuación, se identifican los problemas y se definen los objetivos a alcanzar. Sólo así, la población local percibirá los programas de actuación como propios y no como algo impuesto desde fuera.

Las comunidades locales se interesan por los programas de conservación si entienden que esos programas contribuirán a mejorar el modo como se han aprovechado tradicionalmente los recursos naturales en el territorio. Por ello es muy importante que los responsables públicos desarrollen una intensa labor de pedagogía con la población local utilizando para ello las redes sociales existentes.

No basta con esa labor de pedagogía para asegurar la participación activa de las poblaciones locales, ya que es necesario que estas poblaciones vean en los programas de conservación una oportunidad real de mejora de sus condiciones de vida. Por ello, esos programas no pueden aplicarse con una lógica sectorial, sino que tienen que integrarse en un marco de políticas más amplias, donde se incluyan acciones destinadas a la mejora de las

infraestructuras y equipamientos y a la prestación de servicios (sociales, educativos, salud,…) a la población local.

Dada la complejidad de los ecosistemas, el conocimiento local es un factor necesario para la eficacia de las políticas de conservación de los espacios naturales, aunque no suficiente, ya que es preciso complementarlo con el conocimiento científico y el que proporciona otros grupos interesados en la sostenibilidad de esos espacios, aunque no pertenezcan a las comunidades locales. La búsqueda de una adecuada sinergia entre esas fuentes de conocimiento es uno de los retos que deben plantearse las políticas de protección de la naturaleza en espacios naturales del estilo de las "reservas de la naturaleza".

De nuestra investigación se deduce la necesidad de empoderar a las comunidades locales para inducir en ellos un capital social dirigido a la construcción de un gran pacto territorial que trascienda los intereses particulares de cada grupo y que persiga el interés general del territorio en pro de la conservación de los recursos naturales y de la mejora del bienestar y calidad de vida de las familias que residen allí. Esto nos permitirá plantear las bases del debate entre, de un lado, los que consideran que las "áreas naturales protegidas" son un fin en sí mismas y, de otro, los que entienden que estas áreas tienen también un fin económico (lucrativo y mercantil) y que deben ser tratadas como espacios para el esparcimiento, el ocio y el turismo, implicando a la población local en su gestión y conservación.

Literatura citada

- Becerra, S. (2003), *Proteger la nature: Politiques publiques et régulations locales en Espagne et en France.* (Tesis doctoral), Université de Toulouse-Le Mirail, conjuntamente con la Universidad Autónoma de Barcelona.
- Becerra, S., García González, T. y Moyano, E. (2008), "Proteger la naturaleza en España y en Francia. Un análisis comparado del proceso de aplicación de la directiva europea Hábitat", *Papers. Revista de Sociología*, nº 88, pp. 103-128.
- Castell, M. (2009), Comunicación y poder, Editorial Alianza, Madrid.
- Echeverri, P. (2002), *Nueva Ruralidad Visión del Territorio en América Latina y el Caribe*, IICA, Bogotá.
- González Fernández, M. (2006), "Idas y vueltas en el desarrollo rural", Revista Española de Estudios Agro-sociales, nº.211, pp. 121-142.
- Guevara, S. (2010), "Las reservas de la biosfera en Iberoamérica", *Ambienta,* nº 92, pp…..
- Instituto Nacional de Ecología (1999), *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Sepultura,* Desarrollo Gráfico Editorial, México, DF.
- Instituto Nacional de Ecología. (1999). Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. redalyc.org
- M. Jollivet, "Les Metamorphoses d'un Rural Incertain", en Jolivet M. (ed): Vers un Rural Postindustriel-Rural et Environnement en Huit Pays Européens, Paris, L'Harmanttan, p. 351-371 [4] A. Mulero, La protección de espacios naturales en España, Madrid, Mundi-Prensa (2002) [5] A. Mulero, Fronteras y territorios: la gestión de las áreas protegidas en cuestión, Cuadernos Geográficos, nº 57, (1), (2018) p. 61-86
- Moscoso, D. (2010), Deporte, Territorio y Desarrollo Rural en Andalucía, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y del Medio Rural y Marino.

- Priego, C. (2011). Áreas verdes en las ciudades: nuevas formas de entender la naturaleza urbana. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (97), 108-117.
- Toledo, V. (2005), "Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia biorregional?", Gaceta Ecológica, nº 77, pp. 67-83.
- UNESCO (1996), *Reservas de la Biosfera: la Estrategia de Sevilla y el Marco Estatutario de la Red Mundial,* UNESCO, París.
- UNESCO [en línea], *Desarrollo Sostenible*. [Fecha de consulta: 22 de agosto de 2015]. Disponible en: http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Bosquejo para el análisis del impacto socioeconómico, ambiental y de sustentabilidad alimentaria del queso análogo en Lagos de Moreno, Jalisco.

Lilia García Azpeitia[1], Mara Janeth Hernández Flores[2]

Resumen

Jalisco ocupa el primer lugar nacional en producción de leche, el municipio de Lagos de Moreno es uno de los principales productores con 266,914.02 litros anuales. Siendo la base de la cadena agroindustrial (establos, centros de acopio, transportistas, queserías, fabricantes de derivados y cremerías). Se analizó el impacto ambiental, económico, social y alimentario del "análogo de queso" contra el queso tradicional-artesanal de leche. Ambientalmente, se determinó el impacto mediante la metodología de Cambio Indirecto de Uso de Suelo; se consideró un análogo de queso con 22 % de aceite de palma, un factor de 3.0 m²/kg, se estimó un impacto de 0.66 m²/kg (15.84 ha/año para una producción de 1000 kg/día); sumado al 22% de caseinato se calculó una huella de carbono de 6.62 kg CO_2/kg, comparado con lo generado en la producción de queso de leche (5-8kg). En el impacto social, el manejo de caseinato (polvo inhalable de 0.1 a 27 mg/m³) supera los 10 mg/m³ de la NOM-010-STPS-2014; causando asma ocupacional y disminución respiratoria. Nutricionalmente, el análogo aporta 40% menos proteína y calcio, y 200% más sodio (800-1,200 mg/100g) por sales fundentes, con riesgo de daño renal por fosfatos. Económicamente, la producción de queso análogo reduce costos; sin embargo, puede disminuir la demanda de leche, afecta los ingresos de productores locales, la rentabilidad de queserías tradicionales y la generación de valor agregado en la cadena agroalimentaria. Se concluye que la producción de queso de leche artesanal favorece la bioeconomía circular y el trabajo digno (ODS 8 y 12).

Palabras clave: Cadena de valor/Seguridad alimentaria/Economía circular/Desarrollo regional

Abstract

Jalisco ranks first nationally in milk production, with the municipality of Lagos de Moreno being a major producer, yielding 266,914.02 liters annually. This sector forms the foundation of an agroindustrial chain comprising dairy farms, collection centers, transporters, cheese factories, manufacturers of dairy derivatives, and creameries. This study analyzed the environmental, economic, social, and nutritional impacts of "cheese analogues" versus artisanal dairy cheese. From an environmental perspective, impact was assessed using the Indirect Land Use Change methodology; for a cheese analogue containing 22% palm oil (with a factor of 3.0 m²/kg), the estimated impact was 0.66 m²/kg (15.84 ha/year for a production volume of 1,000 kg/day). Factoring in the 22% casein content, the carbon footprint was calculated at 6.62 kg CO2/kg, compared to the 5–8 kg CO2/kg generated during

[1] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Lagos de Moreno. Libramiento Tecnologico No. 5000, Col. Portugalejo de los Romanes Lagos de Moreno, Jalisco. (lilia.garcia@lagos.tecmm.edu.mx)

[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Lagos de Moreno. Libramiento Tecnologico No. 5000, Col. Portugalejo de los Romanes Lagos de Moreno, Jalisco. (mara.hernandez@lagos.tecmm.edu.mx)

dairy cheese production. Regarding social impact, handling casein (inhalable dust levels of 0.1 to 27 mg/m³) exceeds the 10 mg/m³ limit set by standard NOM-010-STPS-2014, potentially causing occupational asthma and respiratory impairment. Nutritionally, the analogue provides 40% less protein and calcium and 200% more sodium (800–1,200 mg/100g) due to the use of emulsifying salts, posing a risk of kidney damage from phosphates. Economically, while analogue cheese production lowers costs, it may reduce the demand for milk, thereby affecting local producers' income, the profitability of traditional cheese factories, and value-added generation within the agri-food sector. The study concludes that artisanal dairy cheese production supports the circular bioeconomy and decent work (SDGs 8 and 12).
Keywords: Value chain/Food security/Circular economy/Regional development

Introducción

El sector lácteo tradicional y el mercado emergente de alternativas de origen vegetal representan dos paradigmas agroalimentarios en continuo debate frente al cambio climático y la seguridad alimentaria.

En Lagos de Moreno, principal cuenca lechera de Altos Norte, coexisten queserías artesanales y de mayor tamaño, así como la producción y venta creciente de producto tipo queso análogo sin leche. De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, considerando la actividad económica, ubicación y tamaño de los establecimientos registrados, se identificaron 14 establecimientos dedicados a la elaboración de derivados lácteos en Lagos de Moreno, Jalisco (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2026). Sin embargo, están presente numerosas empresas familiares no dadas de alta y cuyos productos son vendidos en estados como Guanajuato, Aguascalientes, Jalisco entre otros.

De acuerdo con la legislación mexicana el queso se define como “producto blando, semiduro, duro y extraduro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche” ((NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018, 2019). El proceso de elaboración dependerá del tipo de queso, sin embargo, las etapas similares incluyen, recepción de leche → estandarización → pasteurización → enfriamiento a temperatura de coagulación → adición de cultivo → adición de cuajo → coagulación → corte de cuajada → agitación/cocción según tipo → desuerado → moldeado → prensado → salado → refrigeración o maduración → envasado (Fox et al., 2016).

Al alimento análogo, no se le puede llamar "queso", según las normas NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018 y NOM-051-SCFI-2010, debe etiquetarse como: "Imitación queso" o "Queso análogo" o "Producto tipo queso", de acuerdo con la normatividad internacional debe llamarse análogo de queso. Existen dos tipos de estos alimentos: Tipo A, análogo 100% vegetal (sin leche), cuya base es aceite vegetal (palma o coco), almidón modificado, proteína de soya o chícharo, goma xantana, saborizante lácteo, sal, colorante; y el tipo B, análogo lácteo (lleva caseína, pero no leche fluida), el cual lleva: caseinato de sodio, aceite vegetal, agua, almidón.

Análogo de Queso (AC) "es el término que describe un producto similar al queso, elaborado mediante la sustitución parcial o total de componentes como la leche, la grasa láctea o la proteína de la leche, e incorporando sustancias de origen vegetal, así como aditivos como sales emulsionantes, hidrocoloides, conservantes, acidulantes y, en ocasiones, aromatizantes (cloruro de sodio, aroma de queso, etc.)", estos pueden considerarse productos de ingeniería alimentaria (Kamath et al., 2022). Por otra parte, los quesos artesanales representan un aspecto fundamental cultural, sensorial y gastronómico, sin embargo, estos presentan desafíos importantes lo que incluye diseño de estrategias para mejorar su calidad, sin perder autenticidad y particularidad (Rodríguez et al., 2025).

En México, el consumo nacional aparente de queso mostró un incremento de aproximadamente 30.7 % entre 2011 y 2018, al pasar de 3.108 a 4.063 kg por habitante al año (Rendón-Rendón & Brunett-Pérez, 2022). Asimismo, la ENSANUT Continua 2020–2024 evidencia una amplia incorporación de los productos lácteos en la alimentación de la población mexicana (Rodríguez-Ramírez et al., 2025).

El presente trabajo analiza de forma sistémica el impacto ambiental, económico, social y alimentario de la elaboración de queso análogo (elaborado sin matriz láctea), en comparación con queso artesanal elaborado con leche local.

Materiales y Métodos

Se desarrolló una investigación de enfoque descriptivo, comparativo y documental, orientada a realizar un preanálisis de los impactos asociados con la producción de análogo de queso respecto al queso tradicional-artesanal elaborado con leche, tomando como contexto territorial el municipio de Lagos de Moreno, Jalisco. Para la caracterización tecnológica del análogo se consideró que estos productos se obtienen mediante la combinación de agua, grasas o aceites, proteínas, sales emulsificantes y otros ingredientes sometidos a calentamiento y acción mecánica, de acuerdo con lo descrito por Bachmann (2001) y Masotti et al. (2018).

La evaluación se estructuró en cuatro dimensiones: ambiental, social (ocupacional y de sustentabilidad alimentaria) y económica. La información secundaria se obtuvo de literatura científica indexada, estadísticas oficiales y disposiciones normativas mexicanas relacionadas con producción láctea, elaboración de queso, seguridad y salud en el trabajo y composición de alimentos. Para la caracterización productiva y económica, se utilizaron estadísticas oficiales sobre producción de leche bovina en Jalisco y Lagos de Moreno, así como información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI para identificar unidades económicas vinculadas con la elaboración de productos lácteos. Se consideró la cadena de valor integrada por producción primaria, acopio, transporte, transformación, distribución y comercialización. El posible efecto económico del análogo de queso se analizó considerando la sustitución de materias primas lácteas por ingredientes industriales y sus potenciales implicaciones sobre la demanda regional de leche, las queserías tradicionales y la generación de valor agregado local. La evaluación ambiental se realizó mediante un análisis de escenarios tomando como unidad funcional 1 kg de producto terminado.

Para el análogo de queso se consideró una formulación de referencia con 22 % (p/p) de aceite de palma y 22 % (p/p) de caseinato. El impacto potencial relacionado con el cambio de uso del suelo se estimó mediante un enfoque de Cambio Indirecto de Uso del Suelo (ILUC). Se aplicó un factor de referencia de 3.0 m² por kilogramo de aceite de palma, obteniéndose el indicador correspondiente por kilogramo de producto. Posteriormente, se proyectó el resultado para un escenario industrial de 1,000 kg de producto/día, expresándolo en hectáreas por año. Este indicador se interpretó como un escenario potencial de cambio indirecto de uso del suelo y no como superficie de deforestación directamente atribuible a la planta, debido a la incertidumbre inherente al origen de la materia prima y al modelo ILUC empleado. Complementariamente, la huella de carbono se estimó en kg CO_2 equivalente/kg de producto, considerando las contribuciones de los principales ingredientes y comparándolas con valores de referencia reportados mediante análisis de ciclo de vida para quesos elaborados con leche. Como referencia nacional, Salas-Vargas et al. (2021) reportaron una huella promedio de 15.6 kg CO_2 eq/kg de queso Oaxaca artesanal, identificando además al lactosuero y las aguas residuales entre los principales puntos críticos ambientales.

Para evaluar la dimensión de seguridad y salud ocupacional, se identificaron los peligros asociados con la recepción, apertura, pesado, dosificación y mezclado de ingredientes pulverulentos, particularmente caseína y caseinatos; esto de acuerdo con la visita de dos empresas locales, en las que se elabora análogo de queso. Se recopilaron concentraciones de polvo inhalable reportadas en estudios de exposición ocupacional en industrias de productos lácteos en polvo y se contrastaron con los criterios aplicables de la NOM-010-STPS-2014. Asimismo, se revisó evidencia epidemiológica y clínica sobre sensibilización respiratoria, rinitis, asma ocupacional y alteraciones de la función pulmonar asociadas con la exposición a proteínas lácteas. El análisis se complementó mediante la identificación cualitativa de las operaciones de mayor exposición y las medidas de control correspondientes según la jerarquía de controles.

La evaluación nutricional y de sustentabilidad alimentaria se efectuó mediante comparación documental de la composición del queso tradicional y del análogo, considerando como indicadores el contenido de proteína, calcio, sodio, grasa y sales emulsificantes, particularmente fosfatos de sodio. Los valores se expresaron por 100 g de producto y las diferencias porcentuales se calcularon respecto al queso tradicional utilizado como referencia. Los posibles efectos sobre la salud se interpretaron con base en literatura científica sobre ingesta de sodio y fósforo inorgánico, evitando establecer relaciones causales cuando la evidencia disponible únicamente sustentó asociaciones o riesgos potenciales.

Finalmente, los resultados del análisis sistémico se integraron mediante un estudio comparativo multicriterio, identificando ventajas, desventajas y puntos críticos de ambos sistemas productivos. La interpretación se vinculó con los principios de bioeconomía circular, generación de valor regional, seguridad alimentaria y trabajo digno, así como con su posible contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico y ODS 12: Producción y consumo responsables. Debido al carácter de bosquejo del estudio, los resultados obtenidos mediante factores secundarios se consideraron estimaciones de escenario y no mediciones directas del impacto ambiental, ocupacional o nutricional de empresas específicas de Lagos de Moreno.

Resultados y discusión

Desde la dimensión ambiental, la elaboración de queso lácteo demanda una huella hídrica y de carbono significativamente mayor, derivada del manejo ganadero y la emisión de metano entérico.

En un estudio en México, en cuatro empresas productoras de queso Oaxaca, se encontró que los principales puntos críticos identificados fueron el suero, el transporte y la electricidad (Salas et al., 2021). En contraste, los quesos análogos —formulados con matrices vegetales (oleaginosas, cereales o leguminosas)— registran menores emisiones de gases de efecto invernadero por kilogramo producido; no obstante, su sostenibilidad depende de si sus materias primas provienen de monocultivos intensivos o de esquemas agroecológicos.

Ambientalmente, se determinó el impacto mediante la metodología de Cambio Indirecto de Uso de Suelo; se consideró un queso análogo con 22 % de aceite de palma, por lo que se usó un factor de 3.0 m²/kg, se estimó un impacto de 0.66 m²/kg y se estimó una producción diaria de 1000 kg/día de acuerdo al nivel de producción de las empresas locales, por tanto se determinó que 15.84 ha/año de deforestación indirecta en Indonesia/Malasia, de donde México importa 85% de palma (WWF, 2023), contraviniendo el ODS 15 y remarcando que el queso artesanal no presenta este impacto al usar leche de pastoreo local existente. Además del aceite de palma hay que considerar el 22% de caseinato, para lo que se calculó una huella de carbono de 6.62 kg CO_2/kg, comparado con lo generado en la producción de queso de leche de 16.9 kg CO_2 eq/kg para un queso tradicional italiano (Bava et al., 2018); y en queso Oaxaca artesanal de 15.6 kg CO_2 eq/kg (Salas-Vargas et al., (2021).

En cuanto a la huella hídrica el queso lácteo utiliza hasta 5000 litros de agua por kg de queso (Aquae, *s.f*); para un análogo, la huella hídrica se estimó con fines de bosquejar un escenario de manera preliminar, para 1 kg de queso análogo formulado con 22 % de caseinato y 22 % de aceite de palma, y contrastarla con la evidencia publicada para análogos de queso 100 % vegetales. Los resultados no sustituyen un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ni una evaluación local con datos primarios de proveedores. Se utilizó un enfoque de balance de ingredientes, en el que la contribución hídrica de cada componente se obtuvo multiplicando su fracción másica por el factor de huella hídrica del ingrediente. La huella hídrica se expresa en litros de agua por kilogramo de producto (l/kg). Para los ingredientes agrícolas se emplearon factores globales de huella hídrica verde, azul y gris de Mekonnen y Hoekstra (2011, 2012).

$$HHproducto = \Sigma\,(mi \times \mathrm{HHi}) + \mathrm{HHproceso} \qquad (1)$$

mi = fracción másica del ingrediente i (kg ingrediente/kg producto); HHi = huella hídrica del ingrediente i (l/kg); HHproceso = agua directa consumida en elaboración.

No se localizó una publicación que reporte una huella hídrica específica (l/kg) para caseinato de sodio o caseinato de calcio comparable directamente con los factores de Water Footprint Network. Por lo que, para el caseinato se utilizó como aproximación de cribado el factor de leche en polvo reportado a partir de Mekonnen y Hoekstra. Para completar el balance de 1 kg se adoptó una formulación de escenario compatible con los rangos descritos para quesos análogos: 22 % caseinato, 22 % aceite vegetal, 2 % almidón, 52 % agua y 2 % de

sales/aditivos. La fracción de sales y aditivos no se cuantificó por falta de factores volumétricos homogéneos; por ello el resultado debe interpretarse como una estimación parcial de los componentes principales. El valor de 4,745 l/kg corresponde a leche en polvo y se utiliza únicamente como una aproximación estimada del componente lácteo seco. Cálculo: (0.22 × 4,745) + (0.22 × 5,000) + (0.02 × 1,671) + (0.52 × 1) = 1,043.9 + 1,100.0 + 33.42 + 0.52 = 2,177.84 l/kg de producto análogo, con 22 % de caseinato y 22 % de aceite de palma. Este valor no incluye la huella de sales, saborizantes, estabilizantes, energía ni agua de limpieza y proceso.

Por otra parte, la huella hídrica del aceite de palma varía según localización y método. Kospa et al. reportaron 3,818.6 l/kg de aceite de palma, mientras que Mekonnen y Hoekstra (2011) reportaron un promedio global cercano a 5,000 l/kg para aceite de palma. Para análogos 100 % vegetales, la evidencia disponible es todavía limitada y los estudios no siempre informan la formulación exacta ni emplean la metodología de Water Footprint Network. En una revisión sistemática de 21 estudios, Carlsson Kanyama, Hedin y Katzeff (2021) encontraron que el uso de agua del queso vegetal analizado correspondió aproximadamente al 3 % del uso de agua del queso lácteo de referencia.

Los propios autores subrayan que existen pocos datos para queso vegetal. **Para análogo 100 % vegetal aproximadamente se usan** 180 l/kg, únicamente como normalización comparativa del resultado de la revisión sistemática. No debe tomarse como una huella hídrica calculada ni compararse de forma estricta con el cálculo por suma de ingredientes del escenario. Con los supuestos utilizados, la incorporación de caseinato mantiene una fracción importante de la huella hídrica asociada a la cadena láctea, mientras que el aceite de palma también aporta una contribución relevante. El escenario con caseinato presenta una estimación preliminar del orden de 1900 a 2200 litros de agua por kg de producto. Los análogos totalmente vegetales pueden presentar un uso de agua mucho menor, pero la evidencia específica para queso vegetal es aún escasa y metodológicamente muy dispersa.

Mediante un análisis de cribado basado en factores bibliográficos de huella hídrica, se estimó que un análogo formulado con 22 % de caseinato y 22 % de aceite de palma podría presentar una huella hídrica aproximada de 1,918 a 2,178 l/kg. El resultado debe interpretarse como un escenario preliminar debido a que no se dispone de un factor volumétrico específico para caseinato y se utilizó leche en polvo como aproximación. Para análogos 100 % vegetales, revisiones de ACV reportan reducciones sustanciales del uso de agua respecto al queso lácteo, aunque los datos disponibles son todavía limitados."

Económicamente, como datos iniciales en nuestra investigación, señalamos que la producción de análogo de queso reduce costos; sin embargo, puede disminuir la demanda de leche, afecta los ingresos de productores locales, la rentabilidad de queserías tradicionales y la generación de valor agregado en la cadena agroalimentaria.

Jalisco ocupa el primer lugar nacional en producción de leche, el municipio de Lagos de Moreno es uno de los principales productores con 266,914.02 litros anuales (SADER, 2025); y hasta el momento no se encontraron datos estadísticos de la producción de queso en el municipio. Sin embargo, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía la

elaboración de productos lácteos paso de 0.9 % a 2.8 % del valor agregado censal bruto de Jalisco entre 2018 y 2023 (INEGI, 2025); lo que permite demostrar que no se trata únicamente de una actividad tradicional, sino de una rama que ha ganado importancia económica.

El Centro de Investigación en alimentos y Desarrollo destaca que conservar la producción artesanal contribuye a mantener las cadenas agroalimentarias, favorecer la autosuficiencia alimentaria, generar empleo y preservar la identidad gastronómica nacional; sin embargo, las pequeñas queserías enfrentan retos tecnológicos, de inocuidad y competencia frente a productos de imitación (García et al., 2023). Coincidimos con los autores anteriores, es importante y necesaria la conservación de las pequeñas queserías lo que favorece las cadenas agroalimentarias, la autosuficiencia alimentaria y la identidad gastronómica nacional, remarcando que quesos de leche, no análogos de queso que al final representan importación de ingredientes.

Es necesario un trabajo detallado para determinar el consumo regional de queso de leche y análogos de queso; además de obtener datos directos de las empresas procesadoras, lo cual es sumamente complejo, pero necesario para establecer un porcentaje real de producción de queso lácteo contra análogos.

En el ámbito social, el queso artesanal de leche salvaguarda saberes ancestrales, identidad territorial y patrimonio gastronómico. Los análogos responden a transiciones dietéticas globales y necesidades de salud (intolerancias, dietas basadas en plantas), aunque carecen de la vinculación socio-territorial originaria.

Desde el punto de vista de la seguridad e higiene del trabajo, hay un aspecto importante, el manejo de los ingredientes para la elaboración de análogo de queso representa un riesgo laboral para los trabajadores, quienes no cuentan con las medidas y condiciones mínimas necesarias para garantizar su bienestar. El caseinato de sodio o calcio que representa el 60% de la formulación, el manejo manual de sacos de caseinato de 25 kg genera polvo inhalable de 0.1 a 27 mg/m³, supera el límite de 10 mg/m³ de la NOM-010-STPS-2014 puede causar asma ocupacional y disminución respiratoria. Como lo reposta la literatura en trabajadores expuestos a proteínas lácteas en polvo (Sripaiboonkij et al., 2015; Afanou et al., 2024). De acuerdo con fichas técnicas y de seguridad consultadas, se requiere para su manejo, uso de mascarilla P100, gogles y guantes de nitrilo. Además, las sales fundentes (fosfato de sodio) queman los ojos de acuerdo con las hojas de seguridad.

Por otra parte, si es el caso de análogo de proteína vegetal, el cual lleva en su formulación, aislado de proteína de chícharo o soya 80-90%, almidón de chícharo, aceite de canola, levadura nutricional; cuyo manejo también exige mascarilla N95, overol y sistema de extracción de partículas de acuerdo con las fichas técnicas. De hecho, el aislado de chícharo/soya es el más volátil de todos, polvo impalpable que se queda suspendido incluso hasta por 20 min, lo que afecta la salud de los trabajadores. En la hoja de seguridad de empresa francesa refiere que cuando el polvo se encuentra suspendido en el aire por encima de determinada concentración, puede formar una mezcla explosiva polvo-aire, la SDS reporta una concentración mínima explosiva (MEC) de 30–60 g/m³ e indica sensibilidad al riesgo de

ignición por descarga electrostática. Además, representa riesgo químico para los trabajadores, pues el polvo puede irritar los ojos y el sistema respiratorio (Roquete, 2024). De acuerdo con el análisis de campo que realizamos, el queso tradicional- artesanal de Lagos genera empleo con riesgo químico por sustancias de limpieza, mientras que el análogo industrial además de este riesgo químico por el uso de estas sustancias genera riesgo ocupacional por los ingredientes que al final son sustancias químicas cuyo manejo no está controlado por las microempresas.

Por otra parte, también en el contexto social, hay una diferencia nutricional importante, el queso elaborado con leche es un alimento denso en nutrientes (proteínas complejas, calcio y vitaminas), mientras que el análogo de queso es fundamentalmente un alimento ultraprocesado diseñado para replicar propiedades funcionales (fundido, textura, sabor) utilizando almidones y aceites, estos representan una excelente alternativa funcional para personas veganas, con alergia a la proteína de leche de vaca o intolerancia severa a la lactosa; sin embargo, desde el punto de vista estrictamente nutricional, no son un sustituto equitativo del queso de leche si no están fortificados adecuadamente en proteínas, calcio y vitamina B12. Hay diferencias significativas en proteína, calcio y sodio entre queso lácteo y alternativas no lácteas, aunque la magnitud de las diferencias depende considerablemente de la formulación (Craig et al., 2022).

En nuestra investigación, se realizó un análisis de acuerdo con las características propias del queso lácteo y de acuerdo con la formulación publica de los análogos de queso como se muestra en la tabla 1. Para el análisis también se consideró el proceso de producción observado en cuatro empresas de queso semi artesanal y en dos empresas de análogos de queso, no se integran los nombres por confidencialidad de estas.

Tabla 1. Comparativa entre queso de leche y producto análogo.

Aspecto	Queso de leche	Análogo de queso (sin matriz láctea)
Ingredientes base	Leche entera/semidesnatada, cuajo, fermentos lácticos y sal. Matriz láctea natural.	Agua, aceites vegetales (palma, coco), almidones modificados, saborizantes, colorantes y estabilizantes.
Proteínas	Es de alto valor biológico: Contiene caseína y proteínas del suero con todos los aminoácidos esenciales de fácil digestibilidad.	Nula o baja: la mayoría no contiene proteína. Si contienen (soja, frutos secos, guisante), el perfil proteico suele ser inferior o incompleto salvo formulaciones específicas.
Grasas	Aporta grasas saturadas de origen animal, colesterol y ácidos grasos bioactivos.	Libre de colesterol. Sin embargo, suele ser rico en grasas saturadas hasta en un 60% de origen vegetal (aceite de coco/palma) o grasas refinadas/hidrogenadas.
Vitamina B12 y micronutrientes	Por su origen aporta de forma natural vitamina B12, vitamina A, riboflavina (B2) y zinc.	Carece de vitamina B12 y vitaminas liposolubles salvo que sea expresamente fortificado.

Carbohidratos e índice glucémico (IG)	Muy bajo en carbohidratos. Parte de la lactosa se degrada durante el proceso. IG bajo.	Alto contenido de almidones modificados y féculas (maíz), lo que incrementa el IG del producto.
Lactosa y alérgenos	Contiene lactosa (variable según maduración) y caseína (alérgeno común en la infancia).	100% Libre de lactosa. Ideal para personas con intolerancia severa a la lactosa o alergia a la proteína de la leche de vaca, siempre y cuando no se usen caseinatos.
Aditivos y procesamiento	Alimento de procesamiento mínimo a moderado, por sus ingredientes, leche, cuajo, NaCl.	Alimento ultraprocesado. Requiere múltiples aditivos (gomas, emulsificantes, aromas artificiales, correctores de acidez).
Efectos e implicaciones para la salud	Contribuye a la salud ósea y muscular. Su consumo moderado se asocia a un efecto neutro o protector cardiovascular gracias a la "matriz láctea".	Apto para dietas veganas y control del colesterol. No obstante, un consumo frecuente de grasas saturadas vegetales y almidones refinados puede no aportar beneficios osteomusculares.

Fuente: Elaboración propia.

En este mismo sentido es importante hacer mención de un estudio en Estados Unidos se realizó un análisis y evaluación de contenido nutricional de 245 análogos de queso, solo el 3 % de estas alternativas al queso contenía 5 g o más de proteína, el 60 % presentaba niveles elevados de grasas saturadas, y solo el 15 % tenía niveles bajos de sodio, la mediana general encontrada fue de aproximadamente 190 mg de sodio por porción, y dependiendo del tipo de análogo el contenido promedio fue de 130–270 mg por porción; en síntesis, pocos de estos productos podían considerarse buenas fuentes dietéticas de proteína o calcio (Craig et al., 2022). El contenido de sodio de los análogos de queso representa el 10% del sodio diario recomendado para un adulto por la Organización Mundial de la Salud; y es proporcional al contenido de sodio por porción de queso panela de leche, cuyo contenido de sodio representa el 13% del consumo recomendado (Ramírez et al., 2016).

En nuestro análisis se consideraron los porcentajes para el análogo queso para fundir (tipo asadero y rallado para pizza), y no como características generales de todos los análogos de queso. Asimismo, se consideró la presencia de fosfatos inorgánicos empleados como sales emulsificantes, cuya elevada biodisponibilidad y posible relación con efectos cardiorrenales, particularmente en condiciones de exposición elevada y enfermedad renal crónica, lo que ha sido reportado por Ritz et al. (2012) y por Calvo et al. (2023). Estos porcentajes de sodio corresponden a procesos estandarizados, sin embargo, en lo que se ha observado en las empresas de Lagos de Moreno de análogos de queso, y de acuerdo con lo comentado por los trabajadores, las formulaciones se realizan en cuanto a NaCl y sales fundentes “al tanteo”, no hay estandarización en los procesos; lo que podría representar un contenido mayor de sodio por porción.

Conclusiones

Finalmente, el análisis preliminar de la producción de queso lácteo y análogos de queso en Lagos de Moreno, Jalisco, sugiere que la transición hacia sistemas alimentarios más

sostenibles no necesariamente implica la sustitución de un producto por otro, sino la búsqueda de alternativas que reduzcan los impactos ambientales sin comprometer la economía y el desarrollo de la cadena láctea regional. En este contexto, el fortalecimiento de prácticas ganaderas sostenibles, el aprovechamiento integral de subproductos y la incorporación responsable de materias primas alternativas pueden contribuir a una mayor circularidad de los sistemas productivos. Particularmente, la elaboración artesanal de queso de leche mantiene vínculos directos con la producción primaria, el empleo y la generación de valor local, aspectos relacionados con los principios de bioeconomía circular y con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico) y 12 (Producción y Consumo Responsables), en primera instancia.

Literatura citada

- Bava, L., Bacenetti, J., Gislon, G., Pellegrino, L., D'Incecco, P., Sandrucci, A., Tamburini, A., Fiala, M., & Zucali, M. (2018). Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese. Science of the Total Environment, 626, 1200–1209. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.143
- Bachmann, H. P. (2001). Cheese analogues: A review. *International Dairy Journal, 11*(4–7), 505–515. https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00073-5
- Calvo, M. S., Dunford, E. K., & Uribarri, J. (2023). Industrial use of phosphate food additives: A mechanism linking ultra-processed food intake to cardiorenal disease risk? *Nutrients, 15*(16), 3510. https://doi.org/10.3390/nu15163510
- Craig, W. J., Mangels, A. R., & Brothers, C. J. (2022). Nutritional Profiles of Non-Dairy Plant-Based Cheese Alternatives. *Nutrients*, 14(6), 1247. https://doi.org/10.3390/nu14061247
- Diario Oficial de la Federación. (2018, 22 de junio). NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018, Queso-Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. Secretaría de Economía.
- Diario Oficial de la Federación. (2020, 27 de marzo). Modificación a la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. Secretaría de Economía.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2016). Fundamentals of cheese science (2nd ed.). *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9
- Fundación Aquae. (s. f.). ¿Cuánta agua se necesita para producir alimentos? Fundación Aquae.
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. (2018). NMX-SAA-14067-IMNC-2018, Gases de efecto invernadero-Huella de carbono de productos. IMNC.
- García Galaz, A., Espinosa Plascencia, A., & Quintana Esquivel, I. (2023, 2 de junio). Quesos artesanales: Un alimento insustituible en la gastronomía mexicana. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. https://www.ciad.mx/quesos-artesanales-un-alimento-insustituible-en-la-gastronomia-mexicana/
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. (2020). NMX-SAA-14064-1-IMNC-2020, Gases de efecto invernadero-Parte 1: Especificación para la cuantificación e informe de emisiones. IMNC.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Minimonografía Jalisco: Censos Económicos 2024. INEGI. Disponible en:

https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ce/2024/doc/mjal_ce24.pdf?utm_source=chatgpt.com. [junio 2026].

- Masotti, F., Cattaneo, S., Stuknytė, M., & De Noni, I. (2018). Status and developments in analogue cheese formulations and functionalities. *Trends in Food Science & Technology, 74*, 158–169. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.016
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 1577–1600. https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems, 15, 401–415. https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). GLEAM 3.0: Global Livestock Environmental Assessment Model. FAO.
- Procuraduría Federal del Consumidor. (2023). Estudio de calidad de quesos panela e imitaciones. Revista del Consumidor, 554, 45-62.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Jalisco. (2024). Padrón ganadero y producción lechera en Altos Norte de Jalisco 2023-2024. Gobierno de Jalisco.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2024). Factores de emisión para el Registro Nacional de Emisiones (RENE) y calculadora de emisiones de GEI 2024. SEMARNAT.
- PROFECO (2011). Estudio de calidad de quesos panela e imitaciones. Revista del Consumidor 413. *Sitio Web*, [PDF], México CDMx, disponible en: https://bibliotecadelconsumidor.profeco.gob.mx/contenido/revista [25 junio 2026].
- Ramírez-Navas, J. S., Aguirre-Londoño, J., Aristizábal-Ferreira, V. A., & Castro-Narváez, S. (2017). La sal en el queso: diversas interacciones. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 303–316. https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21909
- Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. K., & Mann, J. (2012). Phosphate additives in food—A health risk. *Deutsches Ärzteblatt International, 109*(4), 49–55. https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0049
- Rodríguez-Ramírez, R., Santiago-López, L., Beltrán-Barrientos, L. M., Méndez-Romero, J. I., Hernández-Mendoza, A., Vallejo-Cordoba, B., & González-Córdova, A. F. (2025, 28 de agosto). Quesos artesanales mexicanos e inteligencia artificial: Un binomio por la calidad, seguridad e identidad. *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.*
- Roquette Frères. (2024). Safety data sheet: NUTRALYS® PEA 850F-EXP (Version 1.1, Product sheet No. 000000202585). Roquette Frères.
- Salas-Vargas, C., Brunett-Pérez, L., Espinosa-Ortiz, V. E., & Martínez-García, C. G. (2021). Environmental impact of Oaxaca cheese production and wastewater from artisanal dairies under two scenarios in Aculco, State of Mexico. *Journal of Cleaner Production, 311*, 127586. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127586
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s. f.). Anuario estadístico de la producción ganadera. Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. *Sitio Web,* disponible en*:* https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_pecuario/, [Julio 2026].
- Secretaría de Economía & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2019). Norma Oficial Mexicana NOM-223-SCFI/SAGARPA-2018,

Queso—Denominación, especificaciones, información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación.

- Villegas de Gante, A., & Cervantes Escoto, F. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. Estudios Sociales, 19(38), 145-164. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572011000200006

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Administración y contabilidad básica para la gestión de recursos y rentabilidad de pequeñas unidades de producción agropecuaria en la región oriente de Tlaxcala

Efraín García Palacios[1], Anabel Muñoz Hernández[2], Imelda Vargas Abasolo[3]

Resumen

Las pequeñas unidades de producción agropecuaria de la región oriente del estado de Tlaxcala representan una fuente importante de ingresos y alimentos; sin embargo, enfrentan dificultades para administrar y registrar de manera sistemática sus recursos, ingresos, egresos y costos, lo que limita el conocimiento de su rentabilidad y la toma de decisiones. La investigación tuvo como objetivo analizar las condiciones administrativas, productivas y económicas de pequeñas unidades de producción agrícola y pecuaria de tres comunidades de la región, así como identificar prácticas de administración, mecanismos de registro y principales problemáticas económicas. Se desarrolló un estudio mixto, aplicado, descriptivo y exploratorio, mediante estudios de caso múltiples y trabajo de campo. Se analizaron tres unidades: producción de agave para pulque, porcinos y bovinos para leche. La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, observación directa y registros contables durante tres meses, posteriormente sistematizados y triangulados. Los resultados evidenciaron que, aunque existen unidades con resultados económicos positivos, persisten problemas relacionados con costos de alimentación, bajos precios de productos, limitada transformación y riesgos asociados con agua, clima y comercialización. Se concluye que la administración y contabilidad básica fortalecen la gestión de las unidades, permiten visualizar el uso de los recursos e identificar oportunidades de mejora. Su incorporación, acompañada de capacitación y registros periódicos, puede favorecer una toma de decisiones más fundamentada y la sostenibilidad productiva.

Palabras clave: administración agropecuaria; contabilidad básica; unidades de producción; rentabilidad; gestión de recursos.

Abstract

Small-scale agricultural and livestock production units in the eastern region of Tlaxcala state represent a significant source of income and food; however, they face difficulties in systematically managing and recording their resources, income, expenses, and costs, which limits the understanding of their profitability and hinders decision-making. This research aimed to analyze the administrative, productive, and economic conditions of small agricultural and livestock units across three communities in the region, as well as to identify management practices, record-keeping mechanisms, and key economic challenges.A mixed-methods, applied, descriptive, and exploratory study was conducted using multiple case studies and fieldwork. Three types of units were analyzed: agave production for pulque, swine production, and dairy cattle farming. Data were gathered through semi-structured interviews, direct observation, and the review of accounting records over a three-month period; the information was subsequently systematized and triangulated. The results revealed that, while some units achieve positive economic outcomes, persistent issues remain regarding feed costs, low product prices, limited value-added processing, and risks associated

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, efrayin.palacios@gmail.com
[2] Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, anabela.mudez@gmail.com
[3] Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, imeldavargas.a@gmail.com

with water, climate, and marketing. The study concludes that basic management and accounting practices strengthen unit operations, provide visibility into resource utilization, and help identify opportunities for improvement. Adopting these practices—supported by training and periodic record-keeping—can foster more informed decision-making and enhance productive sustainability.
Keywords: agricultural management; basic accounting; production units; profitability; resource management.

Introducción

Las pequeñas unidades de producción agropecuaria constituyen una parte importante de la dinámica económica y social de las comunidades rurales de México. En ellas se desarrollan actividades agrícolas y pecuarias que permiten generar ingresos, producir alimentos, aprovechar los recursos disponibles y mantener conocimientos y prácticas productivas transmitidas entre generaciones. Sin embargo, el desarrollo de estas actividades no depende únicamente de la capacidad productiva de los agricultores y ganaderos, sino también de la manera en que administran los recursos económicos, materiales, humanos y naturales que intervienen en sus procesos productivos. En este sentido, la administración y la contabilidad representan herramientas fundamentales para conocer la situación real de una unidad de producción y orientar las decisiones necesarias para mejorar su funcionamiento.

Es frecuente que, en las pequeñas unidades de producción familiar las actividades económicas se desarrollen a partir de la experiencia del productor y de conocimientos adquiridos a lo largo de los años. Esta experiencia constituye una fortaleza, pues permite enfrentar condiciones cambiantes relacionadas con el clima, los precios, la disponibilidad de insumos y las necesidades del mercado. No obstante, cuando las operaciones económicas no se registran de manera ordenada, pueden presentarse dificultades para conocer cuánto se invierte, cuánto se gasta, cuánto se obtiene por la venta de los productos y, principalmente, cuál es la ganancia real que genera la actividad.

Por esta razón, la incorporación de principios básicos de administración y contabilidad puede representar una herramienta accesible para mejorar la gestión de las pequeñas unidades de producción. La contabilidad permite registrar, clasificar y organizar las operaciones económicas que se realizan durante el proceso productivo, mientras que la administración proporciona elementos para planear, organizar, dirigir y controlar los recursos disponibles. Ambas disciplinas pueden complementarse para generar información útil que permita al productor conocer el comportamiento económico de su actividad y tomar decisiones sustentadas en información y no únicamente en percepciones o estimaciones.

En el contexto de la región oriente del estado de Tlaxcala, las actividades agropecuarias representan una oportunidad para analizar la relación existente entre producción y administración de recursos. Las unidades agrícolas y pecuarias presentan características diferentes dependiendo de la actividad desarrollada, la disponibilidad de tierra, el tamaño del hato o inventario, la infraestructura, los sistemas de producción y los canales de comercialización. Sin embargo, independientemente de estas diferencias, todas requieren recursos económicos para funcionar y todas generan entradas y salidas que pueden ser registradas y analizadas. Por ello, estudiar la administración y contabilidad de estas unidades

permite aproximarse a una problemática común: la necesidad de conocer con mayor precisión cómo se utilizan los recursos y cuál es el resultado económico de la actividad productiva.

La presente investigación plantea la importancia de analizar las prácticas básicas de administración y contabilidad en pequeñas unidades de producción agrícola y pecuarias. El objetivo fundamental es analizar las condiciones administrativas, productivas y económicas de pequeñas unidades de producción agrícola y pecuaria de tres comunidades de la región oriente de Tlaxcala. Bajo esta perspectiva, el fortalecimiento de la gestión administrativa y contable puede contribuir a que las pequeñas unidades de producción de Cuapiaxtla tomen decisiones más informadas y desarrollen estrategias orientadas a mejorar su eficiencia, rentabilidad y permanencia a largo plazo.

Materiales y métodos

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, debido a que integró información de carácter cualitativo y cuantitativo para analizar las condiciones de pequeñas unidades de producción agrícola y pecuaria. El componente cualitativo permitió conocer las características de los productores, sus prácticas productivas, formas de organización, problemas percibidos y estrategias de manejo, mientras que el componente cuantitativo permitió registrar y analizar los ingresos y egresos generados durante un periodo determinado.

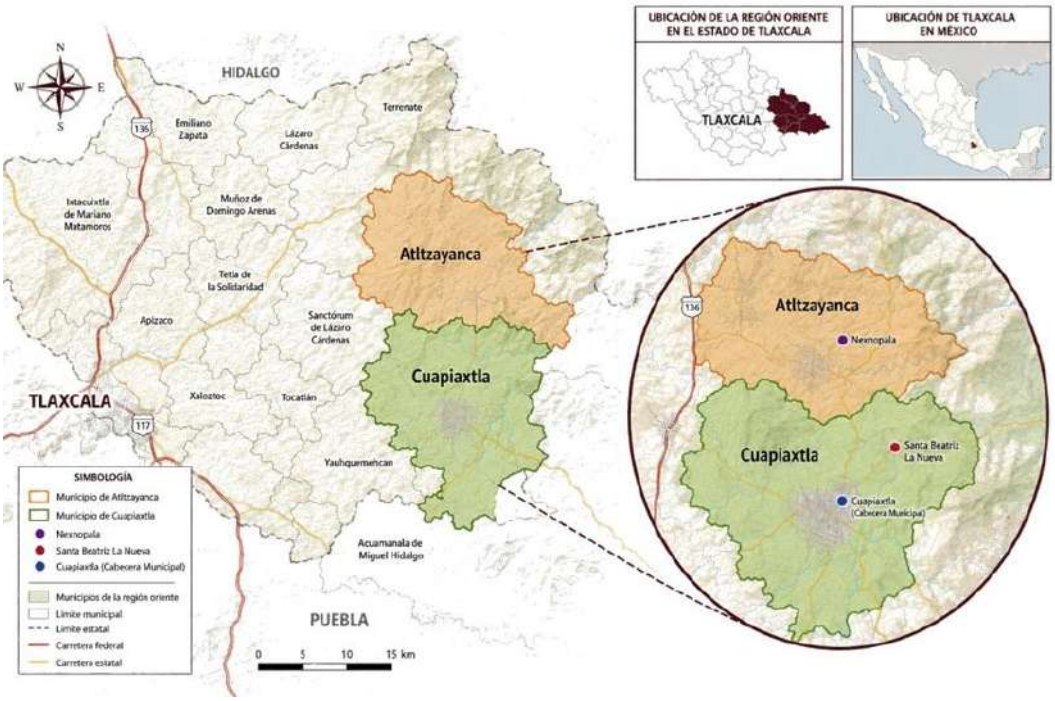
Corresponde a un estudio aplicado, descriptivo y exploratorio, debido a que no se limitó a generar información sobre las unidades de producción, sino que buscó utilizar los resultados obtenidos para identificar problemas concretos y plantear alternativas de mejora. Asimismo, se empleó la modalidad de estudios de caso múltiples, ya que se analizaron unidades de producción pertenecientes a diferentes comunidades y con actividades agrícolas y pecuarias diversas.

El estudio tuvo además un componente de investigación de campo, debido a que la información fue obtenida directamente de los productores y/o campesinos mediante recorridos y observaciones realizadas en las unidades de producción. Cabe destacar que los estudios de caso corresponden a un productor agrícola de agave para pulque, productor de mediana escala de porcinos y productor de escala menor de bovinos para leche, productores representativos en la región.

Área de estudio

La investigación se desarrolló en tres comunidades pertenecientes a la región oriente del estado de Tlaxcala: una comunidad Nexnopala, municipio de Atltzayanca y las comunidades de Santa Beatriz La Nueva y Cuapiaxtla, en el municipio de Cuapiaxtla (Figura 1).

Esta región se caracteriza por presentar una importante presencia de actividades agropecuarias, las cuales constituyen una fuente de ingresos y de abastecimiento de alimentos para numerosas familias. La agricultura y la ganadería se desarrollan bajo diferentes escalas y condiciones productivas, desde unidades familiares orientadas principalmente al autoconsumo hasta aquellas que destinan parte de su producción al mercado.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, (2020), *Marco Geoestadístico Municipal*.

Figura 1. Ubicación geográfica de los municipios de Atltzayanca y Cuapiaxtla, Tlaxcala.

Caracterización regional

Los municipios de Atltzayanca y Cuapiaxtla se localizan en el oriente de Tlaxcala, región en la que las actividades agropecuarias mantienen una importancia significativa para la economía de las familias rurales. En el territorio se desarrollan cultivos agrícolas y actividades pecuarias que pueden combinarse dentro de una misma unidad familiar, generando sistemas diversificados de producción.

Las condiciones ambientales, económicas y sociales de la región determinan en buena medida las posibilidades productivas de las familias. La disponibilidad de tierra, agua, infraestructura, maquinaria, mano de obra e insumos influye directamente en la capacidad de cada productor para desarrollar sus actividades. A ello se suman factores externos como el precio de los productos, costo de los insumos, disponibilidad de mercados y condiciones climáticas.

Una característica importante de las pequeñas unidades de producción de la región es la participación de la familia en las actividades productivas. En estos sistemas, los recursos económicos y productivos suelen estar estrechamente vinculados con las necesidades del hogar, por lo que resulta particularmente importante conocer cómo se distribuyen los ingresos y egresos y qué proporción de los recursos se reinvierte en la propia unidad de producción.

La selección de comunidades de ambos municipios permitió aproximarse a diferentes realidades productivas y observar las semejanzas y diferencias existentes entre las unidades estudiadas. No se buscó establecer una representación estadística de todos los productores de

la región, sino analizar casos concretos que permitieran identificar prácticas administrativas, problemáticas económicas y oportunidades de mejora.

Etapas de la investigación

Inicialmente se realizó la búsqueda y contacto con productores agrícolas y pecuarios de las comunidades seleccionadas. Una vez identificados los productores interesados, se realizó un primer acercamiento para conocer de manera general las características de cada unidad de producción.

Posteriormente se realizó un diagnóstico de cada unidad mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa de campo. Dicha información permitió recopilar información respecto a las características de la unidad productiva, antigüedad en la actividad, superficie, infraestructura, propósito de su unidad de producción, especies y cultivos, recursos disponibles, mano de obra (familiar o contratada), insumos utilizados, adquisición de insumos, canales de comercialización, ingresos, gastos y formas tradicionales de administración. La observación de campo permitió complementar la información proporcionada durante las entrevistas y verificar directamente las condiciones de las unidades de producción.

Durante los recorridos se observaron aspectos como infraestructura, manejo de cultivos y animales, disponibilidad de recursos, almacenamiento de insumos, condiciones de trabajo, organización de las actividades y procesos de comercialización.

Una vez realizado el diagnóstico inicial, a cada productor participante se le proporcionó un libro contable básico, diseñado para registrar de manera sencilla y cronológica las operaciones económicas de la unidad de producción. Se explicó a cada participante la forma de registrar la información, procurando utilizar categorías sencillas y comprensibles. El registro se realizó durante un periodo de tres meses, procurando que cada operación fuera registrada conforme ocurría.

Finalmente, una fase de levantamiento y sistematización de información en la que los datos fueron organizados y sistematizados en una matriz de análisis, clasificando las operaciones de acuerdo con su naturaleza. El análisis no se limitó a determinar si existía una diferencia positiva o negativa entre ingresos y egresos, sino que buscó conocer cómo se distribuyeron los recursos económicos y cuáles fueron los conceptos que tuvieron mayor peso dentro de cada sistema productivo. La triangulación entre entrevista, observación y registros contables permitió contrastar la percepción del productor con la información económica registrada y con las condiciones observadas directamente en campo.

Resultados y discusión

La integración de los tres estudios de caso permitió identificar, desde una perspectiva transversal, la importancia que tiene la administración básica de los recursos económicos en pequeñas unidades de producción agrícola y pecuaria. Aunque las actividades analizadas presentan diferencias importantes —producción y comercialización de pulque, producción porcina y producción bovina lechera—, los tres casos muestran una problemática común: la

actividad productiva se encuentra relativamente organizada desde el punto de vista técnico, pero el registro y análisis de la información económica es menos sistemático.

Los resultados, derivado de las formas de abordaje en campo, no se limitaron a determinar si las unidades generaban ingresos, sino que buscaron establecer cómo se distribuyen los recursos, cuáles son los principales conceptos de gasto, qué fuentes generan ingresos y cuáles son las principales limitaciones administrativas que pueden afectar su desempeño económico.

Es importante señalar que los resultados económicos corresponden a los periodos de registro (marzo a mayo de 2026) y a los estados financieros elaborados en cada estudio de caso. Por ello, no deben interpretarse como una medida anual homogénea ni como una generalización estadística de todas las unidades de producción de la región. Su valor radica en mostrar, mediante casos concretos, cómo un sistema sencillo de registro puede revelar aspectos económicos que difícilmente son identificables cuando el productor administra su actividad únicamente mediante la memoria o registros informales.

Caracterización y análisis comparativa de las unidades de producción

Los tres estudios muestran sistemas productivos con diferente orientación económica. El caso del pulque presenta una cadena productiva que inicia con el cultivo y aprovechamiento del maguey y continúa con la extracción de aguamiel, fermentación, preparación de pulque natural y curados y comercialización. El productor cuenta con cinco hectáreas y aproximadamente 1,000 plantas de maguey, ocho tinas de madera con capacidad de 1,000 litros y diversos medios tradicionales y modernos para el transporte y procesamiento. La comercialización se realiza tanto en la comunidad como hacia San Rafael Lara Grajales, Puebla, donde existen establecimientos que reciben el producto mediante pedidos anticipados.

Por su parte, la unidad porcina presenta una mayor especialización pecuaria. Se registraron 165 porcinos, incluyendo sementales, vientres, animales en destete y animales destinados a finalización. La producción combina diferentes líneas genéticas, principalmente cruzas de Landrace, Yorkshire, Duroc y Pietrain. El ciclo comprende reproducción, maternidad, destete y engorda hasta aproximadamente 100-120 kg, momento en que los animales son comercializados. La unidad cuenta con un mercado local y regional consolidado y reporta alrededor de cinco ventas semanales.

Finalmente, la unidad de producción bovina lechera cuenta con 16 bovinos Holstein, de los cuales cinco se encuentran en producción, dos en gestación y nueve corresponden a becerros. El sistema es estabulado y la actividad se complementa con producción agrícola, aprovechando maquinaria, cultivos y forrajes generados por el propio productor. La familia participa directamente en alimentación, limpieza, ordeña y comercialización.

Cuadro 1. Características generales de los tres estudios de caso

Variable	UP de pulque	UP porcina	UP bovina lechera
Actividad principal	Producción y comercialización de pulque	Cría y engorda de porcinos	Producción de leche
Recurso productivo destacado	5 ha y 1,000 magueyes	165 porcinos	16 bovinos Holstein
Principales ingresos	Pulque natural y curados	Venta de porcinos	Venta de leche y becerros
Principales egresos	Aguamiel, insumos, mano de obra, fletes	Alimentación, mano de obra, medicamentos	Forraje, suplementos, medicamentos, reproducción
Comercialización	Local y regional	Local y regional	Comprador fijo
Mano de obra	Contratada y familiar	Contratada	Principalmente familiar
Registro previo	Limitado/informal	Libreta general	Sin sistema contable formal
Libro contable	Implementado	Implementado	Implementado

Fuente: elaboración propia con base en los estudios de caso.

En la tabla anterior comparada entre los sistemas de producción se evidencia que la administración económica debe adaptarse al sistema productivo. No es posible utilizar exactamente los mismos indicadores para un sistema de producción de pulque, una granja porcina y una unidad lechera. Sin embargo, sí es posible utilizar una estructura común basada en registro, clasificación, análisis y evaluación de ingresos y egresos.

Condiciones productivas, administrativas y económicas

El diagnóstico inicial permitió identificar que las tres unidades poseen recursos productivos importantes, pero también presentan limitaciones relacionadas con el manejo de la información económica.

En el caso del pulque, existe una importante experiencia productiva y conocimiento del proceso tradicional. La unidad integra actividades agrícolas, extracción de aguamiel, transformación y comercialización, lo que representa una ventaja al disponer de diferentes eslabones de la cadena productiva. Sin embargo, se identificaron problemas relacionados con la disponibilidad y calidad de la materia prima, agua, condiciones climáticas, costos, competencia y logística. En materia administrativa se señala específicamente un manejo inadecuado de registros financieros, dificultades para calcular costos precisos y ausencia de asesoría especializada.

La unidad porcina presenta una situación diferente. Por un lado, dispone de infraestructura especializada, mercado local y regional, tierras agrícolas y capacidad para producir parte de los ingredientes utilizados en la alimentación. Sin embargo, el diagnóstico mostró que el principal componente del gasto corresponde a la alimentación. El productor estima un consumo de aproximadamente 640 kg de alimento semanal, con un costo promedio de $11.50/kg.

Respecto a la unidad bovina lechera se identificó una fuerte integración entre agricultura y ganadería. El productor genera parte de los recursos alimenticios mediante sus cultivos, dispone de maquinaria agrícola y utiliza estiércol como fertilizante. Esta integración constituye una fortaleza, debido a que algunos recursos que en otras unidades representarían un gasto monetario pueden ser producidos internamente. Sin embargo, la principal debilidad administrativa identificada fue la falta de conocimiento para llevar registros contables. El diagnóstico señala que el productor no llevaba una administración contable adecuada y que requería registrar de manera detallada alimentación, atención veterinaria, mano de obra e ingresos provenientes de la venta de leche y otros productos.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Mercado y Yáñez (2023), quienes, al analizar tres unidades agrícolas familiares de temporal en Tecajec, Morelos, encontraron que el análisis económico requiere considerar tanto los costos monetarios como aquellos asociados con el trabajo y la organización familiar. Su estudio mostró que una unidad puede presentar un excedente aparentemente positivo y, sin embargo, resultar insuficiente cuando se incorporan los costos imputados de la mano de obra y la reproducción del capital.

Esta comparación resulta particularmente relevante para los estudios aquí analizados, porque una de las principales limitaciones del registro convencional es que el productor tiende a considerar como costo únicamente aquello que paga en efectivo. La mano de obra familiar, el uso de maquinaria propia, el terreno, la depreciación de instalaciones o el uso de recursos producidos dentro de la propia unidad pueden quedar invisibilizados.

Análisis de la estructura económica de las unidades de producción

La implementación del libro contable en los estudios de caso constituyó uno de los principales aportes del proyecto. En los tres casos se diseñaron formatos relativamente sencillos para registrar fecha, concepto, unidad, cantidad, precio unitario y total. En la unidad bovina, el productor recibió orientación directa y posteriormente se realizaron visitas periódicas para verificar el llenado correcto del instrumento. A su vez, en la unidad porcina, el productor ya realizaba algunos registros en hojas de libreta; sin embargo, el nuevo formato permitió estructurar la información y diferenciar claramente las entradas y salidas. El libro contable permitió posteriormente construir la ruta de producción y comercialización, así como elaborar el estado de resultados.

Cuadro 2. Principales resultados económicos identificados

Indicador	Pulque	Porcinos	Bovinos lecheros
Ingresos identificados	$1,106,720.00*/anual	$347,283.00/c 4meses	$750/día aprox.**
Principal fuente de ingreso	Pulque natural y curados	Venta de porcinos	Venta de leche
Principal egreso	Materia prima e insumos	Alimentación	Alimentación
Egreso principal cuantificado	$45,866.60 aguamiel + $28,632 costos indirectos	$214,064 alimentación/granos	$469.04/día alimentación
Mano de obra registrada	$3,780	$35,700	Principalmente familiar

Utilidad neta reportada	$984,039.40*	$46,302.00	No se presenta en el documento con la misma base contable
Observación principal	Alta participación del producto transformado	Alimentación determina gran parte del costo	Bajo precio de leche y dependencia de insumos

* Estado de resultados presentado en el expediente; no debe confundirse automáticamente con el flujo de efectivo de únicamente tres meses.
** Ingreso promedio reportado por venta de aproximadamente 75 l/día a un precio de $10/l.
Fuente: elaboración propia con base en los estudios de caso.

El caso del pulque, los ingresos reportados son de todo un año y presentan el mayor volumen monetario de los estados de resultados disponibles. Se reportaron ingresos por $503,560 derivados de pulque natural y $603,160 por pulque de sabores, para un total de $1,106,720 anuales. Los costos de venta ascendieron a $78,278.60, integrados principalmente por aguamiel ($45,866.60), mano de obra ($3,780) y costos indirectos ($28,632). Después de gastos de operación, venta y depreciación, el estado reporta una utilidad neta de $984,039.40.

El dato más importante, sin embargo, no es únicamente la elevada utilidad reportada, sino la estructura de generación de valor. La mayor parte del ingreso proviene del pulque de sabores, lo que muestra que la transformación y diferenciación del producto constituyen una estrategia comercial relevante. Esto coincide con las propuestas planteadas en el propio diagnóstico, donde se identificó como oportunidad la diversificación de productos y la expansión hacia nuevos mercados.

El caso porcino presenta una estructura económica considerablemente diferente, los ingresos reportados corresponden a un ciclo de producción que en promedio es de 4 meses. Los ingresos por venta de animales finalizados fueron de $347,283, mientras que los gastos de producción alcanzaron $259,279. De este último monto, $214,064 correspondieron a alimentos y granos, $35,700 a mano de obra, $8,698 a medicamentos y $817 a insumos para manejo. Después de considerar gastos de operación, depreciación y combustible, la utilidad neta reportada fue de $46,302. Esto significa que aproximadamente 82.6 % de los gastos directos de producción registrados correspondieron a alimentación y granos ($214,064/$259,279). El resultado confirma que la alimentación constituye el principal punto de control económico de la unidad.

Este comportamiento coincide claramente con estudios realizados en unidades porcinas mexicanas. Martínez-Medina *et al*. (2015), al analizar once unidades representativas de producción porcina, encontraron que el alimento constituía 75.9 % del costo de producción, seguido por medicamentos, mano de obra y combustibles. Asimismo, estudios de viabilidad de unidades porcinas han identificado que la alimentación y la mano de obra son los componentes más importantes del costo total, particularmente en unidades de menor escala.

Por tanto, el resultado obtenido no constituye una situación aislada, sino que responde a una característica estructural de la porcicultura: pequeñas variaciones en el costo del alimento pueden modificar sustancialmente el margen económico de la actividad.

En la unidad bovina lechera, la información mostró que el productor obtiene aproximadamente 75 litros de leche diarios, generando alrededor de $750 diarios por esta actividad. También existen ingresos ocasionales derivados de la venta de becerros machos y animales descartados. El periodo de ingresos se reporta por día, debido a que los ciclos por animal en la producción de leche son de 9 meses, sin embargo, la producción es constante por los ciclos productivos y reproductivos de las demás hembras en producción. Por el lado de los egresos, la alimentación representa nuevamente el principal componente. Se estimó un gasto diario de $160 en forraje y $309.04 en premezcla, melaza y laxante, para un total aproximado de $469.04 diarios, sin considerar otros gastos como medicamentos, reproducción, mano de obra familiar, depreciación o infraestructura.

La comparación entre $750 diarios de ingreso por leche y $469.04 diarios de alimentación muestra que aproximadamente 62.5 % del ingreso diario por leche queda comprometido únicamente en alimentación, antes de incorporar sanidad, reproducción, depreciación, agua, mano de obra y otros gastos. Este resultado evidencia la necesidad de evitar una interpretación simplista de que los $750 representan una ganancia diaria.

La importancia de este hallazgo se refuerza con investigaciones realizadas en sistemas lecheros de pequeña escala. Posadas-Domínguez et al. (2014), en productores de Texcoco, encontraron que la alimentación, los medicamentos y los servicios reproductivos constituyen rubros centrales de la estructura de costos y que las estrategias para disminuir costos de alimentación y mejorar la productividad pueden modificar significativamente la utilidad por litro.

Gestión integral de los recursos en las unidades de producción

Uno de los resultados más relevantes de la investigación es que el comportamiento económico no depende exclusivamente del nivel de ingresos, sino de la relación entre ingresos, costos, recursos disponibles y decisiones administrativas. Los tres casos presentan situaciones contrastantes:

- En el pulque existe una importante capacidad de generación de ingresos y transformación del producto.
- En porcinos existe un mercado consolidado, pero una fuerte dependencia de los costos de alimentación.
- En bovinos existe integración agricultura-ganadería y disponibilidad de recursos propios, pero un precio de venta relativamente bajo para la leche.

Esta situación permite observar que el productor no debe preguntarse únicamente *"¿cuánto vendo?"*, sino también *"¿cuánto me cuesta producir lo que vendo?"*. En la unidad porcina, por ejemplo, el productor cuenta con tierras agrícolas y utiliza maíz como parte de la dieta, lo cual puede representar una oportunidad para reducir la dependencia de insumos externos. Sin embargo, el registro mostró que la alimentación continúa representando el principal gasto. A su vez, el análisis FODA identificó como fortalezas la existencia de tierras para producir maíz y forrajes y un mercado local/regional asegurado, mientras que entre las amenazas se encontraron la variación en disponibilidad y precio de los insumos alimentarios.

La información contable permite entonces orientar el FODA hacia aspectos económicos concretos. No se trata únicamente de señalar que existe una "amenaza" por aumento de precios, sino de identificar qué porcentaje de los costos está expuesto a esa amenaza.

Esta lógica también puede aplicarse a la unidad bovina. El productor posee maquinaria agrícola, tierras y capacidad para generar forraje, por lo que una estrategia de administración podría consistir en determinar el costo real de producir internamente cada kilogramo de forraje y compararlo con el precio de adquisición externa. De esta forma, el registro contable se transforma en una herramienta para decidir qué conviene producir y qué conviene comprar.

La investigación realizada en pequeñas unidades agrícolas de Tecajec muestra precisamente la importancia de considerar los costos efectivos e imputados para valorar la verdadera rentabilidad de una actividad familiar. Mercado y Yáñez (2023) encontraron que una de las tres unidades analizadas presentó resultados negativos cuando se incorporaron los costos asociados con la mano de obra y otros componentes económicos.

Por ello, en los estudios de caso analizados se observa la necesidad de avanzar de una contabilidad de caja hacia una contabilidad productiva más completa, que incorpore progresivamente depreciaciones, mano de obra familiar, inventarios, activos productivos y costos de oportunidad.

Análisis estratégico de las unidades de producción

La elaboración de un análisis tipo FODA permitió integrar la información económica con las condiciones productivas, sociales y comerciales de cada unidad.

Cuadro 3. Síntesis transversal del análisis FODA

Unidad	Fortalezas principales	Debilidades principales	Oportunidades	Amenazas
UP Pulque	Tradición, experiencia, calidad, mercado local	Registros contables insuficientes, dependencia de materia prima y agua	Nuevos mercados, productos derivados, diferenciación	Clima, competencia, precios de insumos
UP Porcina	Mercado asegurado, tierras, infraestructura, experiencia	Fuerte peso de alimentación y fugas de recursos	Mayor producción de maíz/forraje, nuevos clientes, manejo de residuos	Precio de insumos, enfermedades, clima
UP Lechera	Forraje propio, mano de obra familiar, raza productiva, integración agrícola-ganadera	Falta de registros, bajo precio de leche, limitada transformación	Productos lácteos, capacitación, tecnologías	Competencia, enfermedades, aumento de alimentos

Fuente: elaboración propia con base en los diagnósticos y matrices FODA de los estudios.

Un elemento transversal es que las fortalezas productivas no siempre se traducen automáticamente en ventajas económicas. La unidad bovina, por ejemplo, posee tierra, maquinaria, forraje propio y mano de obra familiar, pero mantiene debilidades en la comercialización de la leche y en la administración contable.

De igual forma, la unidad porcina presenta mercado y capacidad productiva, pero sus costos alimentarios representan una proporción elevada de los gastos. En el pulque, la transformación permite obtener ingresos importantes, pero la dependencia de agua, materia prima y condiciones ambientales introduce riesgos para la continuidad productiva.

Este resultado coincide con la literatura sobre pequeñas unidades de producción, donde la rentabilidad está relacionada no solamente con la escala, sino con la capacidad de controlar costos, mejorar productividad, aprovechar recursos propios y desarrollar estrategias comerciales. En producción lechera de pequeña escala, por ejemplo, se han identificado diferencias importantes de rentabilidad incluso entre unidades de tamaño semejante, asociadas con ingresos, productividad, precio de venta y costos de alimentación.

Conclusiones

El desarrollo de los tres estudios de caso ha permitido demostrar que la administración y la contabilidad básica constituyen herramientas fundamentales para fortalecer la gestión de las pequeñas unidades de producción agropecuaria, independientemente de que su actividad principal sea agrícola, pecuaria o de transformación. Los casos analizados —producción de pulque, producción porcina y producción bovina lechera— presentan diferencias en sus sistemas productivos, escalas, mercados y estructura de costos; sin embargo, comparten una problemática transversal: la información económica se maneja predominantemente de manera informal y existe un conocimiento limitado sobre la distribución real de los recursos, los costos y los resultados económicos de la unidad de producción.

Asimismo, se evidencia que existe una brecha entre el conocimiento técnico-productivo de los productores y el conocimiento administrativo necesario para gestionar sus unidades como empresas familiares. Reducir esta brecha no requiere inicialmente sistemas contables complejos; puede comenzar con instrumentos sencillos, capacitación básica y registros periódicos que posteriormente permitan incorporar indicadores como costo unitario, margen de ganancia, punto de equilibrio, depreciación y flujo de efectivo.

Finalmente, una de las principales aportaciones de la investigación no consiste únicamente en determinar si una unidad “gana o pierde”, sino en que proporciona al productor información para comprender cómo funciona económicamente su actividad y tomar decisiones con mayor fundamento. La continuidad del registro contable después del periodo de estudio permitiría construir información histórica, comparar ciclos productivos y determinar con mayor precisión el comportamiento económico anual de cada actividad.

En consecuencia, fortalecer las capacidades administrativas de los pequeños productores puede contribuir no sólo a mejorar el control de sus recursos y sus resultados económicos, sino también a incrementar la capacidad de las unidades para planear, adaptarse a cambios en los precios e insumos, identificar oportunidades de diversificación y sostener sus actividades productivas en el largo plazo.

Literatura citada

- Expósito, M. (2003). *Diagnóstico rural participativo: Una guía práctica*. Centro Cultural Poveda. https://biblioteca.clacso.edu.ar/Republica_Dominicana/ccp/20120731033315/diagrural.pdf
- Fernández, C. (2016). *Establo sostenible: Evaluación en granjas de vacuno de leche como estrategia para la mejora de la rentabilidad*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/317399999_ESTABLO_SOSTENIBLE_EVALUACION_EN_GRANJAS_DE_VACUNO_DE_LECHE_COMO_ESTRATEGIA_PARA_LA_MEJORA_DE_LA_RENTABILIDAD
- Franco Sánchez, M. A., Leos Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., Acosta Ramos, M., & García Munguía, A. (2018). Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 9*(2), 391–403. https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1080
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Marco Geoestadístico: diciembre 2020*. INEGI.
- Instituto Tecnológico de Sonora. (2013). *El desafío del desarrollo integral*. https://www.itson.mx/publicaciones/documents/ciencias-economico/eldesafiodesarrollointegral.pdf
- Martínez Medina, I., Val Arreola, D., Tzintzun Rascón, R., Conejo Nava, J. de J., & Tena Martínez, M. J. (2015). Competitividad privada, costos de producción y análisis del punto de equilibrio de unidades representativas de producción porcina. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 6*(2), 193–205. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242015000200005&lng=es&tlng=es
- Mercado Yebra, J., & Yáñez Carrillo, L. (2023). Unidades de producción agrícola y rentabilidad: Tecajec, Yecapixtla, Morelos. *Trace, 83*. https://doi.org/10.22134/trace.83.2023.728
- Nieto, R. (2016). *El cultivo de maguey pulquero (Agave salmiana)*. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. https://upfim.edu.mx/wp-content/investigacion/libros/MagueyPulquero.pdf
- Posadas Domínguez, R. R., Salinas Martínez, J. A., Callejas Juárez, N., Álvarez Fuentes, G., Herrera Haro, J., Arriaga Jordán, C. M., & Martínez Castañeda, F. E. (2014). Análisis de costos y estrategias productivas en la lechería de pequeña escala en el periodo 2000–2012. *Contaduría y Administración, 59*(2), 253–275.
- *Sistema contable y administrativo de una empresa.* (2012, 3 de enero). Universidad de San Francisco Xavier. https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Industrias_de_la_alimentacion/91.pdf
- Zavala-Pineda, M. J., Salas-González, J. M., Leos-Rodríguez, J. A., & Sagarnaga-Villegas, L. M. (2012). Construcción de unidades representativas de producción porcina y análisis de su viabilidad económica en el período 2009–2018. *Agrociencia, 46*(7), 731–743. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000700008&lng=es&tlng=es

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Cadenas cortas agroalimentarias ¿ambientalmente sostenibles? Reflexiones desde el caso del amaranto en la Ciudad de México

Ortiz Martínez María del Pilar[1] y Martínez Salvador Laura Elena.[2]

Resumen

Las cadenas cortas agroalimentarias [CCA] se han presentado como alternativas ambientalmente sostenibles a la actividad tradicional de producción, transformación y comercialización de alimentos debido a su naturaleza de mínima intermediación y acortamiento de eslabones, lo que teóricamente puede generar una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI] y contribuir a minimizar los efectos negativos ambientales de la actividad agroalimentaria. Esto es de especial interés en ámbitos urbanos como: la Ciudad de México [CDMX], los cuales concentran gran parte de la demanda de alimentos y recurren a la producción periurbana para satisfacer dichas demandas. En la CDMX, el amaranto es considerado un alimento identitario de la región periurbana de la capital, con un amplio valor nutricional y potencial agroalimentario, que conserva raíces prehispánicas y que se cultiva en el espacio agrícola de la urbe. En este sentido, se logró identificar, mediante premisas del análisis del ciclo de vida, que si bien la proximidad de los espacios de producción y comercialización periurbana puede contribuir a disminuir la emisiones de GEI en esta cadena, el eslabón de procesamiento (el cual resultó ser el eslabón que mayor emisión de CO2 presentó en la cadena) requiere de implementar técnicas de reventado más sostenibles e innovadoras y que permitan un mejor aprovechamiento de los combustibles o la inserción de métodos basados en energías renovables; de otra forma, los posibles beneficios de las CCA podrían verse opacados por los efectos negativos de los GEI.

Palabras clave: amaranto, cadena corta agroalimentaria, gases de efecto invernadero, periurbano, sostenibilidad

Abstract

Short agri-food supply chains [SASC] have been presented as an en-vironmentally sustainable alternative to the traditional food production, processing, and commercialization models due to their minimal inter-mediation and shortened supply chains. This structure can theoretically reduce greenhouse gas emissions [GHG] and mitigate the negative en-vironmental impacts of agri-food activities. This is particularly relevant in urban settings such as Mexico City [CDMX], where much of the food demand is concentrated and often relies on peri-urban production. In CDMX, amaranth is considered an identity-defining food of the capi-tal's peri-urban region. It has significant nutritional value and agri-food potential, it preserves pre-Hispanic roots, and is cultivated within the ci-ty's agricultural spaces. Through life cycle analysis, it was identified that while the proximity of peri-urban production and commercialization spaces may reduce GHG emissions, the processing stage presents the greatest CO2 emissions and requires more sustainable and innovative popping techniques. These tech-niques should allow for better fuel efficiency or the incorporation of renewable energy methods. Otherwise, the potential benefits of SASC may be outweighed by the negative effects of GHG emissions.

Keywords: amaranth, greenhouse gases, peri-urban, short agrifood chain, sustainability

[1] Instituto Politécnico Nacional. Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 12. Paseo de las Jacarandas 196. Santa María Insurgentes. Delegación Cuauhtémoc. C.P. 06430. Ciudad de México, CDMX, México. mportiz@ipn.mx

[2] Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Sociales. Instituciones Políticas. Circuito Mario de La Cueva s/n, Ciudad Universitaria. C.P.04510. Coyoacán, Ciudad de México, CDMX, México

Introducción

En los últimos años, la tendencia en el consumo de alimentos ha ido girando hacia el impulso de lo "local", así como de las alternativas de producción, transformación y consumo, que partan de la articulación de la producción de pequeña escala y cercanía con el consumidor final y abonen a futuros agroalimentarios más sostenibles (Cui et al., 2024). Ante esto ha surgido con gran fuerza el constructo de cadenas cortas agroalimentarias [CCA], las cuales se han presentado como alternativas que contrarrestan la producción masiva y heterogénea de los alimentos, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental de la actividad agroalimentaria a partir de acortar eslabones y fomentar una alimentación más sostenible (Aubry y Kebir, 2013; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

Estas CCA contribuyen a la vez a la reducción de los flujos, traslados, distancias y transacciones requeridas para la actividad agroalimentaria, por lo que la cercanía física que les caracteriza puede dar como resultado una disminución en la huella de carbono (FAO, 2017).

Las CCA pueden ser definidas como sistemas territoriales (locales) en los que las etapas que atraviesa un bien alimentario de producción, transformación, distribución y consumo están interrelacionadas mediante un número limitado de actores desde su origen hasta su llegada al consumidor final (FAO, 2016; Padilla y Oddone, 2014). Según Canfora (2016), estos sistemas se estructuran mediante relaciones de cooperación, proximidad geográfica y social, y una orientación hacia el desarrollo local. En este sentido, la proximidad geográfica, en torno a los alimentos, proporciona identidad y arraigo de los productores a las localidades de origen, "refuerzan la valoración de los alimentos con arraigo territorial y fomentan los lazos de confianza, produciendo también una proximidad cognitiva como marco común de entendimiento e interacción de los actores socio-territoriales" (Torres Salcido, 2022, pp. 141-142); a la vez esta "valorización" permite la inserción de los alimentos a los mercados de especialidad (FAO, 2016) favoreciendo mayores ingresos para los productores locales.

Las CCA han estado asociadas a beneficios ambientales toda vez que se les relaciona con la reducción de emisiones de dióxido de carbono [CO2], el cual es un gas de efecto invernadero [GEI], cuya acumulación como contaminante en la atmósfera genera graves efectos negativos ambientales que contribuyen al calentamiento global, y afectan a la salud humana. En las CCA se da el acortamiento de las distancias en el transporte, la promoción de la conservación de la bio y agrobiodiversidad, y el incentivo a la agricultura periurbana (Canfora, 2016), desde la cual la oferta de alimento "in situ" proveniente de la franja urbano-rural es posible (Benis y Ferrão, 2017, p. 785).Asimismo, estas cadenas favorecen la creación de capital social basado en relaciones de confianza e intercambio simétrico de información, tanto entre productores como de estos a los consumidores (Romero-López y Ramos, 2017).

Por lo tanto, estas CCA han gozado de importante reconocimiento y validación como alternativas más sostenibles[1] cuando se les compara con las cadenas agroalimentarias globaliza-das, particularmente por lo que hace al elemento de la proximidad entre sus eslabones y dado la reciente importancia que tanto consumidores como actores públicos y privados han dado a las externalidades de estos sistemas (Cui et al., 2024). En esta

[1] Un ejemplo de lo anterior es la relevancia dada a la cuantificación de los kilómetros recorridos desde el origen de un alimento hasta el punto de con-sumo, para determinar su huella de carbono o sus food miles (Lang e Irving, 2006)

tónica "El acortamiento de la cadena agroalimentaria se presenta en muchos sistemas comerciales como sinónimo de sostenibilidad y también de productos saludables. En este sentido, aunque las cadenas cortas agroalimentarias se asocian con una mejor calidad de los productos, una producción socialmente solidaria y prácticas comerciales justas, estas características no se desarrollan automáticamente"[1] (Muñoz Torres et al., 2022, p. 544).

No obstante, a pesar las "bondades" aparentes de estructuras como las CCA, la sustentabilidad de estas no siempre está garantizada, por lo que tal como enfatizan (Majewski et al., 2020) en el análisis de cadenas de distribución cortas, y largas, en países europeos, los últimos resultados mostraron menores impactos ambientales (en materia de consumos energéticos, contaminación y emisiones de GEI) que las cadenas cortas. En este sentido, se considera importante poner a prueba la premisa sobre sostenibilidad de las CCA y de cuestionar la funcionalidad de estas estructuras de acortamiento de los eslabones productivos, especialmente ante un paradigma hegemónico alrededor de estas CCA y que puede dar paso a una incorrecta "romantización" de los conceptos, ligándolos intrínsecamente a la sostenibilidad ambiental, enfoque principal de este trabajo.

Es de mencionar que el estudio de las CCA en las ciudades se ha abordado desde diversas aristas; por ejemplo, asociadas a los pilares que sostienen a la seguridad alimentaria (Martínez Salvador, et al., 2021) o con respecto a la economía solidaria y el comercio justo como vectores de la transición de los sistemas alimentarios urbanos (Chiffoleau et al., 2019); así como a partir de la integración de la proximidad geo-gráfica y organizacional y el valor agregado derivado de la producción alimentaria en esquema corto (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], FAO, e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2014; Jarzębowski et al., 2020).

En estos estudios, se aborda la dinamización de la escala local mediante espacios alternativos de comercialización como las CCA y los efectos económicos que estas aportan como el ingreso a espacios de comercialización más justos y solidarios o la posibilidad de mantener en los territorios de origen el valor agregado de la producción. Con esto en mente, el presente trabajo seleccionó como territorio de estudio, a la Ciudad de México (CDMX en adelante) donde aun cuando la demanda de alimentos es correspondiente a la alta densidad poblacional y siendo uno de los principales centros de consumo del país, se considera que en este espacio periurbano pueden coexistir escenarios como el mencionado por (Avila-Sánchez, 2024), en donde "[...] prevalecen las modalidades productivas convencionales, pero se multiplican las formas alternativas de con-sumo solidario y de producción de alimentos sanos [...]" (p. 5).

Asimismo, la reflexión en este territorio es relevante toda vez que aun cuando la ciudad pue-de producir, especialmente en los espacios periurbanos, hasta el 20% del alimento consumido (Dieleman, 2017); esta cifra muestra la dependencia que la ciudad tiene de la producción de otras demarcaciones lo que denota una gran importancia de impulsar sistemas de agricultura periurbana que contribuyan con la producción y distribución de alimentos locales. En esta lógica, se designó como objeto de estudio de este trabajo al cultivo del amaranto, y su cadena agroalimentaria, por considerarse un alimento

[1] Texto original en inglés: "Shortening the agri-food chain is being presented in many commercial schemes as a synonym of sustainability and also healthy products. In this sense, although short food supply chains are associated with better product quality, social supportive production and fair com-mercial practices, these characteristics do not develop automatically."(Muñoz Torres et al., 2002, p. 544).

emblemático de la CDMX y ser reconocido localmente por reflejar una amplia tradición periurbana[1] en donde el amaranto tiene un gran reconocimiento por su valor nutricional (Moran Bañuelos et al., 2014), propiedades y potencialidades de diversificación productiva.

Asimismo, el amaranto se cultiva, transforma y comercializa bajo sistemas de producción familiar y lo-cal en donde los productores tienen la particularidad de ser actores que intervienen en la mayoría de los eslabones de la cadena de valor, es decir, que muestran una dinámica multieslabón, abonando a disminuir el intermediarismo. En esta lógica vale destacar que el amaranto se produce en unidades familiares de pequeña escala, especialmente en el poblado de Santiago Tulyehualco en la alcaldía Xochimilco (Martínez Salvador et al., 2022), con siembras parciales que se dan en tierras pertenecientes a los suelos de conservación[2] y posee características únicas que le dotan de un sentido de cadena corta[3]. Asimismo, el amaranto en la CDMX es la materialización de una oferta alimentaria con características diferenciadas por su arraigo al territorio así como por sus atributos nutracéuticos y capacidad de diversificación productiva, lo que pue-de impactar positivamente la oferta de alimentos; sin embargo, poco se conoce sobre el impacto ambiental de esta actividad productiva, por lo que ante una tendencia en ascenso de consumidores cada vez más conscientes e informados de los impactos de la actividad agrícola en la sostenibilidad, y ante la presencia de un "ciudadano alimentario" que impulsa el consumo de lo local (Renting et al., 2012), reflexionar sobre las emisiones de CO_2, ligadas a la cadena de valor del amaranto es también relevante. Cabe destacar que al existir ciertos cuestionamientos alrededor de la dimensión ambiental en las CCA, Folinas et al. (2013) proponen que esta dimensión debe ser evaluada desde una mirada al Análisis de Ciclo de Vida [ACV], así como desde la estimación de la huella ecológica, lo que se realiza desde la identificación y cuantificación de la huella de carbono de la cadenas, es decir de las emisiones de CO2, lo que ayuda a cuantificar las emisiones con respecto a la transportación de los alimentos.

Ante este escenario, Mundler y Rumpus (2012) enfatizan la importancia de segmentar las cadenas de valor, como en este trabajo para el caso del amaranto, y contar con mayor precisión del impacto ambiental. Considerando lo anterior, el presente artículo tiene por objetivo analizar la CCA de amaranto en el entorno periurbano de la CDMX, evaluar el impacto ambiental desde las emisiones de GEI (CO2e) y proponer recomendaciones para abonar a su funcionalidad como alternativas ambientalmente más sostenibles a las cadenas tradicionales, esto a partir de recuperar algunos elementos del ACV y desde la aplicación de entrevistas a productores de la cadena de amaranto. Este análisis aborda el estudio de la CCA del amaranto, a partir de recuperar premisas de las cadenas de valor, al considerar los diferentes eslabones desde la producción primaria hasta la

1 El amaranto, y productos derivados, ha sido reconocido como Patrimonio Cultural Intangible de la Ciudad de México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2020a).

2 Los suelos de conservación son el espacio geográfico que, por sus aportes de servicios ambientales a la biodiversidad en beneficio de la población de la CDMX, es protegido por instancias de gobierno como la Secretaría de Medio Ambiente (Jujnovsky et al., 2022).

3 La pertinencia de utilizar el marco analítico de la CCA en el análisis del amaranto periurbano de la ciudad surgió de la exposición de integrantes vin-culados a la organización del Sistema Producto Amaranto de la CDMX en un seminario temático de las CCA para las urbes, organizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México [IG UNAM] el 17 de agosto del 2017. Los ponentes enfatizaron la centralidad de las actividades productivas en torno a la especificidad del amaranto en una región periurbana, el involucramiento de los productores agrícolas a lo largo de los diversos eslabones de la cadena de valor, la muestra del enfoque tendiente a la producción agroecológica y la representatividad identitaria del alimento "amaranto" para una comunidad. Estos elementos dieron el punto de partida para analizar este producto alimentario desde el enfoque de CCA

comercialización. Vale destacar que en materia de la cadena de amaranto es importante considerar premisas alrededor del valor agregado y de las cadenas de valor, las cuales se estructuran por diversos eslabones, insumos, acciones y actividades, que parten desde la etapa de producción hasta el consumo final para agregar valor a la producción (Padilla y Oddone, 2014). Esto es de especial importancia para aquellas CCA en donde son los actores primarios, o productores, como el caso del amaranto quienes lideran prácticamente todos los eslabones de la cadena y que en este trabajo se les ve como productores "multi eslabón".

Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera: En la primera sección se aborda la CCA del amaranto como cultivo agrícola, su actor principal y los eslabones que la conforman, la segunda explica los materiales y métodos, recuperando premisas del Análisis Ciclo de Vida [ACV] desde donde se identifican fases, objetivos e inventario energético con la finalidad de determinar la huella de carbono [HCO2] de la unidad funcional (es decir el amaranto) y las emisiones totales anuales referentes a la CCA del amaranto. En la tercera sección se incluyen los resultados, los cuales presentan la HCO2 por eslabones de análisis de la CCA; asimismo, la discusión se profundiza al identificar el eslabón de mayor impacto ambiental, y se realiza una comparativa de resultados con otros alimentos. Por último, se plantea un análisis de sensibilidad para proponer alternativas de reducción de la HCO2. En la cuarta sección, se plantean conclusiones y recomendaciones finales.

Breve mirada a la CCA del amaranto en la CDMX

El amaranto (Amaranthus spp.) es un cultivo con gran valor tradicional y alta resistencia al estrés hídrico, volviéndolo altamente adaptable a condiciones hídricas extremas. Este cultivo considerado un pseudo-cereal (Figura 1) es producido en la zona centro del país, con una particular tradición de producción en la CDMX desde la época precolonial y, según indicios antropológicos, existe en México desde hace 4.000 años (Mapes, 2015).



Figura 1. Semilla de amaranto en mano de productor.
Fuente: Imagen tomada por María del Pilar Ortiz Martínez

En la CDMX, en 2017 se produjeron poco más de 139 toneladas de amaranto, con un valor de producción de 3,246 miles de pesos (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON], 2023). El amaranto se cultiva en la zona sureste de la Ciudad,

especialmente en las alcaldías Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco. Esta última resulta de interés para este estudio, debido a que ahí el amaranto es un cultivo clave para la preservación del ecosistema del cerro volcánico Teuhtli, así como por ser pilar de actividades económica identitarias de la localidad de Santiago Tulyehualco, territorio principal de estudio.

Cabe destacar que el amaranto es altamente versátil en la preparación de diversos productos alimentarios, es libre de gluten y se ha posicionado como un superalimento por su alto valor nutritivo, contenido en fibra, proteína y minerales (Cano, 2022). Los productores de amaranto del territorio de estudio, que por la dinámica previamente mencionada (participan de casi todos los eslabones de la cadena de valor), pueden entenderse como "multi eslabón", las unidades productivas se constituyen por familias en esquema de micro, pequeña y mediana empresa, don-de el hogar también se utiliza como punto de comercialización en muchas ocasiones, reduciendo el involucramiento de terceros para el desarrollo de ciertas actividades, desde la cosecha, la transformación y la comercialización del amaranto. La CCA del amaranto en la CDMX opera con base en una serie de procesos o eslabones en flujo, los cuales se encuentran concatenados como puede verse en Figura 2.

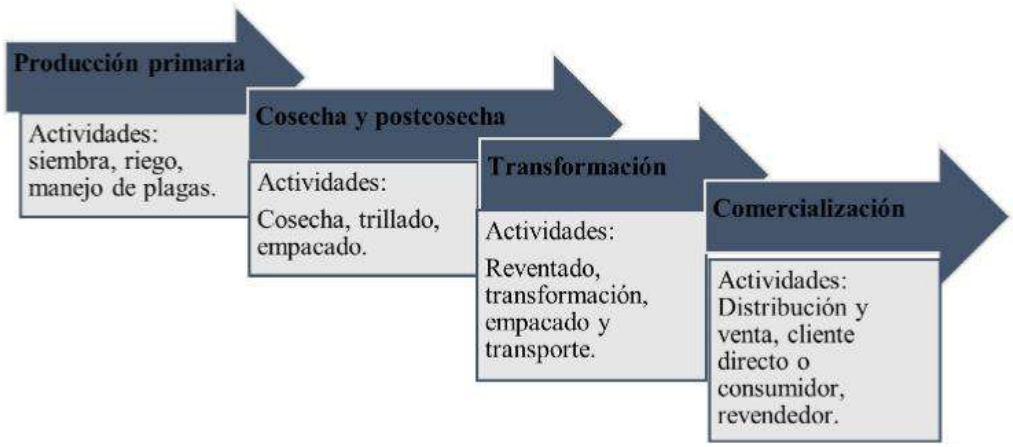


Figura 2. Esquema de la CCA del amaranto en la CDMX.
Fuente: Elaborado a partir de Tolentino Martínez y Martínez Salvador (2021) y Rodríguez-Fernández et al. (2019)

En la primera y segunda etapa encontramos las actividades de producción primaria que involucran la siembra y las actividades de cosecha respectivamente; el procesamiento de la semilla de amaranto se consigue en la etapa de transformación, siendo el producto "amaranto reventado" el bien obtenido de forma más común para la elaboración de otros productos, y desde el cual se somete al grano de amaranto a un proceso térmico y con ello "tostar" la semilla. Del amaranto reventado y diferentes ingredientes se pueden obtener, entre otros, productos tales como granolas y "alegrías" el cual es un dulce típico representativo de la zona productora de Santiago Tulyehualco, en Xochimilco (Martínez Salvador et al., 2022). Una cuarta etapa relacionada con la comercialización nos permite identificar que la actividad productiva del amaranto compagina con las premisas teóricas de las CCA, debido a que la producción agrícola, enmarcada en un territorio específico, mantiene una cercanía geográfica entre la localidad de producción con el mercado final urbano, bajo dinámicas periurbanas que podrían favorecer la comercialización sin intermediación a través de mercados de productores o venta directa a consumidores periurbanos.

En este sentido, es de destacar que, en la zona de Xochimilco, las ferias de productores son otra iniciativa de interacción comercial directa entre productor y consumidor del amaranto en la localidad, siendo la más representativa de este cultivo la mencionada por (Tolentino Martínez y Martínez Salvador, 2021) Feria Nacional del Amaranto y el Olivo en donde se muestra la oferta culinaria local.

Materiales y Métodos

Para el análisis de la CCA del amaranto y el cálculo de sus emisiones de CO_2 en cada uno de los eslabones, se recuperan algunas premisas del Análisis de Ciclo de Vida [ACV], el cual es una herramienta que permite identificar y evaluar el uso de materiales y energía utilizados, así como evaluar las oportunidades de mejora ambiental sobre la totalidad del ciclo de vida en un sistema (Azapagic y Clift, 1999; Keoleian y Spitzley, 2006) o como en el caso de este trabajo, en una cadena agroalimentaria.

Este estudio requirió de la obtención de datos primarios de la cadena, lo que se realizó mediante técnicas como observación participante y entrevistas semiestructuradas, así como visitas in situ en trabajo de campo, el cual se llevó a cabo entre los meses de septiembre a noviembre del 2017 en el marco de la investigación doctoral de la autora principal. Durante este periodo se consultó a diversos productores multi eslabón y se aplicaron 32 entrevistas semiestructuradas. El criterio de selección de los entrevistados fue a través de un proceso de bola de nieve ya que los primeros acercamientos al territorio se dieron en las diversas visitas al poblado de Santiago Tulyehualco donde se entrevistó, en principio, a representantes del Sistema Producto Amaranto A.C, y desde donde se obtuvo información sobre la ubicación de otros productores.

Las entrevistas se dividieron en cuatro apartados, que recuperaban información sobre los siguientes temas: información organizativa del productor de la CCA del amaranto; insumos energéticos identificados en los eslabones: producción primaria, cosecha y postcosecha; insumos energéticos y de combustibles identificados en el eslabón: procesamiento; combustibles identificados en el eslabón: comercialización (para más detalles, Tabla 1). Estas entrevistas proporcionaron información clave para identificar las emisiones de CO_2 en los eslabones de la CCA, la definición de las cargas ambientales en la cadena de valor, el entendimiento acerca de la etapa más álgida de contaminación identificada y las posturas reflexivas para extender recomendaciones con base en las respuestas obtenidas desde el entrevistado.

A partir de hacer uso de algunas premisas de la ACV para el caso de la CCA del amaranto se recuperaron las cuatro fases recomendadas por la Norma Internacional ISO 14040:2006 que menciona: 1) la definición de límites del sistema [cadena] y objetivos; 2) obtención de datos para el análisis del inventario; 3) cálculo de las emisiones de CO_2; 4) interpretación de resultados.

Estas se describen a continuación:

1) Definición de límites del sistema [cadena] y objetivos:

a) Definición de alcances y objetivos: la finalidad del uso de esta técnica fue calcular la huella de carbono anual [kg CO2e] y por kg de amaranto reventado producido en la CCA del amaranto a partir de reflejar la naturaleza de mínimos intermediarios y la distancia entre el productor y el consumidor, con base en los insumos de energéticos de fuentes fósiles de emisiones directas (Norma Internacional ISO 14064-1:2018), en los límites del

sistema, que abarcan desde la producción primaria hasta la comercialización a partir de los datos de los entrevistados.

b) Para delimitar los datos a obtener en el inventario en la etapa de producción primaria, cosecha y post cosecha se consideraron los consumos energéticos para el transporte que moviliza a los productores en las actividades de siembra, riego, manejo de plagas y transportación de la cosecha, así como el energético para la maquinaria trilladora y tractor. Para la transformación (procesamiento) de la semilla se solicitó la información a los entrevistados sobre las cantidades de los combustibles utilizados para el tostado del amaranto, en la comercialización se consideró el energético utilizado en la transportación del amaranto a un único cliente local con viaje semanal de ida y vuelta. Estas etapas se eligieron por que representan el flujo principal de energéticos en esta CCA y captura las emisiones más significativas que están bajo control directo de los actores multi eslabón.

c) Las CCA al ser coherentes con sus objetivos de producción y distribución local, excluye ciertas etapas que son más relevantes en otras cadenas de suministro, como es el caso de la producción de insumos agrícolas, por ejemplo, la producción de fertilizantes químicos es un proceso que esta fuera del productor local y su uso, en el caso del CCA del amaranto, no añadiría una información relevante que los actores de la cadena pudieran mitigar debido a que el uso de fertilizantes químicos no es representativo. Por otra parte, la disposición final es una etapa que también está fuera del con-trol directo de la cadena de producción y comercialización, la gestión de los residuos del producto hace esta etapa altamente variable y compleja de cuantificar.

d) En este sentido, el análisis consideró el consumo energético de fuente fósil (gasolina, diésel, gas LP y carbón) de un ciclo anual de operaciones (Salomone y Ioppolo, 2012) dentro de la cadena corta de valor agroalimentaria, con el volumen total de producción de 138 t de amaranto, y se planteó la unidad funcional[1] con base en 1 kg de amaranto reventado, según otros estudios de cadena agroalimentaria reportados (Cucurachi et al., 2019; Iglesias, 2005; Petti et al., 2006).

e) Al tener como objetivo medir las emisiones de CO2 de la CCA del amaranto, este análisis corresponde a la categoría de impacto: cambio climático, medido por el equivalente de CO2 emitido[2] y la representación cuantitativa que clasifica y mide el impacto ambiental denominado "indicador de la categoría"[3].

Asimismo, el alcance de análisis de la CCA del amaranto se determina por los cuatro eslabones principales que caracterizan las actividades del amaranto y que van desde la producción primaria hasta la comercialización (Figura 3).

[1] La unidad funcional representa la función o servicio que proporciona el sistema bajo estudio, y sirve como base para comparar diferentes alternativas (Cucurachi et al., 2019).
[2] La emisión de kg CO2e (emisión de dióxido de carbono-equivalente): se define como "cuantía de emisión de dióxido de carbono que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un tiempo de plazo dado, que cierta cantidad emitida de un gas de efecto invernadero o de una mezcla de gases de efecto invernadero" (IPCC, 2013 p. 191). El CO2 es el gas de efecto invernadero de referencia para medir los demás GEI, por ser el que perdura en la atmósfera hasta 100 años, considerando su potencial de calentamiento global [PCG] es de 1, lo cual permite considerar dentro de su métrica a los demás GEI, dando referencia al uso de kg CO2e
[3] El indicador de la categoría corresponde a la métrica utilizada para medir el impacto ambiental en función a su contribución del problema (Rodrigues Viana et al., 2023), en este caso, el valor del indicador emite el resultado en kg CO2e y contempla la categoría de impacto ambiental referente al cambio climático.

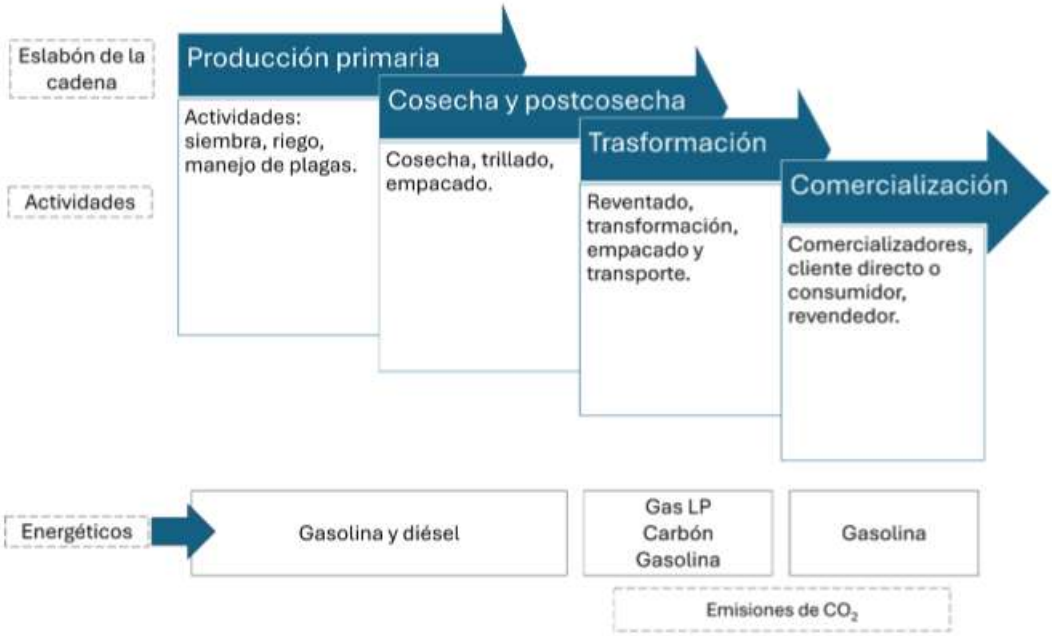


Figura 3. Alcance de análisis: la CCA de amaranto.
Fuente: Elaborado a partir de Del Rosario et al. (2021) y Tolentino Martínez y Martínez Salvador (2021)

Como puede apreciarse en la Figura 3, de izquierda a derecha, se muestran las etapas que representan el alcance de la CCA, en la primera línea, se muestran las etapas de la cadena del amaranto (que establecen los límites del sistema analizado); en un segundo nivel se presenta el detalle de las actividades realizadas en los eslabones por los productores, mientras que un tercer nivel se detalla los energéticos que provienen de fuentes fósiles que se utilizan por etapa.
2) Obtención de datos para el análisis del inventario: a) Análisis de inventario al interior de la CCA del amaranto.

Esta fase se realizó a partir de detallar los combustibles reportados por el productor en las diferentes etapas que conforman la cadena. Por eslabones, (Tabla 1) la segunda columna señala los inputs energéticos en función de los requerimientos de los equipos de maquinaria y/o vehículos por eslabón; en una tercera columna se muestra la respectiva unidad de medida estándar del energético; mientras que en la columna cuatro se indica la unidad de medida de la emisión del factor energético [kg CO2e][1] y la explicación pertinente por eslabón con respecto a la conformación del inventario de insumos energéticos se encuentra en la columna cinco.

3) Cálculo de las emisiones de CO2:
a) El análisis de esta CCA se ha realizado con base a la producción anual de 138 t de amaranto y tal como se muestra en la Tabla 1, el inventario de insumos energéticos se conformó a partir de los combustibles de fuentes fósiles utilizados en cada eslabón de producción. Una vez consideradas las entradas energéticas, se procede a determinar la cantidad contaminante por tipo de energético, multiplicándose por los factores de emisión de GEI para los diferentes tipos de combustibles fósiles (INECC, 2014), el resultado

[1] Los combustibles de fuente fósil tienen un factor de emisión (Tabla 2, columna 4) correspondiente a cada energético, el cual al ser multiplicado por las cantidades de energéticos reportadas en el inventario, se obtendrá el resultado de emisiones contaminantes en la unidad de kg CO2e.

obtenido representará el impacto anual de la CCA del amaranto de emisiones de dióxido de carbono equivalente expresado en kg CO2e.

Tabla 1. Inventario de insumos energéticos anuales reportados en la CCA del amaranto de la CDMX y su factor de conversión a emisiones de CO2e.

Eslabón	Input energético (i)	Unidad de medida (e_i)	Factor de emisión de energía (cf_i)	Explicación
Producción primaria	Gasolina (vehículos para actividades de siembra, riego, manejo de plagas)	Litros	kg CO_2e L^{-1}de gasolina	El resultado obtenido de la suma de litros de gasolina o diésel utilizado en esta etapa es el reportado con base en el ciclo anual de producción agrícola por los 32 entrevistados. Se consultó el número de días del uso de vehículos para realizar actividades de siembra, riego o manejo de cultivo, los kilómetros recorridos y el combustible utilizado. En el caso de la maquinaria se consultó el número de días que la utiliza cada productor y la cantidad de combustible requerido. Posteriormente, la cantidad energética del inventario se multiplicó por el correspondiente factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil[10] (Gasolina y diésel), para obtener como resultado los kg CO_2e (Tabla 2).
	Diésel (maquinaria tractor para cosecha)			
Cosecha	Diésel (maquinaria [trilladora])	Litros	kg CO_2e L^{-1} de diésel	
Post cosecha	Gasolina (transportación de cosecha)			
Transformación	Gas LP (Maquinaria o estufas para tostado de la semilla procesada anual)	Kilogramos	kg CO_2e kg^{-1} de gas LP	En este eslabón se da la cuantificación de los energéticos de fuente fósil: gas LP y carbón es el correspondiente para la transformación de 138 toneladas de amaranto. La cantidad energética del inventario de este apartado (kg de gas LP y kg de carbón) se obtuvo a través de consultar a cada entrevistado las cantidades de amaranto procesado en un año, asimismo, la cantidad de gas LP o carbón utilizado para la transformación por kilogramo de amaranto.
	Carbón (reventado de amaranto)	Kilogramos	kg CO_2e / kg^{-1} de carbón	Posteriormente, la cuantificación de energéticos se multiplica por el factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil correspondiente [gas LP y carbón] y así obtener las emisiones contaminantes en kilogramos de CO_2e (Tabla 2)
Comercialización	Gasolina (equipo de transporte para distribución del producto "amaranto reventado")	Litros	kg CO_2e L^{-1} de gasolina	En esta etapa el resultado obtenido de la suma de los litros de gasolina se conformó con base en un cliente principal de aquellos entrevistados que indicaron realizar ventas fuera de la localidad. El cálculo de los litros de gasolina anuales se obtuvo considerando un viaje de ida y vuelta semanal y consultando al entrevistado la cantidad de gasolina utilizada por viaje dependiendo de su vehículo. Una vez obtenida la cantidad energética correspondiente en esta etapa es multiplicada por el factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil correspondiente (gasolina). El cual derivará a los kilogramos de CO_2e correspondientes por litros de gasolina. (Tabla 2)
Total, de emisiones de la CCA amaranto:				Sumatoria total de las emisiones de dióxido de carbono de los eslabones de la CCA amaranto y expresado en kg CO_2e (I más adelante)

Fuente: Elaborado a partir de factores de emisión de energía (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2014) y de información obtenida de entrevistas

b) Análisis del impacto: La formulación matemática del cálculo de las emisiones de CO2e que se considera para este estudio es la propuesta por Keoleian y Spitzley (2006), la cual expresa el impacto total de emisiones de CO2e [I], mediante realizar la sumatoria de todos los resultados por eslabones de las emisiones de CO2e con base en las cantidades energéticas del inventario (ecuación [1]), siendo *cfi* el factor de emisión para fuentes fósiles para la CDMX; y *ei* la cantidad energética del inventario.

$$I = \sum cf_i e_i \qquad [1]$$

Al obtener los impactos totales de emisiones de CO2e correspondientes al análisis de toda la CCA del amaranto, estos resultados son equiparados en relación con la unidad funcional. El cálculo de la unidad funcional se realiza con base en las cantidades energéticas totales de cada etapa del inventario (eslabones de la CCA) y se establece la

relación proporcional correspondiente a 1 kg de amaranto (Iglesias, 2005), posteriormente, se multiplica por el factor de emisión de CO2 de cada energético y el resultado a obtener será kg CO2e kg-1 de amaranto (Tablas 3, 4 y 5).

4) Interpretación de resultados: En esta fase se combinan los resultados del análisis del inventario con el análisis del impacto ambiental y se determina en qué fase, o en este caso, eslabón de la cadena, se genera la mayor emisión de CO2, retomando que la categoría de impacto a la que corresponden las emisiones de CO2 en todos los ACV es la respectiva a cambio climático (Norma Internacional ISO 14040:2006), el eslabón con mayor impacto ambiental será también el que más contribuya a esta categoría de impacto.

Por otro lado, se realiza un análisis de sensibilidad, a partir de la propuesta de tres escenarios (reducción 10%; reducción 20%; aumento 10%), con el objetivo de identificar posibles efectos de modificaciones en la emisión de CO2 (López-Cruz et al., 2012; Rodrigues Viana et al., 2023) ante cambios en el gasto energético.

Asimismo, se realizó una revisión de la literatura para identificar otras cadenas cortas agroalimentarias en donde el indicador de la huella de carbono (con emisiones de CO2 como variable) fuese el elemento principal de análisis, y desde el cual fue posible generar una reflexión comparativa sobre la CCA de amaranto.

Resultados y discusión

Emisiones de CO2 de la CCA del amaranto en la CDMX

Identificar y analizar la cantidad de energéticos y emisiones asociadas a las actividades productivas puede considerarse de utilidad para discernir sobre la trazabilidad de las CCA y acercar los resultados hacia una discusión más acorde a criterios de sostenibilidad. En este caso en específico, las entrevistas aplicadas al conjunto de productores aportaron información respecto a los eslabones, y a los energéticos involucrados en cada uno de estos.

En la Tabla 2, se muestran los resultados por eslabones de la CCA del amaranto en CDMX y el resultado correspondiente a la unidad funcional con base en 1 kg de amaranto reventado. En la primera columna se describen las etapas de la CCA, mientras que en la segunda se señalan los insumos energéticos (o inputs), así como la maquinaria o actividad en donde se emplean dichos insumos. En la tercera columna, se observan las cantidades utilizadas de cada energético y la unidad de medida correspondiente. La cuarta columna contiene el factor de emisión de energía para la conversión a términos de CO2 y en la quinta columna se muestran los resultados finales por etapa productiva y por tipo de energético. Las emisiones de CO2 se miden en kilogramos y al sumarse se obtiene la cantidad de impactos totales que se muestran en la columna seis. La cuantificación total del impacto ambiental generado por la CCA amaranto de la CDMX corresponde a72.883,06 kg CO2e.Las columnas de la 7 a la 9 corresponden al valor equiparado de la unidad funcional, en la columna siete se presentan los energéticos correspondientes en su unidad de medida (litros o kilogramos), en la columna ocho se incluye el resultado de multiplicar la cantidad del energético proporcional de la unidad funcional [*CEPUF*] con el factor de emisiones de CO2 de cada energético [*cfi*] y en la columna nueve se realizan las sumatorias por eslabón de las emisiones de CO2 correspondientes a la unidad funcional de la que se obtiene 1,45 kg CO2e por kilogramo de amaranto reventado. A continuación, se detalla el resultado de la unidad funcional en los siguientes apartados.

Tabla 2. Energéticos y emisiones de CO2e en la CCA del amaranto en CDMX y la HCO2 de su unidad funcional.

Eslabón	Input energético (i)*	Unidad de medida del inventario CCA (e_{ij})	Factor de emisión de energía (cf_i). kg CO_2e	Emisiones de CO_2 para la CCA kg CO_2e	Sumatoria de emisiones de CO_2 por eslabón de la CCA kg CO_{2e}	Cantidad de energético proporcional a la Unidad Funcional (CEPUF)	Emisión de CO_2 de la UF (cf_i *CEPUF)	HCO_2 de la UF por eslabón y sumatoria kg CO_{2e}
Producción primaria	Diésel	325 L	2,599	844,68	2.597,79	0,0034 l	0,0089	0,0276
	Gasolina	774 L	2,265	1.753,11		0,0082 l	0,0186	
Cosecha	Diésel	758,8 L	2,599	1.972,12	6.062,71	0,0080 l	0,0209	0,0644
Post cosecha	Gasolina	1,806 L	2,265	4.090,59		0,0192 l	0,0435	
Transforma-ción	Gas LP	11.054 kg	3,01	33.272,54	51.934,94	0,0934 kg	0,2813	1,2264
	Carbón	6.400 kg	2,916	18.662,40		0,3240 kg	0,9450	
Comerciali-zación	Gasolina	5.425 L	2,265	12.287,63	12.287,63	0,0577 l	0,1307	0,1311
Total (I)		-	-		**72.883,06**			**1,45**

Eslabón de la producción primaria: energéticos y emisiones.

En principio, los resultados del análisis de esta etapa, a través de las entrevistas, muestran una tendencia interesante en cuanto a principios ecológicos en la producción agrícola del alimento por parte de los productores, lo que se materializa en el hecho de que en promedio solo 1 de cada 4 productores entrevistados hacen uso de insumos agroquímicos mientras que el resto indicaron aplicar insumos orgánicos. En este sentido, el 20% de los productores indicaron tener entre 1 y 7 años de mantener sus unidades de producción libres de agroquímicos, en apego a prácticas agroecológicas, para lo cual, el factor del tamaño de las unidades de producción agrícola cobra relevancia, ya que en promedio estas oscilan entre 0,5 y 5 hectáreas, lo que favorece el manejo de la unidad bajo principios agroecológicos.

Por otro lado, el 94% de los productores mantienen prácticas basadas en los conocimientos y saberes con respecto a la agrobiodiversidad, entendida como la siembra de diferentes cultivos en conjunto con el amaranto que constituyen un espacio dinámico de recursos genéticos (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2016), con cultivos como maíz y frijol, entre otros en tendencia, como la quinoa y la combinación de otras actividades como la apicultura.

La cercanía entre las viviendas de los productores y las tierras de cultivo conforman un circuito de proximidad que favorece las actividades asociadas a la CCA del amaranto, disminuyendo las emisiones de CO2, particularmente, aquellas relacionadas con el manejo del cultivo, control de plagas, retiro de malezas y cosechas, actividades que son realizadas mediante caminata y bicicleta, aunque no por la mayoría.

En la Tabla 3 se detalla las emisiones de CO2 que se desprenden del primer eslabón de la CCA por 1 kg de amaranto.

Como puede apreciarse, el uso de maquinaria para la siembra y de vehículos para transporte (las cuales son practicas realizadas por el 78% de los productores) han generado una emisión de 0,0276 kg CO2e y representan el 2% de las emisiones totales de la CCA del amaranto.

Es de mencionar que, en producción primaria, se observó que los productores hacían uso de la bicicleta y de caminar a las unidades de producción agrícola, aprovechando la cercanía geográfica, así como el uso eficiente y compartido de la maquinaria agrícola derivado de su organización, lo que puede estar contribuyendo a una reducción de los GEI.

Tabla 3. Uso de energéticos y emisiones de CO2e en la producción primaria del amaranto en CDMX.

Eslabón	Input *(i)* energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO_2e	Total de emisiones en kg CO_2e por eslabón
Producción primaria	Diésel	0,0035	0,0090	0,0276
	Gasolina y actividades de manejo del cultivo)	0,0082	0,0187	

Eslabón de la cosecha y post cosecha: energéticos y emisiones

En el eslabón de cosecha, los insumos energéticos son el diésel, empleado en la maquinaria conocida como trilladora, la cual a través del proceso mecánico de trituración de la planta extrae el grano del amaranto de manera rápida (Secretaría de Pueblos y Barrios Originarios y Comunidades Indígenas Residentes [SEPI], 2017), facilitando la limpieza y obtención de la diminuta semilla. Asimismo, en la post cosecha, la transportación de la carga de amaranto a los talleres industriales, o bodegas de almacenamiento requiere del uso de gasolina. Como puede verse en la Tabla 4, el resultado de las emisiones de CO2 en el eslabón cosecha y postcosecha generan en conjunto 0,0645 kg CO2e por kg de amaranto lo que representa el 4% de las emisiones totales de la CCA del amaranto.

Tabla 4. Uso de energéticos y emisiones de CO2e en la cosecha y post cosecha del amaranto en CDMX.

Eslabón	Input *(i)* energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO_2e	Total de emisiones en kg CO_2e por eslabón
Cosecha y post cosecha	Diésel	0,008	0,0210	0,0645
	Gasolina	0,0192	0,0435	

Al comparar las emisiones en kg CO2e entre la producción primaria y las etapas de cosecha- y postcosecha, se observa que esta última tiene emisiones superiores; lo anterior corresponde a la organización de las actividades por los productores en las unidades de producción, es decir, en la siembra, la utilización de la maquinaria para elaborar los surcos es compartida, exclusivamente los días que se emplea y se aprovecha la maquinaria de manera más eficiente por varios productores. Asimismo, otro factor a considerar son las condiciones agronómicas del territorio, ya que la maquinaria para surcar no puede ser utilizada en todos los terrenos, como es el caso de algunas zonas de Xochimilco en donde la producción se lleva a cabo en laderas pronunciadas y, por lo que, en algunos casos, los productores deben hacer el surcado manualmente y no utilizan maquinaria.

Finalmente, los traslados de los productores a las unidades de producción, en algunos casos y debido a la falta de infraestructura, se pueden realizar exclusivamente

caminando o con uso de bicicleta, donde no se utilizan medios de transporte motorizados, lo que favorece la reducción del uso de combustibles fósiles.

Eslabón de procesamiento: energéticos y emisiones

Por otro lado, y como tercer eslabón en la CCA de amaranto en la CDMX, el procesamiento refiere en primer lugar al proceso de tostado (o reventado) al que es sometida la semilla de amaranto y que puede implicar, por un lado, prácticas artesanales que involucran el uso de aditamentos rudimentarios como el comal que requiere de carbón o, por otro lado, el uso de maquinaria especializada como estufas que utilizan gas LP; esto, según la capacidad tecnológica disponible del productor. Como puede apreciarse en la Tabla 5, el resultado de emisiones para este eslabón es de 1,2264 kg de CO2e, que para la unidad funcional (1 kg de amaranto) es de 0,0935 kg de Gas LP y 0,3241 kg de carbón respectivamente. Esto representa el 85% del total de emisiones de la CCA, convirtiéndolo en el eslabón de mayor aporte contaminante en toda la cadena.

Tabla 5. Uso de energéticos y emisiones de CO2e en la transformación del amaranto en CDMX.

Eslabón	Input *(i)* energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO_2e	Total de emisiones en kg CO_2e por eslabón
Transformación	Gas LP	0,0935	0,2814	1,2264
	Carbón	0,3241	0,9451	

Es de destacar que, posteriormente al reventado, el amaranto pasa por otros procesos de transformación que dan valor agregado, en lo que en ocasiones se conoce como una segunda etapa de procesamiento para elaborar alimentos con adición de ingredientes, lo que permite diversificar la oferta de productos con base en el amaranto.

Eslabón de comercialización: energéticos y emisiones

En este sentido, el análisis del consumo energético en esta etapa se cuantificaron 5.425 litros de gasolina utilizados de forma anual lo que es equivalente, en términos de la unidad funcional, a 0,1307 a emisiones de CO2e por kg de amaranto, tal como puede verse en Tabla 6, y que representa el 9% contaminante de la CCA de amaranto en la CDMX.

Tabla 6. Uso de energéticos y emisiones de CO2e en la comercialización del amaranto en CDMX.

Eslabón	Input *(i)* energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO_2e	Total de emisiones en kg CO_2e por eslabón
Comercialización	Gasolina	0,0577	0,1307	0,1307

De las entrevistas vale la pena descartar que, en este eslabón, los productores de amaranto hacen uso de diversos canales de comercialización, en su mayoría en la localidad (sin punto de venta formal), y en espacios tales como ferias, mercados locales, venta directa en oficinas o centros educativos, o incluso a otros revendedores o comercializadores.

El amaranto analizado en el contexto de CCA presenta un resultado de emisiones de CO_2 que podría considerarse eficiente ambientalmente, si se compara con otros productos alimenticios (tal como puede apreciarse en tabla 7 del siguiente apartado). Ante esto, los factores de proximidad tanto geográfica como organizacional en la estructura de la

cadena, así como la cercanía con el mercado periurbano, se consideran elementos favorecedores en la reducción de impactos ambientales referentes a emisiones de CO_2.

Por lo tanto, las sumatorias totales de los resultados obtenidos por cada uno de los eslabones de la CCA del amaranto dan como resultado que por cada kilogramo de amaranto reventado se emiten 1.45 kg de CO_2e.

Análisis comparativo de Huella de CO2e de otros alimentos

A pesar del resultado anterior, vale la pena preguntarse ¿Qué implica que, en sumatoria, toda la cadena de amaranto por kg de la semilla genere 1,45 kg de CO2e? Esto podría responderse de mejor forma si se realiza un comparativo de las emisiones de CO2 de otros alimentos que como el amaranto pueden considerarse fuente de proteínas, como la carne, el arroz, e incluso con otros, como el vino.

En la Tabla 7 y la Figura 4, se muestra el análisis comparativo de la huella de carbono de diferentes alimentos con base en su unidad funcional, los estudios considerados emplearon la metodología del ciclo de vida, y en cada barra del gráfico, se muestran las emisiones de CO2. En la Tabla 7, la primera columna presenta la información correspondiente a los diferentes eslabones que constituyen la cadena de valor (y las filas por eslabón A a la C) dependiendo del alimento. En la última fila de esta tabla, se presentan las emisiones totales en kg CO2e correspondientes a la unidad funcional de cada alimento. Cabe mencionar que esta comparativa de datos de diferentes estudios se realizó con base en la información mostrada en ellos, por lo que en algunos casos solo incluye las emisiones de CO2e sin las cantidades del energético y no todas las cadenas empatan en los mismos eslabones por la diversidad de alimentos analizados.

En la segunda columna se muestran los energéticos y las emisiones en kg CO2e de los eslabones correspondientes a la cría de ganado, procesamiento y distribución para la obtención de carne orgánica (carne obtenida de cría de ganado libre de elementos sintéticos y alimentado con cultivos orgánicos). En la tercera columna se presentan los energéticos y emisiones en kg de CO2e por eslabones de producción correspondientes para una tonelada de avena desde la producción del grano hasta el transporte. En la columna cuatro aparecen las emisiones en kg CO2e de los eslabones para la producción de 750 ml de vino tinto orgánico desde la producción de uva hasta el envasado con sus correspondientes emisiones en kg de CO2e. En la quinta columna se presentan las emisiones en kg CO2e de los eslabones para la producción de una tonelada de tomate en invernadero que abarca desde la producción primaria, el equipo auxiliar y la transportación de residuos. En la sexta columna se muestran las emisiones en kg CO2e por eslabón de 1 kg de arroz molido, que incluye desde la producción del grano, cosecha y gestión y transportación.

Tabla 7. Comparativa de Huella de CO2e de otros alimentos

Eslabón	**Carne orgánica**	**Avena**	**Vino tinto orgánico**		**Tomate invernadero**	**Arroz molido**
Alimento	(1 kg)	(1 Tonelada)	(750 ml)		(1 Tonelada)	(1 kg)
A ***Cría/producción primaria***	Transportación en cría (21.684 L combustible)	Producción grano (2,5 L diésel y 8 L propano)	Producción uva (combustibles móviles)		Producción invernadero (Fertilizante)	Producción grano
(kg CO_2e)	20,98	449	0,044		88	1,02
B ***Procesamiento /industria***	Matadero (37.060 kg gas natural)	Producción cereal (12,7 L heating oil)	Vino en bodega (electricidad)		Equipo auxiliar	Cosecha y gestión
(kg CO_2e)	0,27	115	0,020		77	0,0784
C ***Distribución / transporte/envase***	Refrigeración (5,6 gas refrigerante)	Transporte y almacenamiento (2,5 L diésel)	Botellas y contenedores	Etiquetas	Transportación de residuos	Transportación
(kg CO_2e)	1,00	632	0,946	0,011	3,1	0,0057
Huella de carbono total por unidad funcional (kg CO_2e)	24,46	1.196	1,29		250	1,47

Fuente: Elaborado a partir de Brodt et al. (2014); Torrellas et al. (2012); Vitali et al. (2018); Rodrigues Viana et al. (2023); y Petti et al. (2006)

En comparación con valores similares a los obtenidos en mediciones de CO_2 por kg de unidad funcional en otros productos alimenticios, podemos mencionar que 1 kg de arroz molido libera 1,47 kg de CO2e y 1 kg de carne orgánica emite 24,46 kg de CO2e. El vino tinto orgánico correspondiente a la unidad funcional de 750 ml libera 1,29 kg de CO2e, mientras que por cada kg de amaranto se libera 1,45 kg de CO2e. En la Figura 4 esta información se muestra incluyendo el caso del amaranto, cuyos valores fueron determinados en el presente trabajo.

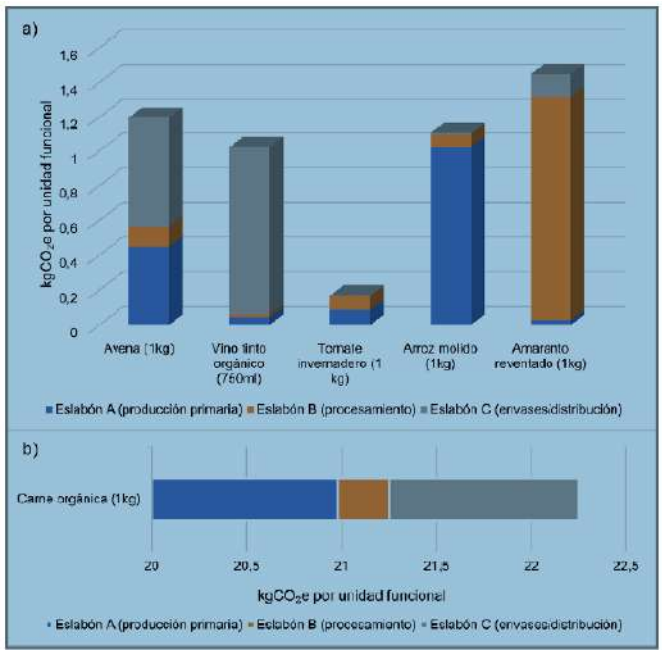


Figura 4. Huella de carbono comparativa por eslabones de cadenas agroalimentarias: a) avena, vino tinto orgánico, tomate invernadero, arroz molido, incluye amaranto reventado; b) carne orgánica.

En la huella de carbono por eslabones encontramos que en el eslabón A (el cual puede involucrar la transportación del ganado y las actividades relacionadas a la producción primaria, cosecha y post cosecha del grano o la uva) el impacto ambiental es muy variado, como lo demuestran los valores que van del 0,044 kg CO2e pertenecientes al vino tinto hasta el 20,98 kg CO2e de la carne orgánica. Alrededor de las cinco cadenas de producción, la producción primaria de la carne orgánica constituye el efecto ambiental más significativo derivado de las actividades de cría y engorde de las reses, en caso contrario, el vino tinto es 475 veces menos contaminante en este eslabón con respecto a la carne orgánica.

Por otro lado, el eslabón B correspondiente a las emisiones contaminantes por las actividades relacionadas con el procesamiento del alimento (el gas natural empleado en los mataderos, la energía en las bodegas del vino, las operaciones de la molienda del arroz y el gas LP o carbón para tostar la semilla de amaranto) y muestra emisiones por debajo del 1,3 kg CO2e; en este sentido el amaranto es el alimento más contaminante en esta etapa debido al uso de carbón, el cual tiene un poder calorífico menor que el gas LP y emite más CO2.

En el eslabón C, que corresponde a los combustibles necesarios por los refrigerantes para la carne, las botellas, etiquetas y contenedores del vino y la transportación del arroz o el amaranto, se muestran emisiones que donde el resultado más alto con 1,00 y 0,957 kg CO2e, pertenece a la carne y al vino tinto respectivamente, y constituye la etapa más contaminante dentro de dichas cadenas de valor debido a que considera los energéticos para la elaboración de las botellas y etiquetas, y el uso de gas refrigerante.

Estos resultados permiten reflexionar acerca de la CCA del amaranto, que a pesar de que conlleva un primer procesamiento, este alimento mantiene un nivel de emisiones por debajo de los 1,45 kg CO2e por unidad funcional (kg de amaranto) lo que lo mantiene dentro de un rango de emisiones de CO2 coherente o similar a las emisiones reportadas en el arroz molido o el vino tinto orgánico.

Es de destacar, que aunado a este resultado de impacto ambiental por emisiones de CO2 del amaranto, otros factores clave a considerar, y que pueden fortalecer la premisa sobre el amaranto como una opción clave para la reducción de la huella de carbono, radica en ser un alimento de alto contenido proteínico de origen vegetal y un pseudocereal (Cano, 2022), por lo que la preferencia de su ingesta por parte del consumidor, podría contribuir a la disminución del consumo de alimentos de origen animal, que suelen tener una huella de carbono más alta (Ramírez Reyes, 2020).

Asimismo, el factor de la producción local, y su cercanía con el consumidor, favorece la reducción de kilómetros recorridos para obtener el alimento, con respecto a cereales importados, como, por ejemplo, los cereales de maíz provenientes de Estados Unidos, del cual México es importador (United States Department of Agriculture [USDA], 2025).

Análisis de sensibilidad de la CCA amaranto de la CDMX.

Por otro lado, en el análisis de la CCA de amaranto, es relevante determinar cómo los cambios en el consumo de los principales combustibles pueden modificar el resultado de emisiones de GEI, de forma tal que es necesario plantear un análisis de sensibilidad, el cual, evalúa la eficiencia de los cambios efectuados en variables de entrada sobre

variables de salida para verificar la factibilidad de la propuesta de solución (Pérez-Vega et al., 2020).

Ante esta perspectiva, se presenta un análisis de sensibilidad (Tabla 8) con parámetros de reducción y aumentos en el uso de combustibles de fuente fósil y un ejemplo aplicable a partir de la integración de innovaciones tecnológicas para el análisis de opciones de cambios en el uso de energéticos de la producción de un kilogramo de amaranto en la CDMX.

En este análisis de sensibilidad, mediante escenarios hipotéticos, se plantea la reducción o aumento de las cantidades de energéticos utilizados para la producción de la unidad funcional de la CCA del amaranto (1,45 kg CO2e). El cual se realiza con base en los resultados por eslabón de los energéticos de fuente fósil y las emisiones de CO2 (Tabla 8, fila 2), y se plantean escenarios numéricos que muestran los aumentos de energéticos en 10% y su modificación en el resultado de 1,59 kg CO2e, así como de reducción del energéticos en 10% con un resultado de emisiones a 1,30 kg CO2e, (Tabla 8, fila 3) y por último (Tabla 8, fila 4) el 20% de reducciones de combustibles, donde respectivamente se emite, según este escenario 1,16 kg CO2e. La Tabla 8 esta seccionada por columnas:
columna 1: escenario (aumento o reducción),
columna 2: cambio (porcentajes aplicados), columnas 3, 4, 5 y 6: los eslabones de producción (producción prima ria, cosecha-postcosecha, transformación, comercialización) y la columna 7 muestra el impacto ambiental en resultado de kg CO2e de cada escenario planteado.

Esta fuente hipotética de aumentos y disminuciones de energéticos nos permitió establecer las posibilidades de reducción de kg CO2e por unidad funcional para diferentes escenarios, donde la reducción del 20% de emisiones puede llegar a reducir hasta a 1,15 kg CO2e. Sin embargo, se presenta la necesidad de plantear la integración directa de innovaciones tecnológicas en combinación con los combustibles fósiles dentro de los eslabones de la CCA amaranto para mejorar la eficiencia energética y por consiguiente la reducción de emisiones de CO2. A continuación, se muestra la integración de innovaciones tecnológicas a manera de propuestas que acerquen a los resultados de los escenarios de reducción planteados en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de sensibilidad de la CCA del amaranto en CDMX.

Escenario	Cambio	Primaria		Post-cosecha		Transformación		Comercia-lización	Impacto ambiental
		Diésel	Gasolina	Gasolina	Diésel	Gas LP	Carbón	Gasolina	Emisiones
	%	L	L	L	L	kg	kg	L	kg CO_2e
Aumento 10%	10	0,00380	0,00906	0,02113	0,00888	0,10283	0,35651	0,06348	*1,59*
Base	0	**0,00346**	**0,00823**	**0,01921**	**0,00807**	**0,09348**	**0,32410**	**0,05771**	***1,45***
Reducción 10%	-10	0,00311	0,00741	0,01729	0,00727	0,08413	0,29169	0,05194	*1,30*
Reducción 20%	-20	0,00277	0,00659	0,01537	0,00646	0,07478	0,25928	0,04617	*1,16*

Innovaciones tecnológicas para la reducción de emisiones de CO2 en la CCA amaranto.

Mediante programas gubernamentales, la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, hoy SADER) ha fomentado el uso

de tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía en el sector agropecuario en México, tales como la implementación de sistemas solares térmicos y sistemas fotovoltaicos (Secretaria de Energía y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [SENER] y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE], 2025) que, en el caso de la CCA del amaranto, la integración de estas tecnologías han sido planteadas desde el sistema producto amaranto con visión a lograr procesos productivos sostenibles en la cadena de valor, mediante la colocación de paneles solares para las maquinas reventadoras de amaranto (SEPI, 2017) lo que podría contribuir a la reducción de las emisiones de CO2 del eslabón de transformación.

Asimismo, las innovaciones de base tecnológica aplicadas en las reventadoras de amaranto son las planteadas por Argumedo-Macías (2021), innovación que optimiza la calidad de la semilla y un aumento en la capacidad del reventado por hora, obteniendo reducciones en los consumos energéticos al favorecer este proceso en menor tiempo que otras máquinas, como las reventadoras a base de gas LP. Otra opción, que se propone en las unidades de transformación de los pequeños productores que no cuentan con maquina reventadora y que utilizan sus estufas de gas LP son las estufas de inducción, las cuales tienen como ventajas el directo y rápido calentamiento al recipiente utilizado para tostar la semilla y que ofrecen una mayor potencia calorífica, estas estufas utilizan electricidad para su funcionamiento (Orialnitak, 2025).

La propuesta de reducción de emisiones en la CCA amaranto se refiere a la sustitución de estufas de gas LP en el eslabón de la transformación mediante estufas de inducción, esta sustitución en adición a la electromovilidad podría proporcionar una reducción de hasta el 33% de emisiones de CO2e respecto al escenario base de la Tabla 8, conservando la misma producción de amaranto.

Asimismo, vale la pena destacar que las tendencias en el uso de la movilidad eléctrica se ha incrementado rápidamente en todo el país, por lo que la incorporación de los vehículos eléctricos o híbridos para uso particular o en el transporte público son promovidos para reducir las emisiones de CO2 correspondientes al uso de combustibles de fuentes fósiles (Centro Nacional de Control de la Energía [CENACE], 2024), lo que para el caso de la CCA del amaranto, podría representar la modernización de los vehículos de uso común favoreciendo la reducción sobre la huella de carbono por viajes a las unidades de producción agrícola, la transportación de las cosechas o la distribución necesaria en la etapa de la comercialización del amaranto. En este sentido, se estima que los vehículos de movilidad eléctrica requieren solo el 38.5% de la energía eléctrica que ocupa un vehículo a combustión interna para recorrer la misma distancia (CENACE, 2024). Por otro lado, el escenario de aumento de emisiones de CO2 se puede presentar bajo el supuesto de que envejece el parque vehicular con el que transportan el producto en los tres eslabones, asimismo, el equipo para cosechar, aunado a un mantenimiento mínimo y la baja eficiencia conlleva a ocupar más combustible para recorrer las mismas distancias y para cosechar la misma cantidad de amaranto. Con esto se obtiene un aumento aproximado en las emisiones de CO2 del 9% respecto al escenario actual.

Este análisis de sensibilidad permitió identificar las áreas de oportunidad para mejorar las reducciones de emisiones contaminantes mediante el uso o aplicación de innovaciones tecnológicas, específicamente en las actividades con mayores impactos al ambiente en la CCA del amaranto. Si bien en la CDMX no existen programas exclusivamente enfocados para incentivar la innovación energética con enfoque hacia la producción agroalimentaria

periurbana, los productores multi eslabón de amaranto se benefician de manera indirecta de políticas públicas y programas específicos, los cuales tienen como prioridad la autosuficiencia alimentaria y la sostenibilidad, como es el caso del Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024 (SADER, 2020b). En este mismo sentido, a nivel local, la gobernanza territorial en la CDMX se ve materializada mediante el Programa General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (Instituto de Planeación Democrática y Prospectiva de la Ciudad de México, 2023), el cual promueve la protección y valoración del suelo de conservación, donde se ubica la mayoría de producción agroalimentaria periurbana; asimismo, el enfoque de producción sostenible puede abrir la puerta para que los productores accedan a programas o financiamientos para la adquisición de maquinaria que emita menores contaminantes.

Con estos resultados y discusiones, resulta pertinente comentar que los retos alimentarios contemporáneos, y predominantes en el sistema agroalimentario globalizado pueden encontrar en cadenas y prácticas de la agricultura local, así como en cultivos tradicionales, soluciones que conduzcan a modelos que promuevan la sostenibilidad en materia agroalimentaria. El papel del amaranto dentro del análisis en el sistema agroalimentario periurbano en la CDMX, es relevante ya que permite develar, e incluso contraponer empíricamente premisas, teóricas, en ocasiones osificadas, alrededor de las CCA, ya que, sin dejar de reconocer la capacidad de este cultivo de abonar favorablemente a la cuestión alimenticia de espacios como la CDMX (por sus cualidades nutricionales, su resiliencia como cultivo agrícola, su impacto sociocultural), también permite analizar esta dinámica de forma critica, encontrando fortalezas a la vez que espacios de acción y mejora.

Conclusiones

Si bien las CCA se han asumido como más sostenibles, este estudio demuestra la necesidad de reflexionar en torno a los diversos aspectos que las conforman. El análisis de los diferentes eslabones, los consumos energéticos, los procesos productivos, el tipo de alimento, el lugar de origen y de transformación, la cercanía con el mercado, entre otros, son factores que pueden ser estratégicos para hacer frente a problemas prevalentes como las afectaciones ambientales y sus efectos al cambio climático.

En este sentido, se logró identificar que si bien la proximidad de los espacios de producción y comercialización periurbana puede contribuir a disminuir la emisiones de GEI en esta cadena, el eslabón de procesamiento (el cual es el eslabón de mayor emisión de CO_2) requiere de implementar técnicas de reventado más sostenibles e innovadoras y que permitan un mejor aprovechamiento de los combustibles o la inserción de métodos basados en energías renovables; de otra forma, los posibles beneficios de las CCA podrían verse opacados por los efectos negativos de los GEI.

En esta lógica, pudo detectarse que, existe un área de oportunidad en la CCA del amaranto para la inserción de innovaciones que permitan disminuir los GEI de la misma. En cuanto al eslabón de la transformación, el cual es el de mayor impacto ambiental en la CCA de amaranto de la CDMX, al ser el carbón un combustible menos eficiente que otros, como el gas LP o la electricidad, y que contribuye a incrementar la huella de carbono de este alimento, se identificó que la integración de estufas de inducción que funcionan a base de electricidad, podría reducir en hasta 13% las emisiones de CO_2 tan solo en este proceso. Aunado a la propuesta anterior se plantea la reducción de emisiones de CO_2 en todos los eslabones por medio de la sustitución de vehículos, que actualmente funcionan a base de gasolina, por el uso de vehículos eléctricos, lo que para este estudio constituiría una

reducción del 20% de emisiones de CO2, alcanzando una reducción total del 33% de emisiones de la CCA del amaranto con el mismo nivel de producción.

Este estudio propone la integración de innovaciones tecnologías que actualmente ya están vigentes para mejorar la eficiencia energética de los procesos productivos, en tanto, que se generan de manera eficaz, innovaciones adaptadas a la producción de amaranto el contexto periurbano.

Por otro lado, vale mencionar que este estudio concuerda con Majewski et al. (2020) en tanto a que la sostenibilidad de las CCA no constituye un elemento intrínseco por su naturaleza local o su cercanía con el mercado periurbano, ya que la diversidad de proyectos y prácticas que existen y seguirán surgiendo en los espacios periurbanos, y que podrían constituirse como cadenas cortas, requieren un análisis particular para identificar y mejorar los impactos ambientales, para favorecer el medio ambiente. Asimismo, y como se mencionó previamente, al considerar comparativamente las emisiones de GEI en otros alimentos, como podría ser la carne, destaca el valor obtenido del amaranto (1.45 kg CO2e por un kg de amaranto contra 24.46 kg CO2e por kilogramos de carne orgánica) y le posiciona como una opción sostenible no solo ambientalmente, sino que, al ser el amaranto, un alimento de alto contenido proteínico podría contribuir a la sustitución del consumo de proteína cárnica en las dietas periurbanas.

Asimismo, vale la pena mencionar que una de las limitaciones enfrentadas durante la investigación se presentó durante la etapa dos relacionada con la obtención de datos para el análisis del inventario ya que si bien se consultó a los productores de amaranto directamente sobre esta información, en ocasiones la información era ambigua por parte de los entrevistados, especialmente en lo relacionado con la etapa de comercialización, debido a los múltiples traslados que estos actores desarrollan; no obstante, consideramos que estos retos pudieron ser superados con aproximaciones a los datos. Asimismo, otra

limitación del estudio fue la falta de información referente a los insumos agrícolas, en especial agroquímicos, posiblemente empleados en la siembra, ya que ante la negativa de los productores a hacer uso de estos insumos llevó a la investigación a eliminarlos como componente de análisis.

En esta lógica, se destaca, como área de oportunidad para siguiente estudios o líneas de investigación, la necesidad de incluir información de otros insumos de las CCA del amaranto para ampliar el análisis del ciclo de vida del amaranto, es decir, identificar otros recursos utilizados en la cadena de valor (semillas, fertilizantes, agua, electricidad, empaques) para incrementar el alcance del estudio. Asimismo, sería relevante incluir, como variables del cambio climático, otras categorías analíticas como el uso de suelo, la precipitación u otros componentes energéticos. De igual manera sería muy relevante recuperar más información de los contextos sociales y económicos de los productores de amaranto, con el fin de entender de forma más holística la cadena completa.

Referencias

- Argumedo-Macías, A. (2021). Reventadora de semilla de amaranto (Amaranthus sp.). *Agro-Divulgación, 1*(0), 85- 86. https://doi.org/10.54767/ad.v1i1.24

- Aubry, C., y Kebir, L. (2013). Shortening food supply chains: A means for maintaining agriculture close to urban areas? The case of the French metropolitan area of Paris. *Food Policy*, *41*, 85–93. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.04.006
- Avila-Sanchez, H. (2024). Producción y consumo alimentario en espacios periurbanos de proximidad. Procesos socio-territoriales en la conformación de los sistemas agroalimentarios. *Investigaciones Geográficas*, *113*, e60806. https:// doi.org/10.14350/rig.60806
- Azapagic, A., y Clift, R. (1999). Life cycle assessment and multiobjective optimisation. *Journal of Cleaner Production*, *7*(2), 135–143. https://doi.org/10.1016/S0959- 6526(98)00051-1
- Benis, K., y Ferrão, P. (2017). Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) – a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 784–795. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.176
- Brodt, S., Kendall, A., Mohammadi, Y., Arslan, A., Yuan, J., Lee, I.-S., y Linquist, B. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. *Field Crops Research, 169*, 89–98. https://doi.org/10.1016/j. fcr.2014.09.007
- Canfora, I. (2016). Is the Short Food Supply Chain an Efficient Solution for Sustainability in Food Market? *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *8*, 402–407. https:// doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.036
- Cano, E., (2022). *Valor nutricional y biológico del amaranto variedad Amaranthus Caudatus L. (kiwicha).* Universidad Yécnica de Ambato. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34924
- Centro Nacional de Control de la Energía, [CENACE]. (2024). *Programas de ampliación y modernización de la red de transmisión y de los elementos de las redes generales de distribución que corresponden al mercado eléctrico mayorista. PAMRNT 2024 – 2038.* https://www.ce-nace.gob.mx/Docs/10_PLANEACION/ProgramasAyM/Programa%20de%20Ampliaci%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202024%20%E2%80%93%202038.pdf
- Chiffoleau, Y., Millet-Amrani, S., Rossi, A., Rivera-Ferre, M. G., y Merino, P. L. (2019). The participatory construction of new economic models in short food supply chains. *Journal of Rural Studies*, *68*, 182–190. https://doi. org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.019
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2014). *Fomento de circuitos cortos como alternativa para la promoción de la agricultura familiar. Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. Boletín CEPAL/ FAO/IICA. https://hdl.handle.net/11362/37152
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2016). *La milpa*. CONABIO. ht-tps://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., y Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, *1*(3), 292–297. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.014
- Cui, Y., Diarrassouba, I., Joncour, C., y Michel Loyal, S. (2024). Optimization and analysis of the impact of food hub location on GHG emissions in a short food supply chain. *Sustainability*, *16*(17), 7781. https://doi. org/10.3390/su16177781

- Del Rosario, P., Palumbo, E., y Traverso, M. (2021). Environmental product declarations as data source for the environmental assessment of buildings in the context of level(s) and DGNB: How feasible is their adoption? *Sustainability*, *13*(11), 6143. https://doi.org/10.3390/su13116143
- Dieleman, H. (2017). Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production, 163* (Supplement), S156-S163. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.082
- Folinas, D., Aidonis, D., Triantafillou, D., y Malindretos, G. (2013). Exploring the greening of the food supply chain with lean thinking techniques. *Procedia Technology*, *8* (Supplement), S416–S424. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.054
- Iglesias, H. (2005). Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. *Contribuciones a la Economía, 2*(1) https://contribucionesalaeconomia.com/index.php/contribuciones-economia/article/view/591
- Instituto de Planeación Democrática y Prospectiva de la Ciudad de México. (2023). *Programa General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México*. IPDP. https://www.ipdp.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/648/282/400/648282400131720032 7314.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que consumen en México.* Informe técnico No.3. INECC. https://www.gob.mx/inecc/documentos/factores-de-emision-para-los-diferentes-tipos-de-combustible-fosiles-que-se-consumen-en-mexico
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/ report/ar5/wg1/
- Jarzębowski, S., Bourlakis, M., y Bezat-Jarzębowska, A. (2020). Short Food Supply Chains [SFSC] as Local and Sustainable Systems. *Sustainability*, *12*(11), 4715. https://doi.org/10.3390/su12114715
- Jujnovsky, J., Ramos, A., González Gómez, R., Hudler Schimpf, C., Cetina Arenas, L., Ortiz Vázquez, R., y Almeida-Leñero, L. (2022). Herramientas para evaluar servicios ambientales en el suelo de conservación de la Ciudad de México. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1–26. https://doi. org/10.31840/sya.vi25.2512
- Keoleian, G. A., y Spitzley, D. v. (2006). Chapter 7 Life cycle based sustainability metrics. En M. A. Abraham (ed.), *Sustainability Science and Engineering, 1,* (pp. 127–159). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S1871-2711(06)80014-0
- Lang, T., e Irving, J. (2006). Locale / globale (food miles)'. *Slow Food*. 94-97. https://www.citystgeorges.ac.uk/__ data/assets/pdf_file/0007/167893/Slow-Food-fd-miles-final-16-02-06.pdf
- López-Cruz, I. L., Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., y Ruiz-García, A. (2012). Análisis de sensibilidad global de un modelo de lechugas (*Lactuca sativa L*.) cultivadas en invernadero. *Agrociencia*, *46*(4), 383-397. https://www. agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/ view/962
- Majewski, E., Komerska, A., Kwiatkowski, J., Malak-Rawlikowska, A., Wąs, A., Sulewski, P., Gołaś, M., Pogodzińska, K., Lecoeur, J.-L., Tocco, B., Török, Á., Donati, M., y Vittersø, G. (2020). Are Short food supply chains more environmentally sustainable than long chains? A Life Cycle Assessment (LCA) of the eco-efficiency

of food chains in selected EU countries. *Energies*, *13*(18), 4853. https:// doi.org/10.3390/en13184853

- Mapes, E. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*, *66*(3), 8-15. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66- numero-3/604-el-amaranto
- Martínez Salvador, L. E., De Jesús Contreras, D., y Guerrero Jacinto, M. I. (2022). Gobernanza territorial en los procesos de patrimonialización de bienes alimentarios. La "alegría" de amaranto en la Ciudad de México. En L. B. Montes de Oca Barrera, y L. E. Martínez Salvador (eds.), *Caminos de la gobernanza en México. Avances, pausas, obstáculos y retrocesos* (pp. 99–126). Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. https://www.iis.unam.mx/caminos-de-la-gobernanza-en-mexico-avances-pausas-obstaculos-y-retrocesos/
- Martínez Salvador, L. E., Hernández, L. G., y Alvarado Ramírez, D. (2021). Cadenas Cortas de Comercialización y seguridad alimentaria: el caso de El Mercado el 100. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, *52*(206), 197-220. https://doi.org/10.22201/ iiec.20078951e.2021.206.69732
- Moran Bañuelos, S. H., Soriano Robles, R., y Ramírez Romero, G. (2014). Diversidad biológica en el agroecosistema periurbano del amaranto en el Distrito Federal, México. En E. Guzmán Gómez, G. Espinosa Damián, y R. Diego Quintana (eds.), *Alternativas y transformaciones en el manejo de recursos naturales* (pp. 41-61). Asociación Mexicana de Estudios Rurales, [AMER]. https://agua.org.mx/ biblioteca/alternativas-y-transformaciones-en-el-manejo-de-recursos-naturales-volumen-iii-hacia-la-identificacion-de-la-gobernanza-local-del-agua-en-localidades-indigenas-de-la-sierra-nororiental-de-puebla/
- Mundler, P., y Rumpus, L. (2012). La route des paniers: réflexions sur l'efficacité énergétique d'une forme de distribution alimentaire en circuits courts. *Cahiers de Géographie Du Québec*, *56*(157), 9-264. https://doi.org/10.7202/1012220ar
- Muñoz Torres, M. J., Fernández-Izquierdo, M. Á., Ferrero-Ferrero, I., Escrig-Olmedo, E., y Rivera-Lirio, J. M. (2022). Transitioning the agri-food system. Does closeness mean sustainability? how production and shipping strategies impact socially and environmentally. Comparing Spain, South Africa and U.S. citrus fruit productions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *46*(4), 540–577. https:// doi.org/10.1080/21683565.2022.2039835
- Norma Internacional ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es
- Norma Internacional ISO 14064-1:2018. Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y López-Cruz, I. L., Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., y Ruiz-García, A. (2012). Análisis de sensibilidad global de un modelo de lechugas (*Lactuca sativa L*.) cultivadas en invernadero. *Agrociencia, 46*(4), 383-397. https://www. agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/ view/962
- Majewski, E., Komerska, A., Kwiatkowski, J., Malak-Rawlikowska, A., Wąs, A., Sulewski, P., Gołaś, M., Pogodzińska, K., Lecoeur, J.-L., Tocco, B., Török, Á., Donati, M., y Vittersø, G. (2020). Are Short food supply chains more environmentally sustainable than long chains? A Life Cycle Assessment (LCA) of the eco-efficiency of food chains in selected EU countries. *Energies*, *13*(18), 4853. https:// doi.org/10.3390/en13184853

- Mapes, E. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*, *66*(3), 8-15. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66- numero-3/604-el-amaranto
- Martínez Salvador, L. E., De Jesús Contreras, D., y Guerrero Jacinto, M. I. (2022). Gobernanza territorial en los procesos de patrimonialización de bienes alimentarios. La "alegría" de amaranto en la Ciudad de México. En L. B. Montes de Oca Barrera, y L. E. Martínez Salvador (eds.), *Caminos de la gobernanza en México. Avances, pausas, obstáculos y retrocesos* (pp. 99–126). Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. https://www.iis.unam.mx/caminos-de-la-gobernanza-en-mexico-avances-pausas-obstaculos-y-retrocesos/
- Martínez Salvador, L. E., Hernández, L. G., y Alvarado Ramírez, D. (2021). Cadenas Cortas de Comercialización y seguridad alimentaria: el caso de El Mercado el 100. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, *52*(206), 197-220. https://doi.org/10.22201/ iiec.20078951e.2021.206.69732
- Moran Bañuelos, S. H., Soriano Robles, R., y Ramírez Romero, G. (2014). Diversidad biológica en el agroecosistema periurbano del amaranto en el Distrito Federal, México. En E. Guzmán Gómez, G. Espinosa Damián, y R. Diego Quintana (eds.), *Alternativas y transformaciones en el manejo de recursos naturales* (pp. 41-61). Asociación Mexicana de Estudios Rurales, [AMER]. https://agua.org.mx/ biblioteca/alternativas-y-transformaciones-en-el-manejo-de-recursos-naturales-volumen-iii-hacia-la-identificacion-de-la-gobernanza-local-del-agua-en-localidades-indigenas-de-la-sierra-nororiental-de-puebla/
- Mundler, P., y Rumpus, L. (2012). La route des paniers: réflexions sur l'efficacité énergétique d'une forme de distribution alimentaire en circuits courts. *Cahiers de Géographie Du Québec*, *56*(157), 9-264. https://doi.org/10.7202/1012220ar
- Muñoz Torres, M. J., Fernández-Izquierdo, M. Á., Ferrero-Ferrero, I., Escrig-Olmedo, E., y Rivera-Lirio, J. M. (2022). Transitioning the agri-food system. Does closeness mean sustainability? how production and shipping strategies impact socially and environmentally. Comparing Spain, South Africa and U.S. citrus fruit productions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *46*(4), 540–577. https:// doi.org/10.1080/21683565.2022.2039835
- Norma Internacional ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es
- Norma Internacional ISO 14064-1:2018. Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Memoria del Taller de intercambio de experiencias en cadenas cortas agroalimentarias*. FAO. https://www.fao.org/documents/card/en?details=ff430a91-5825-4499-bcf4-66d8a0d62cc6/
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Guía para el desarrollo de mercados de productores*. Proyecto "Creación de cadenas cortas agroalimentarias en la Ciudad de México". FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ i8096es
- Orialnitak (2025). *Estufas de inducción: ¿Ahorro real de energía?* https://orialnitak.es/consumo-estufa-de-induccion/
- Padilla, R., y Oddone, N. (2014). *Manual para el fortalecimiento de la cadena de valor*. Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola [FIDA], y Comisión

Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. https://repositorio. cepal.org/handle/11362/40662

- Pérez-Vega, A., Regil García, H. H., y Mas Caussel, J. F. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas*, *103*, e60150. https://doi.org/10.14350/rig.60150
- Petti, L., Raggi, A., De Camillis, C., Matteucci, P., Sára, B., y Pagliuca, G. (2006). Life cycle approach in an organic wine-making firm: an Italian case-study. En *Fifth Australian Conference on Life Cycle Assessment "Achieving Business Benefits from Managing Life Cycle Impacts"*. Australian Life Cycle Assessment Society. Melbourne. https://ricerca.unich.it/handle/11564/130384
- Ramírez Reyes, C. (2020). *Sustitución de proteína animal en albóndigas a partir de harina de amaranto, lentejas y algas nori*. Universidad de los Andes. http://hdl.handle. net/1992/48897
- Renting, H., Schermer, M., y Rossi, A. (2012). Building food democracy: Exploring civic food networks and newly emerging forms of food citizenship. *The International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, *19*(3), 289– 307. https://doi.org/10.48416/ijsaf.v19i3.206
- Rodrigues Viana, L., Dessureault, P.-L., Marty, C., Boucher, J.-F., y Paré, M. C. (2023). Life cycle assessment of oat flake production with two end-of-life options for agro-industrial residue management. *Sustainability*, *15*(6), 5124. https://doi.org/10.3390/su15065124
- Rodríguez-Fernández, Y., Abreu-Ledón, R. y Franz, M. (2019). Mapeo del Flujo de Valor para el análisis de sostenibilidad en cadenas de suministro agroalimentarias. *Ingeniería Industrial*, *40*(3), 316-328. http://scielo.sld.cu/scielo.php?s-cript=sci_abstract&pid=S1815-59362019000300316
- Romero-López, A. R., y Ramos, F. M. (2017). Understanding the linkages between small-scale producers and consumers through the analysis of short food supply chains in a local market in Nopala de villagrán, Hidalgo, Mexico. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, *14*(79), 1- 16. https://doi. org/10.11144/Javeriana.cdr14-79.ulsp
- Salomone, R., y Ioppolo, G. (2012). Environmental impacts of olive oil production: A Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily). *Journal of Cleaner Production*, *28*, 88–100. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.004
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER].
- (2020a). *Amaranto, un cultivo ancestral y de alto valor nutricional*. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/ amaranto-un-cultivo-ancestral-y-de-alto-valor-nutricional?idiom=es
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2020b). *Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024 (SADER-NIS-0507)*. Normateca SADER. https://normateca.agricultura.gob.mx/ programa-sectorial-de-agricultura-y-desarrollo-rural-2020-2024-sader-nis-0507
- Secretaria de Energía y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [SENER], y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE]. (2025). *Iniciativas para el aprovechamiento térmico solar y de la eficiencia energética en el sector servicios. Balance 2007 – 2023*. SENER y CONUEE. https://www.gob.mx/cms/ uploads/attachment/file/993226/IATSEESS.pdf
- Secretaria de Pueblos y Barrios Originarios y Comunidades Indígenas Residentes [SEPI]. (2017). *Con equipo y herramientas Sederec contribuye al ciclo productivo del amaranto*. https://www.sepi.cdmx.gob.mx/comunicacion/ nota/con-equipo-y-herramientas-sederec-contribuye-al-ciclo-productivo-del-amaranto

- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON]. (2023). *Reporte. Módulo Agrícola. SADER y SIAP*. https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es
- Tolentino Martínez, J., y Martínez Salvador, L. (2021). Gobernanza y arreglos institucionales para la revalorización de cultivos agroalimentarios: el caso del amaranto en la región centro en México. En G. Torres Salcido, y R. M. Larroa Torres, (coord.), *Gobernanza y desarrollo territorial. Sistemas agroalimentarios localizados. Análisis y políticas públicas.* (pp. 221-254.) CIALC- UNAM. https:// librosoa.unam.mx/handle/123456789/3424
- Torrellas, M., Antón, A., López, J. C., Baeza, E. J., Pérez Parra, J., Muñoz, P., y Montero, J. I. (2012). LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *17*(7), 863-875. https://doi.org/10.1007/s11367-012-0409-8
- Torres Salcido, G. (2022). Gobernanza territorial y anclaje de los alimentos. Los Sistemas Agroalimentarios Localizados (Sial). En L. B. Montes de Oca Barrera, y L. E. Martínez Salvador (eds.), *Caminos de la gobernanza en México. Avances, pausas, obstáculos y retrocesos* (pp. 127–158). Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. https:// www.iis.unam.mx/caminos-de-la-gobernanza-en-mexico-avances-pausas-obstaculos-y-retrocesos/
- United States Department of Agriculture [USDA]. (2025). *Corn and other feed grains - Feed grains sector at a glance*. https://www.ers.usda.gov/topics/crops/corn-and-other-feed-grains/feed-grains-sector-at-a-glance
- Vitali, A., Grossi, G., Martino, G., Bernabucci, U., Nardone, A., y Lacetera, N. (2018). Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(14), 5518–5524. https://doi.org/10.1002/jsfa.9098

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Análisis de la competitividad de la Canela mexicana en el mercado de EE. UU.

Blanca Citlalli Pérez Pérez[1], José María Contreras Castillo[2], Juan Hernández Ortíz[3]

Resumen
A pesar del crecimiento del comercio internacional de canela y la importancia del mercado estadounidense como destino, México tiene una participación reducida frente a países líderes como Indonesia, Vietnam y Sri Lank. La presente investigación tiene como objetivo analizar la competitividad comercial de México en el mercado estadounidense de la canela durante el periodo 2000-2025 mediante el Índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (VCRN) propuesta por Yu et al. (2009). Los resultados mostraron que el índice de VCRN se mantiene con valores por debajo de cero (-0.0175 a -0.2833) lo que indicó que México no tiene ventaja competitiva en el mercado estadounidense y presenta una tendencia negativa. La competitividad de la canela en el mercado estadounidense revela un escenario de marcado dominio por parte de los proveedores asiáticos frente a una profunda y creciente desventaja para México. La estimación de la tendencia confirma que la competitividad de México va en retroceso debido a que muestra una pendiente negativa.
Palabras clave: Competitividad**,** índice de ventaja comparativa revelada normalizada, canela.

Abstract
Despite the growth in international cinnamon trade and the importance of the U.S. market as a destination, Mexico has a small market share compared to leading countries such as Indonesia, Vietnam, and Sri Lanka. The objective of this study is to analyze Mexico's trade competitiveness in the U.S. cinnamon market during the 2000–2025 period using the Normalized Revealed Comparative Advantage Index (NRCA) proposed by Yu et al. (2009). The results showed that the NR-CVI remains below zero (-0.0175 to -0.2833), indicating that Mexico lacks a competitive advantage in the U.S. market and exhibits a negative trend. The competitiveness of cinnamon in the U.S. market reveals a scenario of marked dominance by Asian suppliers, contrasted by a profound and growing disadvantage for Mexico. The trend estimate confirms that Mexico's competitiveness is declining, as evidenced by a negative slope.
Keywords: Competitiveness, normalized revealed comparative advantage index, cinnamon.

Introducción

La canela constituye una especia de importancia comercial internacional cuyo principal producto se obtiene de la corteza seca de la planta. Además de su utilización como condimento y saborizante de alimentos, la corteza puede ser procesada para obtener productos como canela en polvo, aceite esencial y oleorresina, los cuales presentan aplicaciones en las industrias alimentaria, de bebidas, farmacéutica y cosmética. Su demanda internacional se relaciona, entre otros factores, con sus características aromáticas, mientras que el grado de procesamiento y la calidad del producto pueden

[1] División de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. Correo: bcitlalli3@gmail.com
[2] División de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. Correo: jcontrerasc@chapingo.mx
[3] División de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo (UACh). Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Edo. de México, C.P. 56230, México. Correo: jcontrerasc@chapingo.mx

generar diferencias importantes en los precios obtenidos en los mercados internacionales (Rochdiani & Wulandari, 2023).

La canela presenta una demanda creciente en el mercado internacional, lo que refleja su importancia como producto agrícola comercializado entre diferentes países. De acuerdo con Supriana, Pane y Khaliqi (2022), la demanda internacional de canela mantiene una tendencia positiva y el mercado ofrece amplias oportunidades para los países productores y exportadores. Esta situación se relaciona con la creciente participación de diversos países en el comercio internacional de este producto y con las oportunidades existentes para ampliar su presencia en los mercados. No obstante, el crecimiento de la demanda también genera un entorno de mayor competencia entre los países productores, debido a que estos buscan incrementar su participación mediante mejoras en la competitividad, la calidad del producto y las estrategias de comercialización.

A nivel mundial en 2022, los principales países exportadores de Canela y Flores de Canelero, Trituradas o Pulverizadas (HS 090620) fueron Vietnam US$76.2 millones, Indonesia US$61.9 millones y Estados Unidos US$17.1 millones. En el mismo año, los principales países importadores fueron Estados Unidos US$74.5 millones, Canadá US$23.5 millones y Alemania US$15.8 millones (Secretaría de Economía, s/f).

La Secretaría de Economía de México reporta que en 2024 el intercambio comercial total de Canela y Flores de Canelo, trituradas o Pulverizadas fue de US$7.5 millones. En ese mismo año las entidades federativas con más exportaciones fueron Ciudad de México US$13.1 mil y Querétaro US$3.64 mil. Las entidades federativas con más importaciones fueron Ciudad de México US$3.14 millones, Estado de México US$1.67 millones, Nuevo León US$797 mil, Baja California US$429 mil y Jalisco US$205 mil.

La participación de México en el comercio internacional de canela enfrenta la competencia de países con una participación importante en la producción y comercialización de este producto. En este sentido, resulta necesario determinar la capacidad que tiene la canela mexicana para competir frente a otros países proveedores.

En 2024 México exporto a EE. UU. US$1.67 mil haciéndolo el tercer destino comercial de Canela y Flores de Canelo, trituradas o pulverizadas (Secretaría de Economía, s/f). En este contexto EE. UU. representa un mercado de particular interés para México. Por ello, analizar el comportamiento de las exportaciones de canela mexicana hacia Estados Unidos permite evaluar la posición competitiva de México frente a los principales países exportadores de canela que abastecen este mercado, identificando las diferencias en su desempeño comercial y la capacidad de México para competir por una mayor participación en el mercado estadounidense.

A pesar del crecimiento del comercio internacional de canela y la importancia del mercado estadounidense como destino, México tiene una participación reducida frente a países líderes como Indonesia, Vietnam y Sri Lanka. La principal problemática es la falta de evidencia sobre la posición competitiva de México en el mercado mundial y su capacidad para competir en Estados Unidos. Conocer esto permitirá evaluar ventajas comparativas, analizar su desempeño frente a los principales países y orientar estrategias para la expansión, especialmente para pequeños productores.

En términos de comercio internacional la competitividad se define como la capacidad de un país o sector para producir bienes y servicios que superen las pruebas de la competencia internacional, manteniendo y aumentando simultáneamente los ingresos reales de su población (Jambor, A., & Babu, 2016). El concepto ha evolucionado y en el contexto actual de globalización la competitividad no solo depende de la dotación de recursos naturales, sino también de la capacidad de innovación y la eficiencia en los procesos de creación de valor (Nikulnikova, H., Bondarkchuk, O., & Astafieva, 2025).

Una de las herramientas analítica para medir la competitividad comercial de un país en un sector o producto especifico es el índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (VCRN). A diferencia de otros índices el VCRN ofrece una mayor precisión al permitir comparaciones consistentes a través de diferentes mercancías, naciones y momentos en el tiempo (Yu, R., Cai, J., & Leung, 2009).

La presente investigación tiene como objetivo analizar la competitividad de México en el mercado internacional de la canela mediante el Índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (VCRN). Se plantea como hipótesis que la posición competitiva de México en el comercio internacional de canela presenta cambios durante el periodo de estudio y difiere de la observada en los principales países proveedores del mercado estadounidense. Para ello, se caracteriza el comportamiento del comercio internacional de canela, se analiza la evolución de las exportaciones mexicanas, se estima la VCRN para México. Los resultados permitirán identificar las condiciones de competitividad de la canela mexicana y la tendencia de la VCRN.

Materiales y métodos

La interpretación de los resultados del VCRN permite determinar la existencia y la magnitud de la ventaja comparativa revelada de México con el producto canela en el mercado estadounidense. Un valor positivo del VCRN indica la presencia de una ventaja comparativa revelada, lo que significa que la canela presenta desempeño exportador relativamente favorable respecto al patrón esperado de comercio. Por el contrario, un valor negativo indica una desventaja comparativa revelada, asociada con una participación en las exportaciones menor a la que correspondería de acuerdo con la estructura comercial observada. Cuando el valor es igual a cero se considera que no existe ni ventaja ni desventaja del producto.

Para el análisis de la competitividad de la canela de México en el mercado especifico de Estados Unidos se usaron las bases de datos del Sistema de Comercio Agrícola Global del Servicio Agrícola Exterior (GATS, por sus siglas en ingles) y del servicio de investigación económica (ERS, por sus siglas en ingles), ambas plataformas pertenecen al Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en ingles). Se uso la clasificación BICO HS-10 y para contemplar el producto en todas las presentaciones reportadas se usó la suma del valor (miles de dólares) de cuatro productos: flor de árbol de canela (906200000), canela (906110000), otras flores de canela (906190000), flor de árbol de canela (906100000).

El periodo de análisis comprende del 2000 al 2025, los datos utilizados fueron los de importación, exportación y producción interna de EE. UU., es importante destacar que el último dato no tiene registro alguno y consultando con fuentes bibliográficas se concluye que la producción interna de canela de EE. UU. es de cero.

La metodología usada es la del Índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (VCRN) propuesto por Yu et al. (2009) y descrita en la Nota Metodológica sobre el índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (Contreras-Castillo, J. M. y Leos-Rodríguez, 2021).

El índice de VCRN se define como:

$$VCRN_{jm} = \frac{E_{jm}}{E} - \left[\frac{E_m}{E}\right]\left[\frac{E_j}{E}\right] \quad (1)$$

Donde:

E_{jm} es la oferta del producto *j* (en este caso específico este producto es canela) proveniente del país *m* (México) en el mercado de EE. UU.

E_j es la oferta total del producto *j* en el mercado de EE. UU., que incluye la oferta que viene del resto de países oferentes externo y la oferta interna del propio EE. UU.

E_m es la oferta total de todos los productos agrícolas provenientes del país *m* (México) en el mercado de EE. UU.

E es la oferta total de todos los productos agrícolas en el mercado de EE. UU., incluye la oferta interna de EE. UU. y la que proviene del resto de oferentes externos.

La oferta total de canela en el mercado de EE. UU. (E_j) se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_j = PA_j - X_j + M_{jt} \quad (2)$$

Donde:

PA_j es el valor de la producción de canela en EE. UU.

X_j es el valor de las exportaciones de canela de EE. UU.

M_{jt} es el valor de las importaciones de canela de EE. UU. de todos los países.

La oferta total de todos los productos agrícolas en el mercado de EE. UU. (E) se calculó con la siguiente ecuación:

$$E = PA - XA + MA_t \quad (3)$$

Donde:

PA es el valor de la producción agrícola total de EE. UU.

XA con las exportaciones agrícolas totales de EE. UU.

MA_t son las importaciones agrícolas totales de EE. UU. De todos los países.

Los resultados del índice VCRN se interpretaron de la siguiente manera:

VCRN > 0 indica que el país *m* tuvo ventaja comparativa en la canela.

VCRN < 0 indica que el país *m* tuvo desventaja comparativa en la canela.

VCRN = 0 indica que el país *m* no tuvo ventaja o desventaja comparativas en la canela.

Para la presentación y discusión de resultados los índices de VCRN se multiplicaron por 10 mil lo que no afecto a la interpretación de los resultados.

Tendencia de la ventaja comparativa en el tiempo.

La tendencia en el tiempo de la ventaja comparativa revelada de la canela del país *m* en el mercado de EE. UU. Se puede estimo con el siguiente modelo de regresión simple a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO):

$$VCRN_t = \propto_t + \beta_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

Donde:

$VCRN_t$ es el índice de ventaja comparativa revelada normalizada de la canela en el periodo t;

α es la ordenada al origen o intercepto;

β es el coeficiente que mide la pendiente e indica la tendencia de la ventaja comparativa revelada para la canela;

t es el tiempo (en este caso en específico son años);

ε es un término de error aleatorio.
Con el modelo estimado se realizó la inferencia estadística del valor estimado de la pendiente de la siguiente manera:
Si β no es estadísticamente diferente de cero implica que la ventaja comparativa revelada del país *m* en la canela es estable.

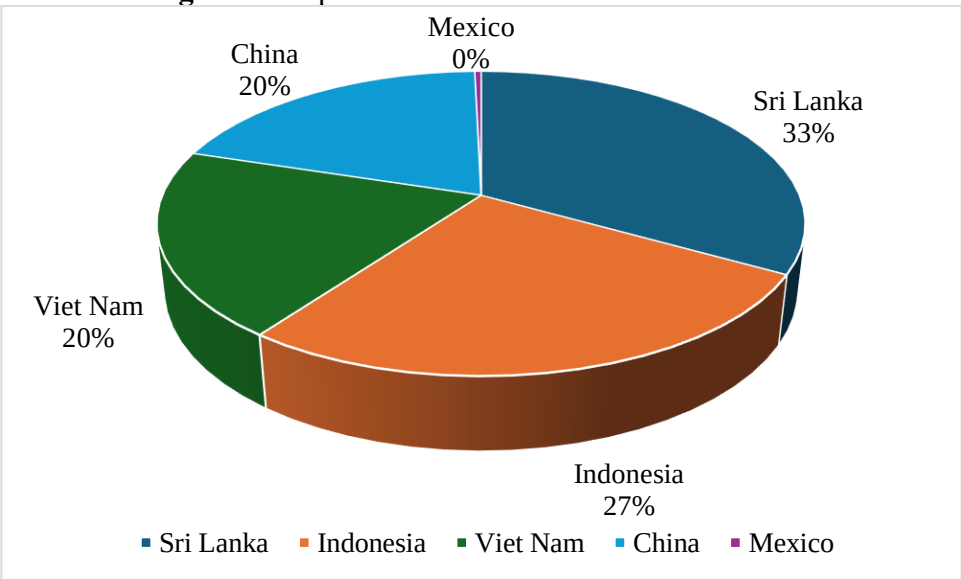
Si β es estadísticamente diferente que cero entonces la ventaja comparativa revelada del país *m* en la canela es inestable. Particularmente si $\beta > 0$ sugiere que el país *m* está ganando, en el mercado de EE. UU., ventaja comparativa revelada en la canela, y si $\beta < 0$ significa que el país *m* está perdiendo ventaja comparativa revelada en la canela.

Resultados y discusión

En 2014, las exportaciones mundiales de canela (HS 0906) presentaron una elevada concentración entre los principales países oferentes. En la figura 1 se observa que Sri Lanka encabezó las exportaciones con un valor de US$132.25 millones, equivalente al 28.06 % de la participación mundial, seguido de Indonesia con US$107.11 millones (22.73 %). Por su parte, Vietnam y China registraron valores de US$78.93 y US$78.78 millones, respectivamente, representando el 16.75 % y 16.72 % del mercado mundial.

En conjunto, estos cuatro países concentraron el 84.26 % de las exportaciones mundiales, evidenciando el predominio de un reducido grupo de países en la oferta internacional de canela. México registró exportaciones por US$1.53 millones, equivalentes al 0.324 % del mercado mundial, ubicándose en la posición 15 entre los países considerados. Esta participación fue considerablemente inferior a la de los principales exportadores, particularmente Sri Lanka e Indonesia.

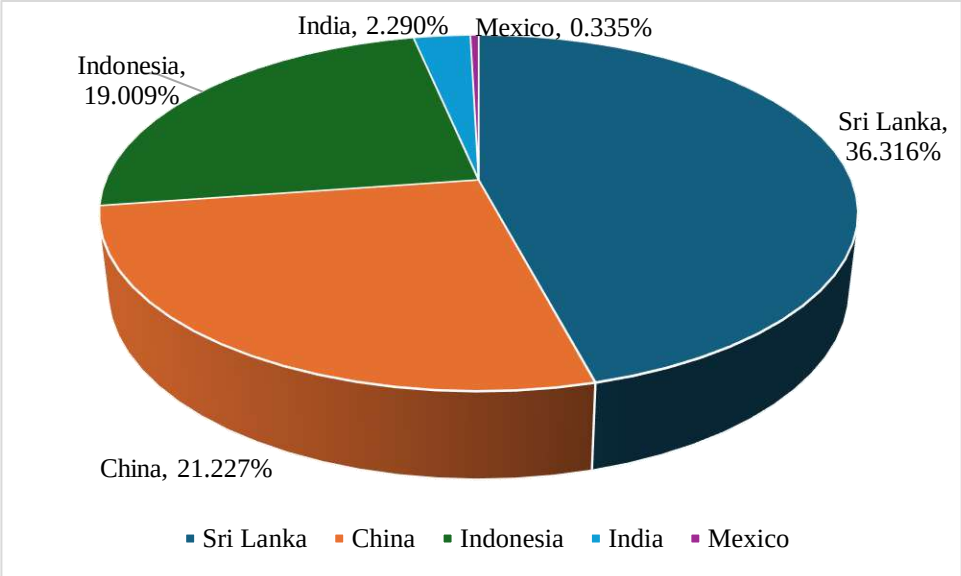
Figura 1. Exportaciones mundiales de canela 2014.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Base de Datos de Comercio de la ONU.

Para el año 2024 el comercio mundial de canela presentó cambios entre los principales países exportadores como se observa en la figura 2.

Figura 2. Exportaciones mundiales de canela 2024.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Base de Datos de Comercio de la ONU.

Sri Lanka se mantuvo como el principal exportador, con un valor de US$214.44 millones, equivalente al 36.32 % de la cuota de mercado mundial, seguido de China con un 21.23 %. Indonesia, con participaciones de 19.01 %. México ocupó la posición 19 en contraste con 10 años antes bajo cuatro posiciones, aunque tuvo un muy ligero aumento del porcentaje del mercado global, con exportaciones por US$1.98 millones y una cuota de mercado de apenas 0.34 %.

En la tabla 1 se puede observar como en el mercado especifico de EE. UU. las importaciones de canela de México, Indonesia, Sri Lanka, Vietnam y China tuvieron un aumento del 745.2%.

Tabla 1 Importación de EE. UU. de canela proveniente de cinco países (en miles de dólares).

AÑO	MÉXICO	INDONESIA	SRI LANKA	VIETNAM	CHINA
2000	10	12,180	4,554	1,096	138
2001	13	9,667	4,316	1,086	240
2002	3	8,967	5,965	910	183
2003	2	10,305	4,811	995	477
2004	5	9,895	5,370	933	234
2005	2	9,949	5,236	1,461	352
2006	6	12,750	8,157	1,881	500
2007	7	14,859	8,442	1,645	392
2008	13	17,311	8,141	1,647	452
2009	58	15,231	7,321	2,553	860
2010	3	21,579	11,535	3,434	717
2011	15	31,424	12,541	3,703	1,380
2012	10	26,313	14,275	4,705	1,472
2013	0	32,978	15,795	6,686	978
2014	0	44,894	17,427	7,726	993
2015	0	44,790	18,133	8,826	1,027
2016	9	41,264	19,729	9,718	677
2017	26	69,470	29,499	15,809	1,405
2018	13	69,733	26,077	21,619	1,284
2019	0	76,458	22,964	22,854	663
2020	7	81,312	28,597	34,406	1,414
2021	48	90,337	29,454	50,107	1,195
2022	59	91,671	39,347	54,474	1,066
2023	12	62,466	25,365	50,706	1,181
2024	222	64,321	26,946	51,663	965
2025	132	57,195	39,148	54,581	889

Fuente: Elaboración propia con datos del GATS.

El volumen máximo fue en 2022 con 186,617 unidades, seguido de una caída en 2023 y recuperación parcial en 2024 y 2025. Indonesia fue el principal proveedor, con exportaciones de 12,180 a 57,195 unidades, mientras Vietnam creció de 1,096 a 54,581 y Sri Lanka de 4,554 a 39,148 unidades. China tuvo una participación menor y fluctuante. México, con 10 unidades en 2000 y 132 en 2025 (máximo en 2024 con 222), mantiene una participación marginal en comparación con los otros países. Aunque ha habido crecimiento, México enfrenta una brecha significativa en su participación en el mercado estadounidense, lo que requiere analizar su competitividad y oportunidades de expansión.

Se procede a analizar los resultados obtenidos del cálculo del índice de VCRN para el periodo 2000-2025 resumido en la tabla 2.

Tomando en cuenta que sí el índice de la VCRN > 0 implicó que México tuvo ventaja comparativa en la canela y por el contrario sí el índice de la VCRN < 0 implicó que México tuvo desventaja comparativa en la canela. La tabla muestra claramente como todos los valores de VCRN para México son negativos, es decir, México no tuvo ventaja comparativa en el periodo completo.

Tabla 2. Índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada.

AÑO	VCRN	AÑO	VCRN
2000	-0.0216	2013	-0.0525
2001	-0.0175	2014	-0.0718
2002	-0.0253	2015	-0.0891
2003	-0.0228	2016	-0.1127
2004	-0.0180	2017	-0.1802
2005	-0.0217	2018	-0.1887
2006	-0.0332	2019	-0.2154
2007	-0.0268	2020	-0.2833
2008	-0.0292	2021	-0.2715
2009	-0.0294	2022	-0.2196
2010	-0.0520	2023	-0.1659
2011	-0.0563	2024	-0.1860
2012	-0.0470	2025	-0.1646

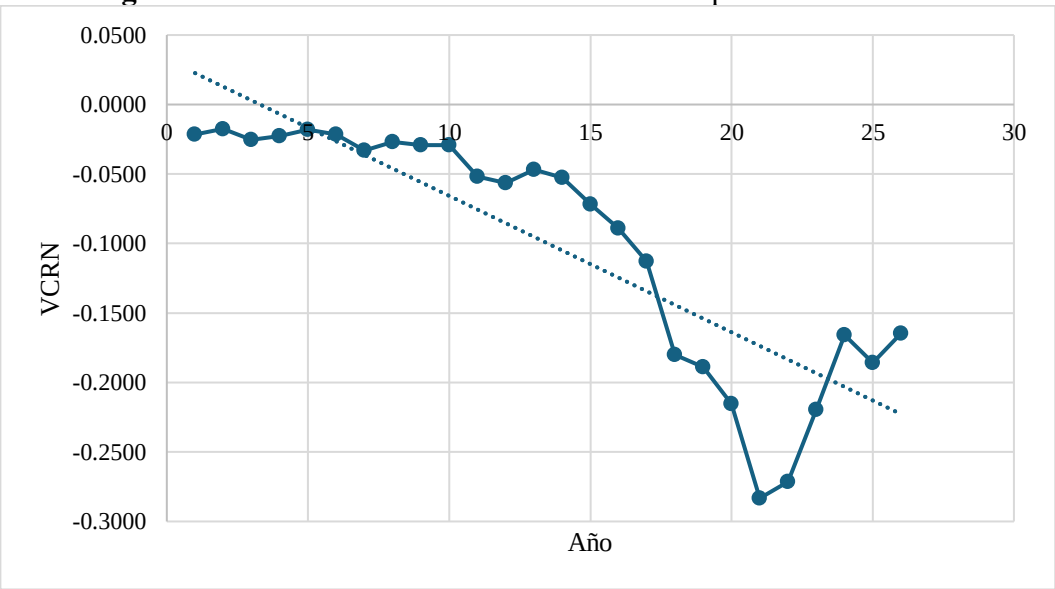
Fuente: Elaboración propia.

Para tener una imagen más clara del comportamiento de los valores de VCRN se apoyó con la figura 3 donde se vio como del año 2000 al 2009 la tendencia se mantenía ligeramente constante en un valor aproximado a cero, lo que se interpretó como una desventaja competitiva ligera.

A partir del 2010 al 2016 la desventaja comparativa fue aumentando, pero la caída más pronunciada se observa del año 2017 al 2020, en donde se presenta el valor más bajo de VCRN, siendo así el punto de mayor desventaja competitiva de todo el periodo. En el 2021 la desventaja competitiva comienza a deteriorarse durante tres años, aunque se mantiene negativo para que finalmente en el 2024 tiene un ligero aumento, pero en el 2025 cierra con un valor de VCRN de -0.1646.

En conjunto, la tendencia descendente sugiere un debilitamiento de la competitividad relativa de México en el mercado de la canela.

Figura 3. Tendencia de VCRN de México en el periodo 2000-2025.



Fuente: Elaboración propia con datos de la tabla 2.

Conclusiones

Aunque en los últimos cinco años ha ido en aumento la importación de canela desde México hacia EE. UU., la participación de México en este mercado aún es pequeña en comparación con otros países que lideran el mercado, como Indonesia, Sri Lanka, Vietnam y China.

México presenta desventaja competitiva con la canela en el periodo 2000-2025 en el mercado estadounidense. El índice de VCRN se mantiene con valores negativos (-0.0175 a -0.2833) lo que indicó que México no tiene ventaja competitiva en el mercado estadounidense y presenta una tendencia negativa.
La competitividad de la canela en el mercado estadounidense, analizada a través del índice de Ventaja Comparativa Revelada Normalizada (VCRN), indica un escenario de marcado dominio por parte de los proveedores asiáticos frente a una profunda y creciente desventaja para México.

La estimación de la tendencia confirma que la competitividad de México va en retroceso debido a que muestra una pendiente negativa. El índice cae desde valores muy cercanos a cero en los primeros años hasta un punto crítico de aproximadamente -0.28 en el año 21, y aunque muestra una ligera recuperación al final, cierra el periodo en niveles muy desfavorables (alrededor de -0.18).

Literatura citada

- Contreras-Castillo, J. M. y Leos-Rodríguez, J. A. (2021). Nota metodológica sobre el índice de ventaja comparativa revelada normalizada. En *Metodologías y herramientas para la investigación* (Vol. V9). Universidad Autónoma Chapingo.
- Jambor, A., & Babu, S. (2016). *Competitiveness: Definitions, Theories and Measurement*. Springer. https://doi.org///doi.org/10.1007/978-3-319-44876-3_3
- Nikulnikova, H., Bondarkchuk, O., & Astafieva, K. (2025). The role of international trade in strengthening the competitiveness of the national economy. *Naukovij Vìsnik Polìssâ*, *1*, 51–60. https://doi.org///doi.org/10.25140/2410-9576-2025-1(30)-51-60
- Rochdiani, D., & Wulandari, E. (2023). Competitiveness Analysis and Factors Affecting Indonesian Cinnamon Exports. *Economies*, *11*(2). https://doi.org/10.3390/economies11020055
- Secretaría de Economía. (s/f). *Canela y Flores de Canelero, Trituradas o Pulverizadas*. 2022. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/cinnamon-and-cinnamon-tree-flowers-crushed-or-ground#mercado-global
- Yu, R., Cai, J., & Leung, P. (2009). The normalized revealed comparative advantage index. *Annals of Regional Science*, *43*, 267–282. https://doi.org///doi.org/10.1007/S00168-008-0213-3

Línea de Investigación

AGROECOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD PRODUCTIVA

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Diseño de un gemelo digital para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en un laboratorio agrovoltaico universitario

Miguel Ángel Hernández Moreno[1] y Jazmín Álvarez Flores[2]

Resumen

La formación de profesionales en sostenibilidad requiere estrategias educativas que integren agricultura, energías renovables, ciencias ambientales y tecnologías digitales. Sin embargo, estos conocimientos suelen abordarse de manera aislada, limitando el desarrollo de competencias para analizar sistemas complejos y tomar decisiones fundamentadas en evidencia. El objetivo de este trabajo fue diseñar un gemelo digital para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en un laboratorio agrovoltaico universitario. La investigación corresponde a un estudio de innovación educativa con enfoque aplicado. La propuesta integra un laboratorio vivo (Living Lab), el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), un tablero interactivo para la visualización de indicadores agrícolas, ambientales y energéticos, así como un módulo de inteligencia artificial orientado a apoyar el análisis de datos y la toma de decisiones. Como resultado se obtuvo el diseño funcional de una plataforma capaz de integrar información del laboratorio agrovoltaico, representar virtualmente el comportamiento del sistema y generar recomendaciones para apoyar las actividades académicas. Asimismo, se definió una arquitectura metodológica que articula la experimentación en campo con herramientas digitales para favorecer el aprendizaje interdisciplinario. Se concluye que el gemelo digital constituye una propuesta tecnológica con potencial para fortalecer la formación en sostenibilidad y apoyar futuros procesos de enseñanza, investigación y vinculación. Como trabajo futuro se plantea su validación mediante un estudio piloto con estudiantes universitarios.

Palabras clave: gemelo digital; agrovoltaica; innovación educativa; aprendizaje interdisciplinario; laboratorio vivo.

Abstract

The training of professionals in sustainability requires educational strategies that integrate agriculture, renewable energy, environmental sciences, and digital technologies. However, these areas of knowledge are often addressed separately, limiting the development of competencies for analyzing complex systems and making evidence-based decisions. The objective of this work was to design a digital twin to strengthen interdisciplinary learning in a university agrivoltaic laboratory. The research is an applied educational innovation study. The proposal integrates a Living Lab, Project-Based Learning (PBL), an interactive dashboard for visualizing agricultural, environmental, and energy indicators, and an artificial intelligence module aimed at supporting data analysis and decision-making. As a result, a functional platform was designed to integrate information from the agrivoltaic laboratory,

[1] Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli (UPCI), Docente. Dirección: Av. Lago de Guadalupe, Colonia Lomas de San Francisco Tepojaco, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54720. Correo electrónico: acatlan1033@gmail.com. Nacionalidad: Mexicana.

[2] Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli (UPCI), Docente. Dirección: Av. Lago de Guadalupe, Colonia Lomas de San Francisco Tepojaco, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54720. Correo electrónico: jaz.seele@gmail.com. Nacionalidad: Mexicana.

virtually represent system behavior, and generate recommendations to support academic activities. A methodological architecture was also defined to articulate field experimentation with digital tools and promote interdisciplinary learning. It is concluded that the digital twin is a technological proposal with the potential to strengthen sustainability education and support future teaching, research, and outreach processes. Future work includes validation through a pilot study with university students.

Keywords: digital twin; agrivoltaics; educational innovation; interdisciplinary learning; living lab.

Introducción

La transición hacia sistemas productivos más sostenibles constituye uno de los principales desafíos científicos y tecnológicos del siglo XXI. Problemáticas como el cambio climático, la degradación de los recursos naturales, el incremento de la demanda alimentaria y la necesidad de avanzar hacia modelos de economía sostenible requieren profesionales capaces de integrar conocimientos provenientes de la agricultura, las energías renovables, las ciencias ambientales y las tecnologías digitales. En este contexto, las instituciones de educación superior enfrentan el reto de formar estudiantes con competencias interdisciplinarias que les permitan comprender sistemas complejos y proponer soluciones sustentables apoyadas en la evidencia.

Sin embargo, en numerosos programas universitarios estos conocimientos continúan impartiéndose de manera fragmentada, mediante asignaturas independientes que dificultan la comprensión de la interacción existente entre los componentes agrícolas, energéticos, ambientales y tecnológicos. Esta situación limita el desarrollo de competencias para el análisis integral de datos, la interpretación de fenómenos complejos y la toma de decisiones fundamentadas, aspectos indispensables para atender los retos actuales relacionados con la sostenibilidad y la transformación digital.

Ante esta necesidad, han surgido estrategias educativas como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), los laboratorios vivos (Living Labs) y, más recientemente, los gemelos digitales (Digital Twins), los cuales permiten integrar la experimentación con herramientas digitales para representar, analizar y simular sistemas reales. Los laboratorios vivos favorecen que los estudiantes participen en escenarios auténticos de aprendizaje mediante la observación, el análisis y la resolución de problemas, mientras que los gemelos digitales posibilitan la integración de información en tiempo real, la visualización de indicadores, la simulación de escenarios y el apoyo a la toma de decisiones mediante tecnologías digitales e inteligencia artificial (Terrones-Rodríguez, 2023; Almazán Lázaro et al., 2025; Lara Muñoz et al., 2026).

No obstante, la mayor parte de las aplicaciones reportadas en la literatura se concentran en sectores como la manufactura, la ingeniería industrial, la automatización y la gestión de procesos. En contraste, aún son limitados los trabajos orientados al diseño de gemelos digitales para laboratorios agrovoltaicos con fines educativos, particularmente aquellos que integran variables agrícolas, ambientales y energéticas para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en instituciones de educación superior. Esta situación representa un área de oportunidad para desarrollar herramientas que vinculen la experimentación en campo con tecnologías digitales capaces de apoyar la formación de profesionales en sostenibilidad.

Los sistemas agrovoltaicos constituyen un escenario idóneo para este propósito, ya que permiten combinar la producción agrícola con la generación de energía fotovoltaica dentro de un mismo espacio físico (Ávila, 2024; Yaulilahua-Huacho et al., 2025). La interacción entre ambos componentes genera una gran cantidad de información relacionada con variables climáticas, agronómicas, energéticas e hídricas, cuyo análisis favorece la comprensión de procesos complejos y la toma de decisiones basada en evidencia. La incorporación de un gemelo digital permite transformar dichos datos en un recurso didáctico que facilita la visualización, interpretación y comparación de escenarios, fortaleciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Como respuesta a esta necesidad, se diseñó un gemelo digital para un laboratorio agrovoltaico universitario desarrollado en la Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli. La propuesta integra un tablero interactivo para la visualización de indicadores agrícolas, ambientales y energéticos, una base de datos para el almacenamiento histórico de experimentos y un módulo de inteligencia artificial orientado a generar recomendaciones para el análisis de información y la toma de decisiones durante las actividades académicas.

El objetivo del presente trabajo es diseñar un gemelo digital para un laboratorio agrovoltaico universitario que integre variables agrícolas, ambientales y energéticas mediante herramientas digitales e inteligencia artificial, y describir su diseño pedagógico y tecnológico como propuesta de innovación educativa orientada a fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en educación superior.

La hipótesis de trabajo establece que la integración de un gemelo digital en un laboratorio agrovoltaico universitario constituye una propuesta tecnológica con potencial para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario, al facilitar la visualización de datos, el análisis de información y la toma de decisiones basada en evidencia.

Materiales y Métodos

Tipo de investigación

La investigación corresponde a un estudio de innovación educativa con enfoque aplicado y alcance descriptivo-propositivo, orientado al diseño de un gemelo digital para fortalecer el aprendizaje interdisciplinario en un laboratorio agrovoltaico universitario. El trabajo se centra en el desarrollo de una herramienta tecnológica capaz de integrar información agrícola, ambiental y energética para apoyar procesos de enseñanza, análisis de datos y toma de decisiones en educación superior.

La propuesta metodológica incorpora principios del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), la filosofía de los Laboratorios Vivos (Living Labs) y el concepto de gemelos digitales, favoreciendo la integración de escenarios reales con tecnologías digitales para el aprendizaje de sistemas complejos (García Martín y Pérez Martínez, 2018).

Área de estudio

El desarrollo del proyecto se realizó en el laboratorio agrovoltaico de la Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli (UPCI), concebido como un espacio experimental para la evaluación de sistemas agrovoltaicos y el aprendizaje interdisciplinario.

El laboratorio integra camas de cultivo establecidas bajo paneles fotovoltaicos y a cielo abierto, permitiendo comparar diferentes condiciones de producción agrícola y analizar

variables relacionadas con el crecimiento de los cultivos, el comportamiento ambiental y la generación de energía. Este entorno funciona como un Laboratorio Vivo (Living Lab), donde estudiantes y docentes participan en actividades de observación, experimentación y análisis de datos obtenidos directamente del sistema.

Diseño metodológico

La metodología se estructuró en cuatro etapas secuenciales como se muestra en la figura 1:

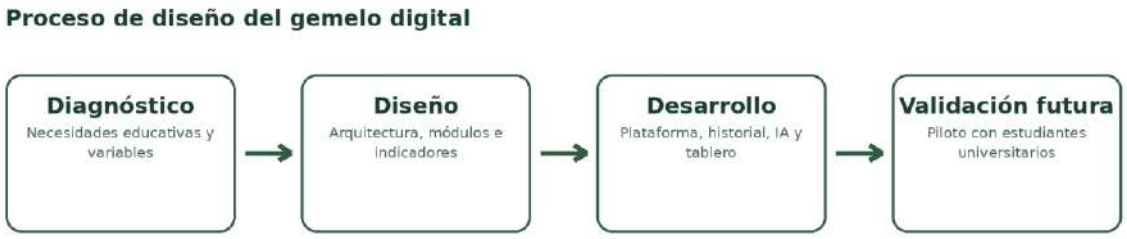


Figura 1. Etapas del diseño metodológico del gemelo digital.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1. Diagnóstico

Se identificaron las necesidades educativas del laboratorio agrovoltaico, los requerimientos de información para el seguimiento de los experimentos y las variables relevantes para apoyar el aprendizaje interdisciplinario.

Etapa 2. Diseño

Se definió la arquitectura funcional del gemelo digital, estableciendo los módulos de captura, almacenamiento, procesamiento y visualización de información. Asimismo, se determinaron los indicadores agrícolas, ambientales y energéticos que serían integrados en la plataforma.

Etapa 3. Desarrollo

Se implementó una plataforma digital orientada a representar virtualmente el laboratorio agrovoltaico, incorporando un tablero interactivo para la consulta de indicadores, un historial de experimentos y un módulo de inteligencia artificial capaz de generar recomendaciones para apoyar el análisis de información y la toma de decisiones.

Etapa 4. Validación futura

Como parte del trabajo futuro se contempla la implementación de un estudio piloto con estudiantes universitarios para evaluar la utilidad del gemelo digital como herramienta de apoyo al aprendizaje interdisciplinario, considerando aspectos relacionados con usabilidad, percepción de utilidad y desarrollo de competencias.

Análisis de la información

El presente trabajo corresponde al diseño y desarrollo de la propuesta tecnológica; por lo tanto, no se realizó una evaluación experimental del impacto educativo del sistema. El

análisis se centró en la integración funcional de los componentes del gemelo digital y en la descripción de su potencial como herramienta de apoyo para el aprendizaje interdisciplinario.

La validación cuantitativa del sistema mediante estudiantes universitarios se plantea como una fase posterior de la investigación.

Resultados y discusión

El laboratorio agrovoltaico como entorno experimental

El laboratorio agrovoltaico de la Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli (UPCI) fue concebido como un Laboratorio Vivo (Living Lab), donde los estudiantes participan en actividades de observación, experimentación y análisis de información obtenida en condiciones reales. El sistema integra camas de cultivo establecidas tanto bajo paneles fotovoltaicos como a cielo abierto, permitiendo comparar el comportamiento de los cultivos en diferentes escenarios de producción.

Este entorno experimental favorece el desarrollo del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), ya que los estudiantes formulan hipótesis, registran información, analizan resultados y proponen estrategias de manejo sustentadas en evidencia. La interacción constante entre agricultura, energía y medio ambiente convierte al laboratorio en un escenario idóneo para el desarrollo de competencias interdisciplinarias.

La información generada por el laboratorio constituye la base para la construcción del gemelo digital, al proporcionar datos relacionados con el crecimiento de los cultivos, las condiciones ambientales y el desempeño energético del sistema.

Arquitectura del gemelo digital

El gemelo digital fue diseñado como una representación virtual del laboratorio agrovoltaico, capaz de integrar, organizar y visualizar información proveniente de los diferentes componentes del sistema experimental.

La arquitectura propuesta está integrada por cinco módulos principales:

Captura de información.

Corresponde al registro de variables agrícolas, ambientales y energéticas obtenidas durante el desarrollo de los experimentos.

Base de datos.

Almacena el historial de experimentos, permitiendo conservar la información generada por los distintos cultivos y facilitar consultas posteriores.

Motor del gemelo digital.

Integra la información registrada para representar virtualmente el comportamiento del laboratorio agrovoltaico, relacionando las diferentes variables del sistema.

Módulo de inteligencia artificial.

Analiza la información disponible y genera recomendaciones para apoyar el manejo de los cultivos, la interpretación de resultados y la toma de decisiones durante las actividades académicas.

Tablero interactivo (Dashboard).

Presenta la información mediante indicadores, gráficos y reportes que permiten a estudiantes y docentes interpretar el comportamiento del sistema en tiempo real o consultar información histórica.

La integración de estos módulos permite convertir los datos obtenidos en el laboratorio en información útil para apoyar procesos de enseñanza, investigación y análisis interdisciplinario se muestra la arquitectura en la Figura 2.

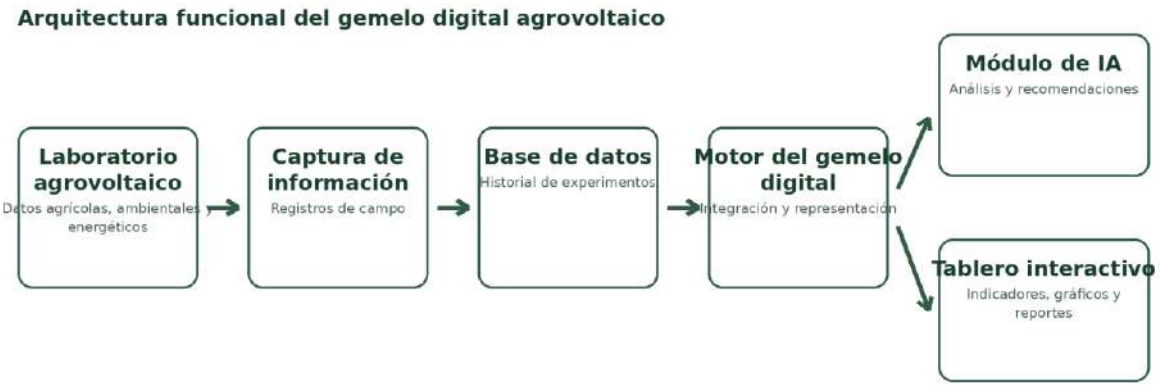


Figura 2. Arquitectura funcional del gemelo digital del laboratorio agrovoltaico.

Fuente: Elaboración propia.

Variables integradas

La plataforma fue diseñada para integrar información correspondiente a diferentes dimensiones del laboratorio agrovoltaico.

Variables agrícolas

Cultivo establecido.
Estado fenológico.
Desarrollo vegetativo.
Producción estimada.
Estado sanitario.

Variables ambientales

Temperatura.
Humedad relativa.
Radiación solar.
Precipitación.
Disponibilidad de agua.

Variables energéticas

Generación de energía fotovoltaica.
Captación de agua de lluvia.
Consumo de agua.
Ahorro estimado de agua.
Reducción estimada de emisiones de CO_2.

La integración de estas variables permite analizar el comportamiento del sistema desde una perspectiva multidisciplinaria, facilitando la comprensión de la interacción entre agricultura, energía y ambiente.

Funcionalidades del sistema

El gemelo digital incorpora diversas herramientas orientadas al seguimiento del laboratorio agrovoltaico y al apoyo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Entre las principales funcionalidades destacan:

Visualización de indicadores mediante un tablero interactivo.
Consulta del historial de experimentos.
Comparación de cultivos establecidos bajo paneles fotovoltaicos y a cielo abierto.
Registro del comportamiento ambiental del sistema.
Seguimiento del estado sanitario de los cultivos.
Estimación de indicadores de sostenibilidad relacionados con producción, agua, energía y emisiones de dióxido de carbono.
Generación de recomendaciones apoyadas por inteligencia artificial para facilitar el análisis de la información y la toma de decisiones.
Estas funcionalidades permiten transformar los registros experimentales en un recurso didáctico para el análisis de sistemas agrovoltaicos el ejemplo del programa se muestra en la figura 3.



Figura 3. Interfaz del módulo Gemelo Digital Agrovoltaico de MAI Pro.

Fuente: Elaboración propia.

Inteligencia artificial como apoyo al aprendizaje

Uno de los componentes innovadores del gemelo digital corresponde a la incorporación de un módulo de inteligencia artificial diseñado para apoyar el análisis de la información generada por el laboratorio.

La inteligencia artificial no sustituye la toma de decisiones del estudiante; por el contrario, funciona como una herramienta de apoyo que analiza las variables registradas y genera recomendaciones fundamentadas en la información disponible.

Las sugerencias consideran aspectos como el comportamiento de los cultivos, las condiciones ambientales, el historial de producción y los indicadores de sostenibilidad, permitiendo que los estudiantes comparen diferentes escenarios y justifiquen sus decisiones mediante evidencia.

De esta manera, el proceso de aprendizaje deja de centrarse únicamente en la observación de datos para incorporar actividades de interpretación, análisis crítico y resolución de problemas.

Aprendizaje interdisciplinario mediante el gemelo digital

La integración del laboratorio agrovoltaico con el gemelo digital favorece un entorno de aprendizaje donde convergen la producción de cultivos, el desempeño energético del sistema fotovoltaico, las condiciones ambientales del sitio y el tratamiento computacional de los datos.

Durante las actividades académicas, los estudiantes participan en el registro de información, la interpretación de indicadores, el análisis comparativo entre escenarios y la formulación de propuestas de mejora sustentadas en evidencia.

Este enfoque fortalece el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), ya que los estudiantes desarrollan competencias relacionadas con el pensamiento crítico, el análisis de información, la solución de problemas y la toma de decisiones.

Asimismo, el gemelo digital permite que los datos generados por el laboratorio trasciendan el registro experimental y se conviertan en un recurso didáctico para apoyar procesos de enseñanza, investigación y vinculación con temas relacionados con la agricultura sostenible y la transformación digital.

Propuestas y conclusiones

Alcances y limitaciones

El presente trabajo corresponde al diseño y desarrollo de un gemelo digital, por lo que no incluye una validación experimental con estudiantes universitarios ni una evaluación cuantitativa de su impacto en el aprendizaje interdisciplinario.

Actualmente, la plataforma opera como un prototipo funcional cuya información es incorporada mediante registros experimentales; por ello, la integración automática de datos provenientes de sensores IoT y dispositivos de monitoreo en tiempo real constituye una etapa posterior del proyecto.

Asimismo, el módulo de inteligencia artificial se encuentra orientado al apoyo en la interpretación de información y generación de recomendaciones, sin incorporar aún modelos predictivos basados en aprendizaje automático ni técnicas avanzadas de analítica de datos.

Finalmente, los indicadores de sostenibilidad incorporados corresponden a estimaciones obtenidas a partir de la información disponible en el laboratorio agrovoltaico, por lo que futuras investigaciones permitirán ampliar el número de variables analizadas y validar su comportamiento mediante estudios de largo plazo.

Trabajo futuro

Como parte de la continuidad del proyecto se plantea desarrollar un estudio piloto con estudiantes universitarios que permita evaluar el impacto del gemelo digital sobre el aprendizaje interdisciplinario, la comprensión de sistemas agrovoltaicos, el desarrollo de competencias para la toma de decisiones y la percepción de utilidad de la plataforma.

Desde el punto de vista tecnológico, se contempla la incorporación de sensores IoT para la captura automática de variables ambientales, agrícolas y energéticas, permitiendo representar el comportamiento del laboratorio en tiempo real y mejorar la precisión del gemelo digital.

Asimismo, se prevé integrar modelos de aprendizaje automático (Machine Learning) que permitan generar predicciones relacionadas con el crecimiento de los cultivos, el consumo de agua, la producción agrícola y la generación de energía, fortaleciendo las capacidades analíticas del sistema.

Otra línea de investigación consistirá en incorporar técnicas de visión artificial para el monitoreo automatizado del estado sanitario de los cultivos y el reconocimiento de plagas y enfermedades mediante procesamiento digital de imágenes.

Finalmente, se plantea ampliar la plataforma mediante el desarrollo de módulos de realidad aumentada y simulación de escenarios, permitiendo que estudiantes y docentes experimenten diferentes estrategias de manejo agrícola sin intervenir directamente sobre el laboratorio físico. Estas mejoras consolidarán al gemelo digital como un entorno inteligente para la enseñanza, la investigación y la vinculación universitaria en temas de sostenibilidad y agricultura digital.

Conclusiones

El presente trabajo permitió diseñar un gemelo digital para un laboratorio agrovoltaico universitario como una propuesta de innovación educativa orientada a fortalecer el aprendizaje interdisciplinario mediante la integración de agricultura, energías renovables, ciencias ambientales, análisis de datos e inteligencia artificial.

La arquitectura desarrollada integra un tablero interactivo, una base de datos para el almacenamiento histórico de experimentos y un módulo de inteligencia artificial capaz de generar recomendaciones para apoyar la interpretación de información y la toma de decisiones. Esta integración facilita la representación virtual del laboratorio agrovoltaico y proporciona un entorno digital que complementa las actividades experimentales realizadas en campo.

La propuesta constituye una herramienta con potencial para transformar los datos generados en el laboratorio en un recurso didáctico que favorezca el Aprendizaje Basado en Proyectos

(ABP), permitiendo que los estudiantes analicen información proveniente de sistemas agrícolas reales y desarrollen competencias relacionadas con el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la toma de decisiones fundamentadas.

Asimismo, el gemelo digital favorece la integración de conocimientos provenientes de diferentes disciplinas, contribuyendo al desarrollo de competencias profesionales orientadas a la sostenibilidad y a la transformación digital de los sistemas agrícolas.

Si bien el presente trabajo se centra en el diseño y desarrollo de la plataforma, los resultados obtenidos constituyen una base metodológica para futuras investigaciones orientadas a evaluar el impacto del gemelo digital en los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante estudios experimentales con estudiantes universitarios.

En conjunto, la propuesta demuestra que los gemelos digitales representan una alternativa tecnológica con alto potencial para fortalecer la formación de profesionales capaces de comprender sistemas agrovoltaicos complejos mediante el uso integrado de tecnologías digitales e inteligencia artificial.

Literatura Citada

- Almazán Lázaro, J. A., Liébana Cruz, J., López Alba, E., y Díaz Garrido, F. A. (2025). Desarrollo de un gemelo digital para docencia en asignaturas de ingeniería mecánica. Anales de Ingeniería Mecánica, 1(24). https://doi.org/10.63450/aim.1.200.2025
- Ávila, M. G. (2024). Parques agrovoltaicos: una alternativa sustentable para mitigar el cambio climático. Avante. Revista de Humanidades y Ciencias Sociales, 4(esp. 1), 32–48. https://doi.org/10.5281/zenodo.13995954
- García Martín, J., y Pérez Martínez, J. E. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: método para el diseño de actividades. Revista Tecnología, Ciencia y Educación, (10), 37–63. https://doi.org/10.51302/tce.2018.194
- Lara Muñoz, E. M., Viveros Torres, I., y Galindo Cobos, J. A. (2026). Aprendizaje Basado en Proyectos con gemelos digitales en la enseñanza de la ingeniería: un estudio cuasi-experimental. RELIEVE, 32(1), artículo 4. https://doi.org/10.30827/relieve.v32i1.36282
- Terrones-Rodríguez, A.-L. (2023). Innovación educativa y ética de las profesiones: la experiencia del Ethos Living Lab como responsabilidad social de la universidad. Revista Iberoamericana de Educación Superior, 14(41), 196–207. https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2023.41.1587
- Yaulilahua-Huacho, R., Sumarriva-Bustinza, L. A., Ramírez-Rosales, F. G., Mariño-Arroyo, J. B., y Quispealaya-Armas, L. (2025). Sistemas de energía fotovoltaica: una revisión sistemática. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 9(27), 31–50. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.393

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Obtención y caracterización de membranas de triacetato de celulosa derivadas de bagazo de agave para tratamiento de agua

Perrusquía Luévano Susana[1], Ballinas Casarrubias María de Lourdes[2], González Sánchez Guillermo[3]

Resumen

El aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para el desarrollo de materiales funcionales constituye una estrategia sostenible para la valorización de residuos agroindustriales. En este contexto, el bagazo de *Agave tequilana* Weber var. *azul* representa una fuente renovable para la obtención de biopolímeros con aplicaciones en el tratamiento de agua. El objetivo de este trabajo fue desarrollar y caracterizar membranas de triacetato de celulosa (CTA) derivadas de bagazo de agave y evaluar el efecto de la incorporación de polietilenglicol (PEG) sobre sus propiedades estructurales y de permeabilidad. El CTA se obtuvo a partir de celulosa pretratada con un solvente eutéctico profundo de cloruro de colina–ácido láctico (ChCl-LA), seguido de una acetilación heterogénea, alcanzando un grado de sustitución de 2.70. Las membranas se prepararon mediante evaporación de solvente incorporando PEG como agente formador de poros. La caracterización mediante FTIR y difracción de rayos X confirmó la obtención del CTA y evidenció una disminución de la cristalinidad asociada a la incorporación de PEG, sin modificar la estructura química del polímero. Las micrografías por microscopía electrónica de barrido mostraron la transición de morfologías densas a estructuras más porosas tras la incorporación de PEG. Asimismo, las membranas de CTA derivadas de bagazo de agave alcanzaron una permeabilidad hidráulica de hasta 8.11 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}, superando el desempeño de las membranas de CTA comercial. Estos resultados demuestran el potencial del bagazo de agave como materia prima para la fabricación de membranas sostenibles con aplicaciones en separación y tratamiento de agua.

Palabras clave: Bagazo de agave, solventes eutécticos profundos, triacetato de celulosa, membranas, tratamiento de agua.

Abstract

The use of lignocellulosic waste for the development of functional materials constitutes a sustainable strategy for the valorization of agroindustrial waste. In this context, *Agave tequilana* Weber var. *azul* bagasse represents a renewable source for obtaining biopolymers with applications in water treatment. The objective of this work was to develop and characterize cellulose triacetate (CTA) membranes derived from agave bagasse and to evaluate the effect of incorporating polyethylene glycol (PEG) on their structural and permeability properties. CTA was obtained from cellulose pretreated with a deep eutectic solvent of choline chloride–lactic acid (ChCl-LA), followed by heterogeneous acetylation,

[1] Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV S.C.), Chihuahua, Chihuahua, México. Correo: susana.perrusquia@cimav.edu.mx. Nacionalidad: Mexicana.
[2] Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México. Correo: mballinas@uach.mx. Nacionalidad: Mexicana.
[3] Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV S.C.), Chihuahua, Chihuahua, México. Correo: guillermo.gonzalez@cimav.edu.mx. Nacionalidad: Mexicana

achieving a degree of substitution of 2.70. The membranes were prepared by solvent evaporation incorporating PEG as a pore-forming agent. Characterization by FTIR and X-ray diffraction confirmed the synthesis of CTA and evidenced a decrease in crystallinity associated with PEG incorporation, without modifying the polymer's chemical structure. Scanning electron microscopy micrographs showed the transition from dense morphologies to more porous structures after PEG incorporation. Likewise, CTA membranes derived from agave bagasse reached a hydraulic permeability of up to 8.11 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}, surpassing the performance of commercial CTA membranes. These results demonstrate the potential of agave bagasse as a raw material for the fabrication of sustainable membranes with applications in separation and water treatment.

Keywords: Agave bagasse, deep eutectic solvents, cellulose triacetate, membranes, water treatment.

Introducción

El acceso a fuentes de agua limpia y segura constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI debido al crecimiento poblacional, la industrialización y los efectos del cambio climático (Arefi-Oskoui et al., 2019; Kobya et al., 2020). En este contexto, las tecnologías de membrana han adquirido un papel fundamental en procesos de separación y purificación, como la desalinización, el tratamiento de aguas residuales y la producción de agua de alta pureza, gracias a su elevada eficiencia, bajo consumo energético y facilidad de operación (Mulder, 1996; Solís-Carvajal et al., 2017).

Entre los materiales empleados para la fabricación de membranas, el acetato de celulosa (CA) destaca por su biodegradabilidad, su capacidad de formación de películas y sus propiedades fisicoquímicas ajustables, lo que ha favorecido su amplio uso en procesos de separación y tratamiento de agua (Vatanpour et al., 2022). El desempeño del material depende en gran medida de su grado de sustitución (DS), que influye directamente en la solubilidad, la estabilidad térmica, la resistencia mecánica y la procesabilidad del polímero (Biswas et al., 2014; Diop et al., 2011). Asimismo, la incorporación de aditivos como el polietilenglicol (PEG) durante la preparación de las membranas permite controlar su morfología y porosidad, lo que favorece el incremento de la permeabilidad mediante mecanismos de separación de fases y lixiviación (Ma et al., 2011; Vatanpour et al., 2022; Zhang et al., 2022). Diversos estudios han demostrado que tanto la concentración como el peso molecular del PEG modifican las propiedades mecánicas y de transporte de las membranas, estableciendo un equilibrio entre la permeabilidad y la integridad estructural (Salahuddin et al., 2018; Shoba et al., 2020).

Paralelamente, el desarrollo de materiales poliméricos a partir de residuos lignocelulósicos ha cobrado relevancia como estrategia para promover la economía circular y disminuir la dependencia de recursos petroquímicos. La celulosa, el biopolímero natural más abundante, ofrece alta disponibilidad, biodegradabilidad y una notable versatilidad química que permite obtener derivados con aplicaciones avanzadas (Keshipour & Maleki, 2019; Zhang et al., 2022). En este contexto, diversos residuos agrícolas y agroindustriales, entre ellos la paja de trigo, la cáscara de arroz, los residuos de olivo y el bagazo de agave, han sido empleados como materias primas para la producción de acetato de celulosa (Biswas et al., 2014; da Silva et al., 2019; Hamed et al., 2015; Villanueva-Solís et al., 2020). En México, el bagazo

de *Agave tequilana* Weber var. *azul* constituye uno de los principales residuos generados por la industria tequilera y representa una fuente renovable de celulosa con alto potencial para la obtención de materiales funcionales (Arreola-Vargas et al., 2016).

Entre las estrategias más prometedoras para el fraccionamiento de biomasa lignocelulósica destacan los solventes eutécticos profundos (DES), debido a su baja toxicidad, facilidad de preparación y elevada eficiencia para remover selectivamente la lignina y la hemicelulosa, preservando la estructura de la celulosa (Satlewal et al., 2018; Wang & Lee, 2021). Particularmente, el sistema cloruro de colina–ácido láctico (ChCl-LA) ha demostrado una elevada eficiencia en la obtención de pulpas ricas en celulosa con alta accesibilidad para posteriores modificaciones químicas (Morán-Aguilar et al., 2022; Soto-Salcido et al., 2020). En este sentido, Perrusquía-Luévano et al., (2025) reportaron la obtención de triacetato de celulosa a partir de bagazo de agave pretratado con ChCl-LA, alcanzando un grado de sustitución comparable al del triacetato de celulosa comercial. Adicionalmente, se ha documentado que la lignina residual presente en celulosas derivadas de biomasa puede influir en las propiedades mecánicas y de transporte de las membranas, actuando como un modulador de la organización polimérica (Lopatina et al., 2020; Manjarrez Nevárez et al., 2011).

No obstante, aunque la obtención de triacetato de celulosa a partir de biomasa lignocelulósica ha sido ampliamente estudiada, la fabricación de membranas funcionales empleando triacetato de celulosa derivado de bagazo de agave y el efecto de la incorporación de PEG sobre sus propiedades estructurales y de transporte aún no han sido evaluados de manera sistemática. Si bien el efecto del PEG en membranas de acetato de celulosa comercial ha sido ampliamente documentado, su influencia en membranas de triacetato de celulosa derivado de biomasa, particularmente aquel que contiene lignina residual, no ha sido explorado. Además, la comparación directa entre membranas elaboradas con triacetato de celulosa derivado de biomasa y con triacetato de celulosa comercial sigue siendo limitada.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y caracterizar membranas de triacetato de celulosa obtenidas a partir de bagazo de *Agave tequilana* Weber var. *azul* pretratado con ChCl-LA e investigar el efecto de la incorporación de PEG sobre sus propiedades estructurales, morfológicas, mecánicas y de permeabilidad, comparándolas con membranas elaboradas a partir de triacetato de celulosa comercial. Los resultados obtenidos contribuyen al aprovechamiento integral del bagazo de agave como materia prima sostenible para la fabricación de membranas con potencial en procesos de separación y tratamiento de agua.

Materiales y Métodos

Materiales

El triacetato de celulosa (CTA) empleado en este estudio se obtuvo a partir de bagazo de *Agave tequilana* Weber var. *azul* pretratado con un solvente eutéctico profundo de cloruro de colina–ácido láctico (ChCl-LA), siguiendo la metodología previamente reportada por Perrusquía-Luévano et al., (2025). Como material de referencia se utilizó triacetato de celulosa comercial (Sigma-Aldrich). Para la preparación de las membranas se emplearon

diclorometano (DCM) y polietilenglicol (PEG 6000, Sigma-Aldrich), ambos de grado analítico.

Preparación de membranas

Las membranas se prepararon mediante el método de evaporación de solvente. Los CTA se disolvieron por separado en diclorometano (DCM) a concentraciones de 0.4% p/v y 1.0% p/v, bajo agitación magnética, hasta obtener soluciones homogéneas. Posteriormente, se incorporó PEG 6000 en las formulaciones correspondientes como agente formador de poros y las soluciones se mantuvieron bajo agitación hasta su completa disolución.

Una vez disuelto, se filtró para eliminar impurezas; el filtrado se vertió en un molde de vidrio y se dejó evaporar a 35 ± 2 °C en una cámara de incubación (ShellLab). Las membranas formadas se desprendieron mediante inmersión en agua destilada. Las membranas obtenidas se designaron como CTA-LA-M y CTA-Com-M, según el origen del polímero.

Caracterización de las membranas

La estructura química de las membranas se analizó mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) en un equipo IRAffinity-1S (Shimadzu, Japón), en el rango de 400 a 4000 cm^{-1}. La organización cristalina se evaluó mediante difracción de rayos X (XRD) en un difractómetro PANalytical X'Pert PRO, utilizando radiación Cu Kα (λ = 1.5406 Å) en un rango de 2θ de 5 a 45°. La morfología de la sección transversal y la superficie de las membranas se observó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FE-SEM) en equipos Hitachi SU3500 y JEOL JSM7401F, respectivamente. Las muestras se fracturaron criogénicamente en nitrógeno líquido y se recubrieron con oro para su visualización.

Propiedades mecánicas y análisis dinámico-mecánico

Las propiedades mecánicas de las membranas se evaluaron mediante análisis dinámico-mecánico (DMA) en un equipo RSA3 (TA Instruments). Los ensayos se realizaron en modo de deformación por cizalladura a temperatura ambiente (25 °C), con una velocidad de deformación de 0.033 mm s^{-1}. A partir de las curvas de esfuerzo-deformación, se determinaron el módulo de Young, la resistencia a la tracción y la deformación a la ruptura.

La temperatura de transición vítrea (Tg) se obtuvo a partir del máximo del módulo de pérdida (E") en función de la temperatura, utilizando las mismas condiciones experimentales.

Evaluación de la permeabilidad hidráulica

La permeabilidad hidráulica de las membranas se evaluó en una celda de filtración de flujo cruzado (GE SEPA Osmonic) con un área efectiva de 0.007 m^2. Las membranas se acondicionaron con agua destilada antes de las pruebas. La permeabilidad se determinó midiendo el volumen de permeado en función del tiempo a una presión de 1.38 bar, calculando el flujo de agua como volumen de permeado por unidad de área, presión y tiempo (L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}).

Resultados y Discusión

Morfología por SEM

Las micrografías SEM de las membranas preparadas mediante evaporación-precipitación se presentan en la Figura 1. Las membranas de CTA-LA y CTA-Com sin PEG mostraron una morfología densa y homogénea, sin poros visibles, característica de membranas formadas por la evaporación lenta del disolvente (Vatanpour et al., 2022). Sin embargo, se observaron diferencias en el espesor: las membranas de CTA-LA fueron significativamente más gruesas que las de CTA-Com, lo que sugiere diferencias en la organización del polímero durante su formación.

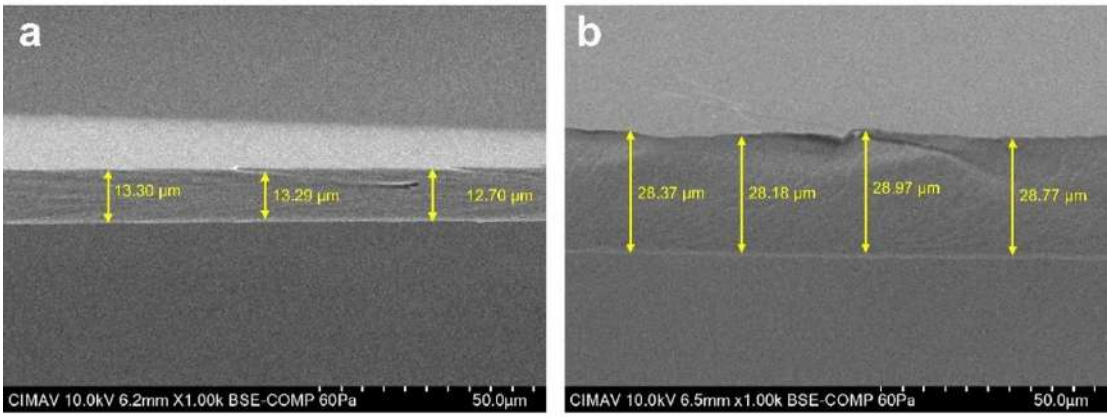


Figura 1. Micrografías transversales obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, 1000X) de membranas de evaporación-precipitación al 0.4 % (p/v): (a) CTA-Com-M; (b) CTA-LA-M

La incorporación de PEG indujo una transición morfológica notable. Las membranas con 5% de PEG mostraron la aparición de estructuras porosas, con una distribución heterogénea de poros tanto en la superficie como en la sección transversal (Figura 2). Esta transición de morfologías densas a porosas se atribuye al efecto del PEG como agente formador de poros, que, durante la evaporación del solvente, genera regiones ricas en PEG que, posteriormente, son lixiviadas al contacto con el agua, dejando vacíos en la matriz polimérica (Bai et al., 2012; Chou et al., 2007). La formación de poros es particularmente evidente en las membranas de CTA-LA con 5% de PEG, lo que sugiere que la lignina residual pudo haber favorecido la formación de una estructura más abierta.

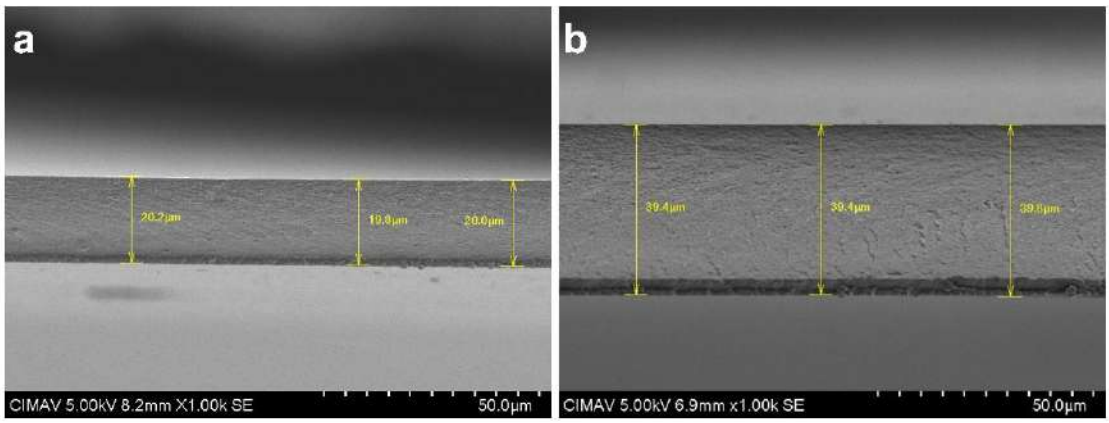


Figura 2. Micrografías de sección transversal obtenidas mediante FE-SEM (1000X) de membranas de CTA-LA al 1.0 % (p/v): (a) sin PEG y (b) con un 5 % de PEG 6000.

Caracterización estructural por FTIR

Los espectros FTIR de las membranas de CTA-LA y CTA-Com se muestran en la Figura 3. En todos los casos se observaron las bandas características del triacetato de celulosa, incluyendo la vibración de estiramiento del grupo carbonilo (C=O) alrededor de 1750 cm^{-1} y las vibraciones de los grupos C–O–C en la región de 1200–1050 cm^{-1}, lo que confirma la presencia del grupo acetato en la estructura del polímero. No se detectaron bandas adicionales atribuibles al PEG en las membranas que lo incorporaron, lo que sugiere que este actuó como un agente formador de poros que fue eliminado durante la formación de la membrana, sin modificar químicamente la estructura del CTA. Este comportamiento es consistente con lo reportado por otros autores en sistemas de acetato de celulosa con aditivos poliméricos (Alves Cerqueira et al., 2008; Lv et al., 2007).

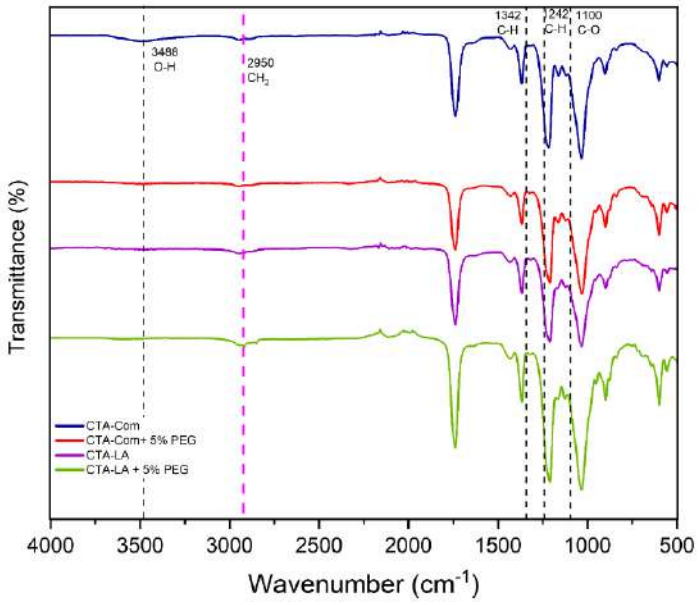


Figura 3. Espectros FTIR de membranas de CTA-LA sin PEG y con un 5 % de PEG 6000, en comparación con el producto comercial CTA-Com.

La similitud de los espectros entre las membranas de CTA-LA y CTA-Com indica que el proceso de obtención del CTA a partir del bagazo de agave mediante DES no introdujo modificaciones químicas indeseadas en la estructura del polímero. Este resultado es relevante porque confirma que el material derivado de biomasa es químicamente análogo al comercial, lo que justifica su uso como sustituto sostenible.

Análisis de Difracción de Rayos X (DRX)

Los patrones de difracción de rayos X (Figura 4) mostraron diferencias significativas en la organización cristalina entre las membranas de CTA-LA y CTA-Com. Las membranas de CTA-Com presentaron picos característicos alrededor de 2θ = 7°, 10.4° y 17.4°, asociados a regiones semicristalinas típicas del triacetato de celulosa (Chen et al., 2016). En contraste, las membranas de CTA-LA mostraron un patrón de difracción desplazado, con picos principales en 2θ = 9.5° y 16.2°, lo que sugiere una organización polimérica distinta, posiblemente influida por la lignina residual (aproximadamente 9%) presente en la celulosa derivada del bagazo (Perrusquía-Luévano et al., 2025).

La incorporación de PEG indujo cambios notables en los patrones de difracción de ambos tipos de membranas. En el caso de CTA-Com-M, se observó una disminución en la intensidad de los picos cristalinos, mientras que en CTA-LA-M los picos se desplazaron ligeramente hacia ángulos 2θ mayores y mostraron una reducción en su intensidad. Estos cambios indican una disminución del empaquetamiento de las cadenas poliméricas y un incremento de la fracción amorfa del polímero, lo cual es consistente con el papel del PEG como disruptor de la organización cristalina (Maheswari et al., 2013; Shoba et al., 2020). La reducción de la cristalinidad es un factor clave que favorece el aumento de la permeabilidad, ya que las regiones amorfas facilitan la difusión del agua a través de la matriz polimérica.

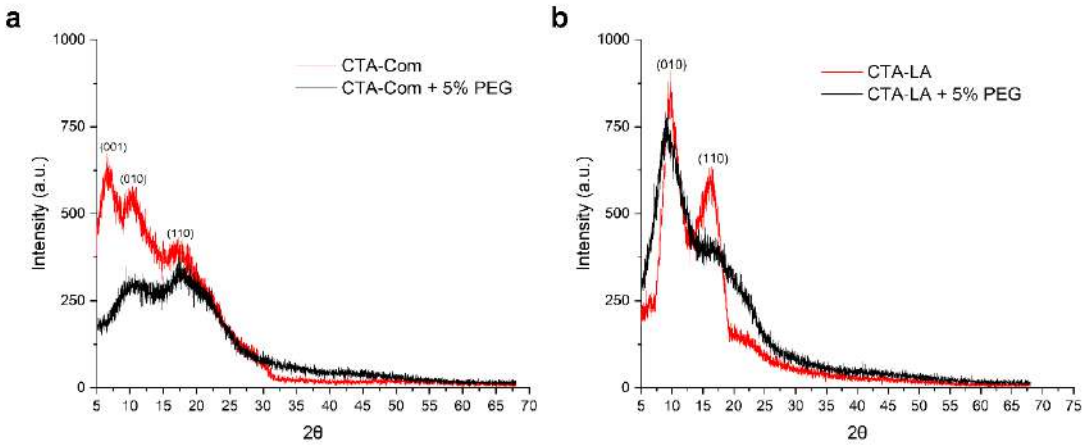


Figura 4. Patrones de difracción de rayos X (DRX) de membranas obtenidas por evaporación-precipitación al 1.0 % (p/v), con y sin 5.0 % de PEG 6000: (a) CTA-Com; (b) CTA-LA.

Propiedades mecánicas y permeabilidad

El comportamiento mecánico y de transporte de las membranas se evaluó mediante análisis dinámico-mecánico (DMA) y pruebas de permeabilidad hidráulica. El cuadro 1 resume los valores del módulo de Young, la temperatura de transición vítrea (Tg) y el flujo de agua para las membranas de CTA-LA y CTA-Com, con y sin la incorporación de PEG al 5% (p/p).

Cuadro 1. Propiedades y permeabilidad de las membranas de triacetato de celulosa al 1.0% m/v.

Membrana	PEG (%p/p)	Módulo de Young (MPa)	Tg (°C)	Presión (bar)	Flujo (L m^{-2} h^{-1} bar^{-1})
CTA-Com (0.4%)	0	988 ± 74.7	183.19	27.58	0.26
CTA-LA (0.4%)	0	1250 ± 45.2	170.01	27.58	8.11
CTA-Com (1.0%)	0	1000 ± 1.7	184.78	27.58	0.0005
CTA-Com (1.0%)	5	750 ± 212	187.35	27.58	No detectable
CTA-LA (1.0%)	0	2500 ± 770	173.88	27.58	No detectable
CTA-LA (1.0%)	5	867 ± 231	179.81	1.38	3.38

Los resultados de DMA mostraron diferencias significativas en el comportamiento mecánico de las membranas en función del origen del polímero y la incorporación de PEG. Las membranas de CTA-LA sin PEG presentaron un módulo de Young de 2500 ± 770 MPa, significativamente mayor que el de las membranas de CTA-Com (1000 ± 1.7 MPa). Este incremento en la rigidez se atribuye a la presencia de lignina residual (aproximadamente 9%) en el CTA derivado de bagazo, la cual puede actuar como un refuerzo dentro de la matriz polimérica, restringiendo la movilidad de las cadenas y aumentando la rigidez del material (Lopatina et al., 2020; Manjarrez Nevárez et al., 2011).

La incorporación de PEG al 5% produjo una disminución del módulo de Young en ambos tipos de membranas. En el caso de CTA-LA, el módulo disminuyó de 2500 ± 770 a 867 ± 231 MPa, mientras que en CTA-Com se redujo de 1000 ± 1.7 a 750 ± 212 MPa. Esta reducción es consistente con la formación de una estructura porosa, que reduce el área efectiva de soporte de carga y debilita mecánicamente la membrana (Meier et al., 2004; Shoba et al., 2020). La mayor disminución relativa observada en CTA-LA sugiere que la presencia de lignina residual pudo haber facilitado la generación de una morfología más abierta, coincidiendo con las observaciones morfológicas por SEM.

En cuanto al comportamiento térmico, la temperatura de transición vítrea (Tg) determinada a partir del módulo de pérdida (E") mostró valores ligeramente menores para las membranas de CTA-LA en comparación con las de CTA-Com. Las membranas de CTA-LA sin PEG presentaron una Tg de 173.88 °C, mientras que las de CTA-Com alcanzaron 184.78 °C. Esta reducción sugiere una mayor movilidad segmental en el material derivado de biomasa, posiblemente asociada a la presencia de lignina residual y a diferencias en el empaquetamiento de las cadenas poliméricas (Manjarrez Nevárez et al., 2011). La incorporación de PEG 5% indujo un ligero incremento en la Tg de las membranas de CTA-LA (de 173.88 a 179.81 °C) y de CTA-Com (de 184.78 a 187.35 °C). Este comportamiento podría reflejar restricciones a la movilidad segmental impuestas por la heterogeneidad estructural generada durante la formación de la membrana, así como posibles interacciones transitorias entre el PEG y la matriz polimérica que limitan la movilidad de las cadenas (Guo, 1993; Seymour et al., 1979).

En cuanto a la permeabilidad hidráulica, se observó un comportamiento dependiente de la concentración de polímero y de la adición de PEG. A baja concentración de polímero (0.4% p/v), la membrana de CTA-LA sin PEG presentó un flujo de 8.11 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}, un valor significativamente superior al de la membrana de CTA-Com (0.26 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}). Esta diferencia sugiere que la estructura del CTA-LA, influida por la lignina residual y una organización polimérica distinta, favorece un mayor transporte de agua a través de la

membrana. Este comportamiento es consistente con las diferencias en la organización cristalina observadas por DRX, en las que el CTA-LA mostró un patrón de difracción distinto al del CTA-Com, lo que sugiere un empaquetamiento menos compacto de las cadenas poliméricas (Maheswari et al., 2013; Shoba et al., 2020).

Al aumentar la concentración de polímero al 1.0 % (p/v), las membranas de CTA-LA sin PEG se volvieron extremadamente densas y no presentaron flujo detectable, incluso a 27.58 bar. Este comportamiento fue consistente con el elevado módulo de Young obtenido para esta formulación, lo que indica una estructura rígida y compacta que restringe el transporte de agua. En contraste, la incorporación de 5 % de PEG restauró la permeabilidad, alcanzando un flujo de 3.38 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1} a 1.38 bar. Este comportamiento concuerda con la formación de poros observada por SEM y con la disminución de la cristalinidad evidenciada por XRD, ambos factores asociados con una mayor facilidad para el transporte de agua a través de la membrana.

En contraste, las membranas de CTA-Com con 5 % de PEG no presentaron flujo detectable, lo que sugiere que, bajo las condiciones de preparación evaluadas, el PEG no promovió la formación de una red de poros interconectados. Este comportamiento podría atribuirse a un efecto de antiplastificación que restringió la movilidad de las cadenas poliméricas y limitó el transporte de agua (Salahuddin et al., 2018). Asimismo, aunque la incorporación de PEG permitió recuperar la permeabilidad de las membranas de CTA-LA, el flujo obtenido fue inferior al de las membranas preparadas al 0.4 % (p/v) sin PEG (3.38 vs. 8.11 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}). Este resultado refleja la transición de un mecanismo de transporte gobernado por solución-difusión en membranas densas hacia uno dominado por flujo convectivo a través de poros (Mulder, 1996). La menor permeabilidad observada sugiere que, aunque el PEG indujo la formación de poros, estos no desarrollaron una red completamente interconectada capaz de superar el transporte de agua de la membrana densa.

Conclusiones

En el presente trabajo se demostró la viabilidad de obtener membranas de triacetato de celulosa (CTA) a partir de bagazo de *Agave tequilana* Weber var. *azul*, empleando un pretratamiento con solvente eutéctico profundo de cloruro de colina–ácido láctico (ChCl-LA) y acetilación heterogénea, alcanzando un grado de sustitución de 2.70, comparable al de materiales comerciales. Las membranas fueron preparadas exitosamente mediante evaporación de solvente, lo que confirmó la procesabilidad del CTA derivado de biomasa.

La caracterización estructural reveló que el CTA obtenido a partir de bagazo de agave es químicamente análogo al comercial, pero presenta una organización cristalina distinta, influenciada por la lignina residual (~9%) presente en la celulosa precursora. La incorporación de polietilenglicol (PEG) como agente formador de poros permitió modificar la morfología de las membranas, induciendo la transición de estructuras densas a porosas, sin alterar la estructura química del polímero.

Las membranas de CTA derivado de bagazo (CTA-LA) presentaron propiedades mecánicas superiores a las del CTA comercial, atribuidas al efecto de la lignina residual como refuerzo de la matriz polimérica. Sin embargo, la incorporación de PEG redujo la rigidez y la

resistencia mecánica, reflejando el aumento de porosidad. En cuanto al comportamiento térmico, las membranas de CTA-LA mostraron temperaturas de transición vítrea ligeramente menores, lo que sugiere una mayor movilidad segmental asociada a diferencias en el empaquetamiento de las cadenas.

En términos de permeabilidad hidráulica, se demostró que la concentración de polímero y la adición de PEG son factores clave. A baja concentración (0.4% p/v), las membranas de CTA-LA sin PEG alcanzaron valores de permeabilidad superiores (8.11 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}) a los de las membranas de CTA comercial (0.26 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}), indicando que la estructura del material derivado de biomasa favorece el transporte de agua. A mayor concentración de polímero (1.0% p/v), la membrana se densifica y no presenta flujo, pero la adición de 5% de PEG permite recuperar la permeabilidad (3.38 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1}) a presiones mucho más bajas (1.38 bar), lo que es consistente con la formación de una estructura porosa.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el bagazo de agave es una materia prima renovable y sostenible para la fabricación de membranas de triacetato de celulosa con potencial para aplicaciones en procesos de separación y tratamiento de agua. Este trabajo contribuye al aprovechamiento integral de residuos agroindustriales y al desarrollo de materiales funcionales dentro del marco de la economía circular y la química verde.

Referencias

- Alves Cerqueira, D., Rodrigues Filho, G., Nascimento de Assuncão, R. M., da Silva Meireles, C., Cardoso Toledo, L., Zeni, M., Mello, K., & Duarte, J. (2008). Characterization of cellulose triacetate membranes, produced from sugarcane bagasse, using PEG 600 as additive. *Polymer Bulletin*, *60*(2), 397–404. https://doi.org/10.1007/s00289-007-0856-8
- Arefi-Oskoui, S., Khataee, A., Safarpour, M., Orooji, Y., & Vatanpour, V. (2019). A review on the applications of ultrasonic technology in membrane bioreactors. *Ultrasonics Sonochemistry*, *58*, 104633. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104633
- Arreola-Vargas, J., Flores-Larios, A., González-Álvarez, V., Corona-González, R. I., & Méndez-Acosta, H. O. (2016). Single and two-stage anaerobic digestion for hydrogen and methane production from acid and enzymatic hydrolysates of *Agave tequilana* bagasse. *International Journal of Hydrogen Energy*, *41*(2), 897–904. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.016
- Bai, H., Zhou, Y., Wang, X., & Zhang, L. (2012). The Permeability and Mechanical Properties of Cellulose Acetate Membranes Blended with Polyethylene glycol 600 for Treatment of Municipal Sewage. *Procedia Environmental Sciences, The Seventh International Conference on Waste Management and Technology (ICWMT 7)*, *16*, 346–351. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.049
- Biswas, A., Kim, S., Selling, G. W., & Cheng, H. N. (2014). Conversion of agricultural residues to carboxymethylcellulose and carboxymethylcellulose acetate. *Industrial Crops and Products*, *60*, 259–265. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.004
- Chen, J., Xu, J., Wang, K., Cao, X., & Sun, R. (2016). Cellulose acetate fibers prepared from different raw materials with rapid synthesis method. *Carbohydrate Polymers*, *137*, 685–692. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.034

- Chou, W.-L., Yu, D.-G., Yang, M.-C., & Jou, C.-H. (2007). Effect of molecular weight and concentration of PEG additives on morphology and permeation performance of cellulose acetate hollow fibers. *Separation and Purification Technology*, *57*(2), 209–219. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.04.005
- da Silva, J. M., Oliveira, L., da Silva, F., Tabosa, J. N., Pacheco, J. G., & da Silva, M. J. (2019). *Use of sweet sorghum bagasse (Sorghum bicolor (L.) Moench) for cellulose acetate synthesis*. *14*(2), 3534–3553. https://doi.org/10.15376/biores.14.2.3534-3553
- Diop, C. I. K., Li, H. L., Xie, B. J., & Shi, J. (2011). Effects of acetic acid/acetic anhydride ratios on the properties of corn starch acetates. *Food Chemistry*, *126*(4), 1662–1669. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.050
- Guo, J.-H. (1993). Effects of Plasticizers on Water Permeation and Mechanical Properties of Cellulose Acetate: Antiplasticization in Slightly Plasticized Polymer Film. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, *19*(13), 1541–1555. https://doi.org/10.3109/03639049309069325
- Hamed, O. A., Jodeh, S., Al-Hajj, N., Hamed, E. M., Abo-Obeid, A., & Fouad, Y. (2015). Cellulose acetate from biomass waste of olive industry. *Journal of Wood Science*, *61*(1), Article 1. https://doi.org/10.1007/s10086-014-1442-y
- Keshipour, S., & Maleki, A. (2019). Modification of Cellulose. In Md. I. H. Mondal (Ed.), *Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels* (pp. 435–486). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77830-3_17
- Kobya, M., Soltani, R. D. C., Omwene, P. I., & Khataee, A. (2020). A review on decontamination of arsenic-contained water by electrocoagulation: Reactor configurations and operating cost along with removal mechanisms. *Environmental Technology & Innovation*, *17*, 100519. https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100519
- Lopatina, A., Anugwom, I., Esmaeili, M., Puro, L., Virtanen, T., Mänttäri, M., & Kallioinen, M. (2020). Preparation of cellulose-rich membranes from wood: Effect of wood pretreatment process on membrane performance. *Cellulose*, *27*(16), 9505–9523.
- Lv, C., Su, Y., Wang, Y., Ma, X., Sun, Q., & Jiang, Z. (2007). Enhanced permeation performance of cellulose acetate ultrafiltration membrane by incorporation of Pluronic F127. *Journal of Membrane Science*, *294*(1), 68–74. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.02.011
- Ma, Y., Shi, F., Ma, J., Wu, M., Zhang, J., & Gao, C. (2011). Effect of PEG additive on the morphology and performance of polysulfone ultrafiltration membranes. *Desalination*, *272*(1), 51–58. https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.054
- Maheswari, P., Barghava, P., & Mohan, D. (2013). Preparation, morphology, hydrophilicity and performance of poly (ether-ether- sulfone) incorporated cellulose acetate ultrafiltration membranes. *Journal of Polymer Research*, *20*(2), 74. https://doi.org/10.1007/s10965-013-0074-z
- Manjarrez Nevárez, L., Ballinas Casarrubias, L., Canto, O. S., Celzard, A., Fierro, V., Ibarra Gómez, R., & González Sánchez, G. (2011). Biopolymers-based nanocomposites: Membranes from propionated lignin and cellulose for water purification. *Carbohydrate Polymers*, *86*(2), 732–741. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.014
- Meier, M. M., Kanis, L. A., Lima, J. C. de, Pires, A. T. N., & Soldi, V. (2004). Poly(caprolactone triol) as plasticizer agent for cellulose acetate films: Influence of the

preparation procedure and plasticizer content on the physico-chemical properties. *Polymers for Advanced Technologies*, *15*(10), 593–600. https://doi.org/10.1002/pat.517

- Morán-Aguilar, M. G., Calderón-Santoyo, M., de Souza Oliveira, R. P., Aguilar-Uscanga, M. G., & Domínguez, J. M. (2022). Deconstructing sugarcane bagasse lignocellulose by acid-based deep eutectic solvents to enhance enzymatic digestibility. *Carbohydrate Polymers*, *298*, 120097. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120097
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membrane Technology*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1766-8
- Perrusquía-Luévano, S., González-Sánchez, G., Díaz-Nava, L. E., Ortiz-Basurto, R. I., & Ballinas-Casarrubias, M. de L. (2025). Green pretreatment routes using deep eutectic solvents for biopolymer fractionation and cellulose acetate production from agave bagasse. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *19*(4), 1143–1164. https://doi.org/10.1002/bbb.2787
- Salahuddin, Z., Farrukh, S., & Hussain, A. (2018). Optimization study of polyethylene glycol and solvent system for gas permeation membranes. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, *23*(5), 483–492.
- Satlewal, A., Agrawal, R., Bhagia, S., Sangoro, J., & Ragauskas, A. J. (2018). Natural deep eutectic solvents for lignocellulosic biomass pretreatment: Recent developments, challenges and novel opportunities. *Biotechnology Advances*, *36*(8), 2032–2050. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.08.009
- Seymour, R. W., Weinhold, S., & Haynes, S. K. (1979). Mechanical and dielectric relaxation in cellulose esters. *Journal of Macromolecular Science, Part B*, *16*(3), 337–353. https://doi.org/10.1080/00222347908212300
- Shoba, B., Jeyanthi, J., & Vairam, S. (2020). Synthesis, characterization of cellulose acetate membrane and application for the treatment of oily wastewater. *Environmental Technology*, *41*(12), 1590–1605. https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1543353
- Solís-Carvajal, C. A., Pasos, C. A. V., & Ramírez-Navas, J. S. (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, *11*(22), Article 22. https://doi.org/10.31908/19098367.3546
- Soto-Salcido, L. A., Anugwom, I., Ballinas-Casarrubias, L., Mänttäri, M., & Kallioinen, M. (2020). NADES-based fractionation of biomass to produce raw material for the preparation of cellulose acetates. *Cellulose*, *27*(12), 6831–6848. https://doi.org/10.1007/s10570-020-03251-1
- Vatanpour, V., Pasaoglu, M. E., Barzegar, H., Teber, O. O., Kaya, R., Bastug, M., Khataee, A., & Koyuncu, I. (2022). Cellulose acetate in fabrication of polymeric membranes: A review. *Chemosphere*, *295*, 133914. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133914
- Villanueva-Solís, L. A., Ruíz-Cuilty, K., Camacho-Dávila, A., Espinoza-Hicks, J. C., González-Sánchez, G., & Ballinas-Casarrubias, L. (2020). Lignocellulosic waste pretreatment and esterification using green solvents. *Separation and Purification Technology*, *250*, 117102. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117102
- Wang, W., & Lee, D.-J. (2021). Lignocellulosic biomass pretreatment by deep eutectic solvents on lignin extraction and saccharification enhancement: A review. *Bioresource Technology*, *339*, 125587. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125587
- Zhang, Y., Zhou, S., Li, Z., Zhang, H., Zhang, M., Wang, J., Chen, L., & Zhang, H. (2022). Effect of pore-forming/hydrophilic additive anchorage on the mesoporous structure and

sieving performance of a blended ultrafiltration (UF) membrane. *Journal of Membrane Science*, *641*, 119904. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119904

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Eficiencia de un humedal artificial de flujo vertical para mejorar la calidad del agua en un sistema acuapónico con tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa L.*)

María Guadalupe Morales Salinas[1], Nicolás Francisco Mateo Díaz[2], Rubén Purroy Vásquez[3]*, Alejandro Llaguno Igañaga[1]

Resumen

Los sistemas acuapónicos convencionales presentan limitaciones asociadas con la acumulación de compuestos nitrogenados y el elevado consumo de agua, lo que reduce su eficiencia y sostenibilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical (HC-FSSV) integrado a un sistema acuapónico de recirculación para mejorar la calidad del agua y favorecer su reutilización en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.). El sistema experimental estuvo conformado por un estanque para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), un HC-FSSV con tezontle, PET reciclado, roca de río y *Canna indica* como materiales filtrantes y macrófita, y un sistema hidropónico tipo NFT. Se evaluaron pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, amonio, nitritos y nitratos. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, así como análisis de varianza (ANOVA, $\alpha = 0.05$). Los resultados mostraron que el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto permanecieron estables durante el proceso de recirculación ($p > 0.05$), mientras que la conductividad eléctrica presentó diferencias significativas ($F = 9.842$; $p = 0.001$). Asimismo, se observaron diferencias significativas para nitritos ($F = 8.005$; $p = 0.001$) y nitratos ($F = 6.914$; $p = 0.003$), evidenciando la transformación biológica del nitrógeno dentro del humedal construido, mientras que el amonio no presentó diferencias significativas ($F = 0.211$; $p = 0.811$). Se concluye que la integración de HC-FSSV incrementa la sostenibilidad de los sistemas acuapónicos mediante la mejora, reutilización del recurso hídrico y la reducción potencial de efluentes acuícolas.

Palabras clave: biofiltración, economía circular, nitrificación, recirculación de agua, sostenibilidad.

Abstract

Conventional aquaponic systems are often limited by the accumulation of nitrogen compounds and high water consumption, reducing their environmental sustainability. The objective of this study was to evaluate the performance of a vertical subsurface flow constructed wetland (VSSF-CW) integrated into a recirculating aquaponic system to improve water quality and promote its reuse for hydroponic lettuce (*Lactuca sativa L.*) production. The experimental system consisted of a Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture tank, a

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Zongolica, Veracruz, México. 216w0449@zongolica.tecnm.mx, llaguno_agronomo@zongolica.tecnm.mx, jasiel_iias@zongolica.tecnm.mx, jorge_armida@zongolica.tecnm.mx

[2] Universidad del Caribe, Cancún, Quintana Roo, México. nmateo@ucaribe.edu.mx, pacomatthew06@gmail.com

[3]*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Zongolica, Maestria en Desarrollo Regional y Tecnologico. Veracruz, México. ruben_purroy69@zongolica.tecnm.mx (*Autor de correspondencia*)

VSSF-CW filled with red volcanic rock (tezontle), recycled polyethylene terephthalate (PET), river stone and *Canna indica*, and a nutrient film technique (NFT) hydroponic unit. Water quality variables (pH, temperature, dissolved oxygen, electrical conductivity, ammonium, nitrite and nitrate) were monitored. Data were analyzed using descriptive statistics, Shapiro–Wilk and Levene tests, followed by one-way ANOVA ($\alpha = 0.05$).
The results showed stable pH, temperature and dissolved oxygen throughout the recirculation process ($p > 0.05$), whereas electrical conductivity differed significantly ($F = 9.842$; $p = 0.001$). Significant differences were also observed for nitrite ($F = 8.005$; $p = 0.001$) and nitrate ($F = 6.914$; $p = 0.003$), indicating active biological nitrogen transformation within the constructed wetland, while ammonium remained unchanged ($F = 0.211$; $p = 0.811$). It is concluded that integrating a VSSF-CW enhances the sustainability of aquaponic systems by improving water quality, facilitating water reuse, and potentially reducing aquaculture effluents.

Keywords: biofiltration, circular economy, nitrification, water recirculation, sustainability.

Introducción

El incremento de la demanda mundial de alimentos, la disminución de la disponibilidad de agua dulce y la necesidad de reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción han impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de optimizar el uso de los recursos naturales sin comprometer la productividad. En este contexto, la acuaponía ha emergido como una alternativa sostenible que integra el cultivo de organismos acuáticos con la producción hidropónica de plantas mediante un sistema de recirculación de agua, donde los residuos metabólicos generados por los peces son transformados en nutrientes aprovechables por los cultivos vegetales (Estim et al., 2019; Nair et al., 2025). Este enfoque permite disminuir el consumo de agua, reducir la descarga de efluentes y favorecer el reciclaje interno de nutrientes, contribuyendo a los principios de la economía circular y al desarrollo de sistemas agroalimentarios más resilientes (Lopchan Lama et al., 2025).

A pesar de sus ventajas, el funcionamiento de los sistemas acuapónicos depende en gran medida de la estabilidad de la calidad del agua. La acumulación de amonio y otros compuestos nitrogenados derivados del metabolismo de los peces y de la descomposición de la materia orgánica puede afectar el crecimiento de los organismos acuáticos, limitar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y reducir la eficiencia de los procesos microbiológicos responsables de la nitrificación (Tang et al., 2020; Chandramenon et al., 2024). En consecuencia, mantener condiciones adecuadas de pH, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes representa uno de los principales desafíos para garantizar el equilibrio biológico y la productividad de los sistemas acuapónicos (Nair et al., 2025).

Los biofiltros convencionales constituyen el método más utilizado para el tratamiento del agua en acuaponía; sin embargo, su eficiencia puede verse limitada por los costos de instalación y mantenimiento, así como por la necesidad de un manejo técnico especializado. En los últimos años, los humedales construidos han despertado un creciente interés como una alternativa de tratamiento biológico debido a su capacidad para combinar procesos físicos, químicos y microbiológicos que favorecen la remoción y transformación de contaminantes

presentes en el agua (Wu et al., 2023). En estos sistemas, la interacción entre el material filtrante, las macrófitas y las comunidades microbianas establecidas en el biofilm promueve la degradación de la materia orgánica, la transformación del nitrógeno y el reciclaje de nutrientes, mejorando la calidad del agua con un bajo requerimiento energético y de mantenimiento (Tang et al., 2020; Liu et al., 2026).

La eficiencia de los humedales construidos depende de diversos factores, entre ellos el tipo de flujo hidráulico, el tiempo de retención, las características del sustrato y la selección de especies vegetales. Los humedales de flujo subsuperficial vertical han mostrado ventajas importantes debido a que favorecen una mayor oxigenación del lecho filtrante, incrementando la actividad de bacterias nitrificantes responsables de la transformación del amonio y mejorando la estabilidad de los procesos biogeoquímicos (Wu et al., 2023). Asimismo, materiales filtrantes con alta porosidad, como el tezontle, proporcionan una amplia superficie específica para el establecimiento del biofilm, mientras que el empleo de PET reciclado representa una alternativa innovadora para incrementar la capacidad de colonización microbiana y promover el aprovechamiento de residuos plásticos dentro de esquemas de economía circular. De forma complementaria, especies vegetales como Canna indica contribuyen al funcionamiento del sistema mediante la oxigenación de la rizosfera, la absorción parcial de nutrientes y la generación de condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos asociados (Jiang et al., 2024; Kuang et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado la eficacia de los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales municipales, industriales y acuícolas (Wu et al., 2023; Hu et al., 2024). No obstante, la mayor parte de estas investigaciones se ha desarrollado de manera independiente a los sistemas acuapónicos o utilizando configuraciones de biofiltración convencionales. En consecuencia, aún existe información limitada sobre el desempeño de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical integrados a sistemas acuapónicos de recirculación, particularmente bajo condiciones tropicales y utilizando materiales filtrantes de bajo costo y amplia disponibilidad, como tezontle, PET reciclado y roca de río. Además, son escasos los estudios que analizan simultáneamente la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua y la transformación de los compuestos nitrogenados dentro de este tipo de sistemas, aspectos fundamentales para mejorar su eficiencia y sostenibilidad (Lopchan Lama et al., 2025; Liu et al., 2026).

La evaluación de tecnologías que permitan incrementar la reutilización del agua y el reciclaje interno de nutrientes representa una prioridad para fortalecer la sostenibilidad de la acuicultura y de los sistemas de producción integrados. La incorporación de humedales construidos puede constituir una estrategia viable para reducir la dependencia de biofiltros convencionales, disminuir la generación de efluentes y favorecer un aprovechamiento más eficiente del agua y de los nutrientes disponibles, particularmente en pequeñas y medianas unidades de producción donde los costos de inversión limitan la adopción de tecnologías de tratamiento más complejas.

Con base en estos antecedentes, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical integrado a un sistema acuapónico de recirculación para determinar su efecto sobre la calidad fisicoquímica del agua, la

transformación de los compuestos nitrogenados y el potencial de reutilización del agua en la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el centro de la cabecera municipal de Cuichapa, Veracruz, México, ubicado en las coordenadas 18°46′19.5″ N y 96°51′47.6″ O, a una altitud aproximada de 520 m s.n.m. De acuerdo con la clasificación climática de García (2004), modificada de Köppen, el clima predominante corresponde al tipo $Aw_2(w)$, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los climas cálidos subhúmedos, con un porcentaje de precipitación invernal menor al 5 % de la precipitación anual y una canícula o disminución de la lluvia durante la temporada húmeda. La temperatura media anual es de aproximadamente 21.7 °C y la precipitación media anual alcanza 2 612 mm, concentrándose principalmente entre junio y octubre.

De acuerdo con la cartografía edafológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el municipio predominan Cambisoles, asociados localmente con Luvisoles, suelos de desarrollo moderado y buen drenaje, ampliamente utilizados para actividades agrícolas y pecuarias. El sistema experimental se instaló bajo una estructura con malla sombra para reducir la variabilidad ambiental y mantener condiciones favorables para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Diseño del sistema acuapónico

Se implementó un sistema acuapónico de recirculación conformado por tres unidades funcionales: i) un estanque piscícola con capacidad de 6 000 L para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), ii) un humedal construido de flujo subsuperficial vertical (HC-FSSV) como unidad de tratamiento del agua y iii) un sistema hidropónico de película nutritiva (Nutrient Film Technique, NFT) para la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.). El agua proveniente del estanque fue conducida hacia el humedal construido para su acondicionamiento y posteriormente reutilizada en el sistema hidropónico, retornando finalmente al estanque mediante un circuito cerrado de recirculación.

El humedal construido se conformó por un lecho filtrante estratificado integrado por tezontle (10 cm), fragmentos de PET reciclado (20 cm) y piedra de río (15 cm), materiales seleccionados por su estabilidad estructural y elevada superficie específica para el establecimiento de biopelículas microbianas. Como especie vegetal se utilizó Canna indica, debido a su adaptación a condiciones hidromórficas y a su capacidad para favorecer la oxigenación de la rizosfera y los procesos de transformación del nitrógeno.

Muestreo y determinación de variables

El monitoreo se realizó durante el periodo no experimental en tres puntos del sistema de recirculación: i) estanque de cultivo de tilapia, ii) salida del humedal construido de flujo subsuperficial vertical (HC-FSSV) y iii) salida del sistema hidropónico NFT. En cada punto de muestreo se efectuaron diez observaciones independientes ($n = 10$) para evaluar el efecto del humedal construido sobre la calidad del agua.

Las variables fisicoquímicas analizadas fueron potencial de hidrógeno (Ph), temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), amoníaco (NH_3/NH_4^+), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-). El pH, la CE y la temperatura se determinaron mediante un medidor digital portátil multifuncional Alavinia®, modelo M8DGJ0010 (Alavinia, China), el cual permite la medición simultánea de pH, sólidos disueltos totales (TDS), CE, salinidad y temperatura. El OD se cuantificó utilizando un oxímetro portátil SZ-9100 (Shenze Electronic Technology Co., Ltd., China). Las concentraciones de NH_3/NH_4^+, NO_2^- y NO_3^- se determinaron mediante tiras reactivas colorimétricas Lomas® (Lomas Aquarium Products, China), siguiendo las instrucciones y especificaciones técnicas del fabricante para su lectura e interpretación.

Evaluación del desempeño del sistema

El desempeño del humedal construido se evaluó mediante la comparación de los parámetros fisicoquímicos del agua entre las diferentes etapas del sistema acuapónico, considerando como principales indicadores el comportamiento del pH, la temperatura, el OD y la dinámica de los compuestos nitrogenados. Asimismo, se analizó el potencial de reutilización del agua tratada en el sistema hidropónico, considerando la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos y la transformación de los compuestos nitrogenados como indicadores de la eficiencia del humedal construido y del potencial de reutilización del agua dentro del sistema acuapónico

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio se desarrolló mediante una investigación experimental de tipo longitudinal, previo al análisis inferencial, se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Una vez comprobado que los datos cumplían con ambos supuestos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para evaluar el efecto del punto de muestreo sobre las variables fisicoquímicas analizadas. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba HSD de Tukey.

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statistica versión 12 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, California, Estados Unidos). Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar, mientras que los valores del estadístico F y su correspondiente nivel de significancia (p) se presentan en las tablas de resultados para facilitar la interpretación de las diferencias observadas entre los puntos de evaluación.

Resultados y discusión

Desempeño general del sistema acuapónico con humedal artificial

El sistema acuapónico integrado por el HC-FSSV operó de forma continua durante el periodo experimental, permitiendo la recirculación del agua entre el estanque de cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*), el humedal y el módulo hidropónico destinado a la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*) (Figura 1).

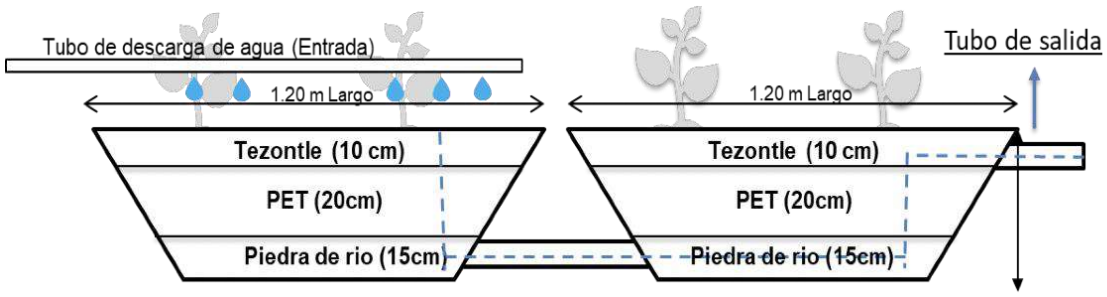


Figura 1. Configuración experimental del humedal construido de flujo subsuperficial vertical (HC-FSSV).
Fuente: Elaboración propia

La configuración del sistema favoreció el transporte del agua residual generada por los peces hacia el humedal, donde los procesos físicos de filtración, la adsorción sobre los materiales filtrantes y la actividad microbiológica contribuyeron al acondicionamiento del agua antes de su reincorporación al sistema de producción vegetal.

Durante la operación no se observaron interrupciones en el flujo hidráulico ni fallas estructurales que comprometieran la recirculación del agua, lo que evidencia la viabilidad operativa del sistema bajo las condiciones de evaluación. La integración del humedal construido permitió mantener un flujo constante y un tiempo de retención suficiente para favorecer la sedimentación de partículas y el establecimiento de comunidades microbianas responsables de la transformación de la materia orgánica y de los compuestos nitrogenados. Estos procesos constituyen la base del funcionamiento de los humedales construidos y son determinantes para mejorar la calidad del agua en sistemas de recirculación acuícola (Vymazal, 2011).

Desde el punto de vista funcional, el diseño del sistema promovió el aprovechamiento de los nutrientes derivados del metabolismo de los peces mediante su incorporación al módulo hidropónico, reduciendo la necesidad de recambios frecuentes de agua y favoreciendo un uso más eficiente del recurso hídrico. Este comportamiento coincide con lo reportado por Estim et al. (2019), quienes demostraron que la integración de unidades de biofiltración en sistemas acuapónicos mejora la calidad del agua y favorece su reutilización.

En conjunto, el desempeño observado confirma que la incorporación del HC-FSSV proporcionó una base hidráulica y biológica estable para el funcionamiento del sistema acuapónico, condición indispensable para mantener una adecuada calidad del agua y garantizar el desarrollo de los organismos cultivados. Estos resultados constituyen el fundamento para interpretar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y la dinámica de los compuestos nitrogenados presentados en los apartados siguientes.

Calidad fisicoquímica del agua

La calidad fisicoquímica del agua constituye uno de los principales factores que determinan la estabilidad y eficiencia de los sistemas acuapónicos de recirculación, ya que influye directamente sobre el desempeño de los peces, la actividad de las comunidades microbianas

y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos hidropónicos. En el presente estudio, el análisis de varianza mostró que el pH, el OD y la temperatura no presentaron diferencias significativas entre las diferentes etapas del sistema ($p > 0.05$), mientras que la CE presentó diferencias altamente significativas ($F = 9.842$; $p = 0.001$), indicando que el HC-FSSV modificó la concentración de iones disueltos sin alterar la estabilidad de las variables fundamentales para el funcionamiento del sistema (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos del agua en las diferentes etapas del sistema acuapónico integrado con HC-FSSV.

Parámetro	Entrada al humedal (Media ± DE)	Salida del humedal (Media ± DE)	Salida del sistema hidropónico (Media ± DE)	F	p
pH	6.59 ± 0.20	6.44 ± 0.13	6.56 ± 0.21	2.112	0.141
Oxígeno disuelto (mg L^{-1})	5.89 ± 1.54	5.08 ± 1.71	5.96 ± 1.17	1.277	0.295
Temperatura (°C)	19.27 ± 1.28	20.02 ± 1.03	20.31 ± 1.21	2.092	0.143
Conductividad eléctrica (µS cm^{-1})	146.7 ± 11.6	172.3 ± 18.5	169.5 ± 15.4	9.842	0.001

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 10). Las diferencias entre etapas se evaluaron mediante ANOVA de una vía ($\alpha = 0.05$).
Fuente: Elaboración propia

El pH presentó valores comprendidos entre 6.44 ± 0.13 y 6.59 ± 0.20, manteniéndose dentro del intervalo recomendado para sistemas acuapónicos donde coexisten peces, plantas y bacterias nitrificantes. La ausencia de diferencias significativas sugiere que el humedal construido actuó como un sistema amortiguador, manteniendo condiciones químicas relativamente constantes durante la recirculación del agua. Este comportamiento coincide con lo señalado por Nair et al. (2025), quienes destacan que la estabilidad del pH constituye uno de los principales indicadores del equilibrio biológico en acuaponía, debido a que favorece simultáneamente la actividad de las bacterias nitrificantes, la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento vegetal. Asimismo, Lopchan Lama et al. (2025) indican que mantener valores de pH cercanos a la neutralidad incrementa la eficiencia del reciclaje de nutrientes y mejora la interacción entre los componentes biológicos del sistema, reduciendo el riesgo de estrés tanto para peces como para cultivos.

Las concentraciones de OD oscilaron entre 5.08 ± 1.71 y 5.96 ± 1.17 mg L^{-1}, sin diferencias estadísticas entre los puntos de muestreo. Estos valores se consideran adecuados para el desarrollo de *Oreochromis niloticus* y para la actividad de microorganismos aerobios responsables de la oxidación del nitrógeno. La estabilidad observada indica que el HC-FSSV no generó condiciones de hipoxia durante el proceso de tratamiento y favoreció la continuidad de los procesos microbiológicos asociados a la biofiltración. En este sentido, Estim et al. (2019) demostraron que los sistemas acuapónicos integrados funcionan simultáneamente como filtros mecánicos y biológicos, contribuyendo al mantenimiento del oxígeno disuelto y mejorando la calidad del agua antes de su reutilización. De manera

complementaria, Chandramenon et al. (2024) señalan que la disponibilidad de oxígeno constituye una de las variables críticas para garantizar la eficiencia de los sistemas acuapónicos modernos, debido a su influencia sobre la nitrificación, la estabilidad microbiológica y el aprovechamiento de nutrientes por las plantas.

La temperatura del agua varió entre 19.27 ± 1.28 y 20.31 ± 1.21 °C, sin diferencias significativas entre las etapas del sistema. Aunque estos valores son ligeramente inferiores al intervalo óptimo reportado para el crecimiento máximo de la tilapia, la reducida variabilidad térmica observada favoreció condiciones relativamente constantes para el metabolismo de los organismos y para el desarrollo de las comunidades microbianas establecidas sobre el material filtrante. Wu et al. (2023) destacan que la estabilidad térmica representa un factor determinante en el desempeño de los humedales construidos, debido a que regula la actividad metabólica de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica y de la transformación de nutrientes. De igual forma, Chandramenon et al. (2024) indican que mantener temperaturas relativamente estables contribuye a incrementar la eficiencia de los procesos de biofiltración y reduce las fluctuaciones en la calidad del agua durante la operación de sistemas acuapónicos.

A diferencia de las variables anteriores, la CE presentó un incremento significativo después del paso del agua por el HC-FSSV, alcanzando valores promedio de 172.3 ± 18.5 $\mu S\ cm^{-1}$, en comparación con 146.7 ± 11.6 $\mu S\ cm^{-1}$ registrados en la entrada del sistema. Este comportamiento puede atribuirse a la mineralización de la materia orgánica y a la liberación de nutrientes inorgánicos durante los procesos microbiológicos desarrollados en el lecho filtrante. No obstante, la ligera disminución observada a la salida del sistema hidropónico (169.5 ± 15.4 $\mu S\ cm^{-1}$) sugiere un aprovechamiento parcial de dichos nutrientes por el cultivo de lechuga. Este patrón coincide con lo reportado por Nair et al. (2025), quienes describen que la CE refleja la dinámica del reciclaje interno de nutrientes dentro de los sistemas acuapónicos y constituye un indicador indirecto de la eficiencia de la biofiltración. Asimismo, Wu et al. (2023) indican que la interacción entre el sustrato, la vegetación y las comunidades microbianas favorece la liberación y transformación de nutrientes, incrementando temporalmente la concentración de iones disueltos sin comprometer la calidad del agua cuando el sistema mantiene un adecuado equilibrio biológico.

La evidencia obtenida indica que el HC-FSSV mantuvo condiciones fisicoquímicas estables durante el proceso de recirculación, favoreciendo un ambiente adecuado para la actividad microbiana, el bienestar de los organismos acuáticos y el aprovechamiento de nutrientes por el sistema hidropónico. Estos hallazgos confirman el papel del HC-FSSV como una unidad eficiente de acondicionamiento del agua dentro del sistema acuapónico.

Transformación de los compuestos nitrogenados en el humedal construido

La transformación de los compuestos nitrogenados representa uno de los procesos biológicos más importantes dentro de los sistemas acuapónicos de recirculación, ya que determina la conversión del nitrógeno excretado por los peces hacia formas menos tóxicas y potencialmente disponibles para el crecimiento vegetal. En el presente estudio, el ANOVA mostró diferencias altamente significativas para las concentraciones de NO_2^- ($F = 8.005$; $p = 0.001$) y NO_3^- ($F = 6.914$; $p = 0.003$), mientras que el NH_3/NH_4^+ no presentó diferencias

significativas entre las diferentes etapas del sistema (F = 0.211; p = 0.811) (Cuadro 2). Estos resultados indican que el HC-FSSV promovió principalmente la transformación del nitrógeno dentro del sistema de recirculación, más que su eliminación total.

Cuadro 2. Comportamiento de los compuestos nitrogenados en las diferentes etapas del sistema acuapónico integrado con HC-FSSV.

Variable	Entrada al humedal (Media ± DE)	Salida del humedal (Media ± DE)	Salida del sistema hidropónico (Media ± DE)	F	p
Nitrato (NO_3^-) (mg L^{-1})	0.43 ± 0.28	0.46 ± 0.45	0.00 ± 0.00	**6.914**	**0.003**
Nitrito (NO_2^-) (mg L^{-1})	0.12 ± 0.09	3.82 ± 4.38	0.00 ± 0.00	**8.005**	**0.001**
Amoniaco (NH_3/NH_4^+) (mg L^{-1})	0.29 ± 0.26	0.36 ± 0.31	0.35 ± 0.24	**0.211**	**0.811**

Nota. Los valores corresponden a la media ± desviación estándar (n = 10). Las diferencias entre etapas se evaluaron mediante ANOVA de una vía ($\alpha = 0.05$). Cuando el ANOVA resultó significativo, las comparaciones entre medias se realizaron mediante la prueba HSD de Tukey.
Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones de NH_3/NH_4^+ permanecieron relativamente estables durante el recorrido del agua, registrándose valores entre 0.29 ± 0.26 y 0.36 ± 0.31 mg L^{-1}, sin diferencias estadísticas entre las etapas del sistema. Esta estabilidad indica que el nitrógeno amoniacal producido por el metabolismo de *Oreochromis niloticus* fue transformado continuamente, evitando su acumulación en concentraciones potencialmente tóxicas para los peces. De acuerdo con Tang et al. (2020), el mantenimiento de bajas concentraciones de amonio constituye uno de los principales indicadores del adecuado funcionamiento de los procesos microbiológicos desarrollados en humedales construidos, donde la actividad conjunta de bacterias nitrificantes, biofilm y macrófitas favorece la oxidación progresiva del nitrógeno. De manera similar, Liu et al. (2026) señalan que la eficiencia en la remoción del amonio depende principalmente de la disponibilidad de oxígeno, la superficie específica del material filtrante y el tiempo de retención hidráulica, factores que favorecen el establecimiento de comunidades microbianas especializadas.

Los nitritos presentaron el comportamiento más dinámico del sistema, incrementándose significativamente desde 0.12 ± 0.09 mg L^{-1} en la entrada del humedal hasta 3.82 ± 4.38 mg L^{-1} en la salida, para posteriormente disminuir hasta valores no detectables en la salida del sistema hidropónico. Este patrón sugiere que el HC-FSSV favoreció la primera etapa del proceso de nitrificación, correspondiente a la oxidación del amonio hacia nitrito, mientras que la disminución observada en la etapa hidropónica puede atribuirse a la oxidación posterior hacia nitrato y al aprovechamiento biológico del nitrógeno por el sistema. Tang et al. (2020) describen que este comportamiento es característico de humedales construidos donde predominan condiciones aerobias, ya que la actividad de bacterias oxidantes de amonio suele ser mayor que la de bacterias oxidantes de nitrito durante las fases iniciales de

estabilización del biofilm. Asimismo, Jiang et al. (2024) demostraron que la presencia de macrófitas incrementa la diversidad y actividad funcional de las biopelículas, favoreciendo la transformación del nitrógeno mediante la oxigenación de la rizosfera y el suministro de carbono orgánico derivado de los exudados radicales.

Las concentraciones de nitratos también mostraron diferencias significativas entre las etapas del sistema, registrándose valores de 0.43 ± 0.28 mg L^{-1} en la entrada, 0.46 ± 0.45 mg L^{-1} en la salida del humedal y ausencia de nitratos detectables al finalizar el sistema hidropónico. Este comportamiento sugiere que el nitrato producido durante la nitrificación fue posteriormente aprovechado por el cultivo de lechuga o inmovilizado por las comunidades microbianas establecidas en el humedal y la rizosfera. En humedales construidos destinados al tratamiento de aguas residuales acuícolas, la remoción de nitratos está condicionada por la actividad microbiana, la disponibilidad de carbono y las condiciones de oxidación-reducción; Hu et al. (2024) observaron que la relación C/N modificó significativamente la eficiencia de remoción del nitrógeno. En este mismo sentido, Kuang et al. (2024) reportaron que la diversidad vegetal incrementa la estabilidad de los procesos de remoción de nitrógeno al favorecer la interacción entre raíces, microorganismos y sustratos, mejorando el reciclaje interno de nutrientes.

Los resultados obtenidos también evidencian la importancia del material filtrante utilizado en el HC-FSSV. El empleo combinado de tezontle, PET reciclado y roca de río proporcionó una elevada superficie para el establecimiento del biofilm responsable de los procesos de nitrificación y transformación del nitrógeno. Según Wu et al. (2023), el desempeño de los humedales construidos depende de la interacción entre las propiedades del sustrato, el tiempo de retención hidráulica, la vegetación y la actividad de las comunidades microbianas, factores que determinan la eficiencia de los procesos de depuración y reciclaje de nutrientes. En el presente estudio, la presencia de *Canna indica* probablemente contribuyó a mantener condiciones favorables para el desarrollo de estas comunidades mediante la liberación de oxígeno en la rizosfera y el incremento de la heterogeneidad microbiana, tal como fue descrito experimentalmente por Jiang et al. (2024).

La dinámica observada en las diferentes especies nitrogenadas confirma que el HC-FSSV favoreció procesos de transformación biológica más que de eliminación del nitrógeno. La interacción entre el material filtrante, las comunidades microbianas y la vegetación permitió mantener bajas concentraciones de amonio y promover el reciclaje interno de nutrientes, fortaleciendo la eficiencia del sistema de recirculación y su estabilidad biológica.

Potencial de reutilización del agua tratada para la producción hidropónica

La reutilización del agua constituye uno de los principios fundamentales de los sistemas acuapónicos, ya que permite reducir el consumo de agua dulce y aprovechar los nutrientes generados durante la producción acuícola para el desarrollo de cultivos vegetales. En el presente estudio, la estabilidad observada en los parámetros fisicoquímicos y la transformación de los compuestos nitrogenados evidenciaron que el agua tratada mediante el HC-FSSVpresentó condiciones adecuadas para su reincorporación al sistema hidropónico destinado al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), sin que se observaran alteraciones que comprometieran el funcionamiento general del sistema.

La ausencia de diferencias significativas en el pH, el OD y la temperatura, así como las bajas concentraciones de amonio registradas durante el proceso de recirculación, indican que el humedal construido contribuyó a mantener un ambiente químicamente estable para el desarrollo del cultivo hidropónico. Al mismo tiempo, el incremento temporal de la CE refleja la permanencia de nutrientes minerales disueltos en el agua, los cuales constituyen una fuente potencial para la nutrición vegetal dentro de sistemas acuapónicos. Estos resultados coinciden con Nair et al. (2025), quienes señalan que la eficiencia de la acuaponía depende de la capacidad del sistema para mantener un equilibrio entre la calidad del agua, la actividad microbiana y el reciclaje continuo de nutrientes hacia los cultivos.

Durante el periodo experimental, el agua tratada circuló continuamente hacia el sistema hidropónico sin que se observaran evidencias de deterioro en su calidad, lo que demuestra que el humedal construido fue capaz de acondicionar el efluente acuícola antes de su reutilización. En sistemas acuapónicos, la reutilización eficiente del agua no depende exclusivamente de la remoción de contaminantes, sino también de la conservación de concentraciones adecuadas de nutrientes que puedan ser aprovechados por las plantas sin afectar el bienestar de los organismos acuáticos. En este sentido, Lopchan Lama et al. (2025) destacan que los sistemas acuapónicos modernos deben ser considerados ecosistemas de reciclaje de nutrientes, donde el objetivo principal consiste en optimizar el uso simultáneo del agua y de los elementos minerales mediante procesos biológicos integrados.

Diversas investigaciones han demostrado que los humedales construidos incrementan la eficiencia del tratamiento biológico al combinar procesos de filtración física, adsorción, transformación microbiana y absorción vegetal, permitiendo reutilizar el agua en actividades productivas con un menor impacto ambiental (Wu et al., 2023). Asimismo, Estim et al. (2019) reportaron que la incorporación de unidades de biofiltración dentro de sistemas acuapónicos mejora significativamente la calidad del agua antes de su retorno al cultivo hidropónico, favoreciendo una mayor estabilidad del sistema y reduciendo la necesidad de recambios frecuentes.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los resultados obtenidos demuestran que la integración del humedal construido permitió mantener un circuito cerrado de recirculación en el que el agua residual generada por la producción de tilapia fue reutilizada para el cultivo de lechuga, disminuyendo simultáneamente el consumo de agua fresca y promoviendo el reciclaje interno de nutrientes. Este enfoque responde a los principios de la economía circular aplicados a la producción agroalimentaria, donde los residuos generados por un componente del sistema son aprovechados como insumos para otro proceso productivo, incrementando la eficiencia en el uso de los recursos naturales (Chandramenon et al., 2024; Nair et al., 2025).

Desde una perspectiva de aprovechamiento del recurso hídrico, el desempeño del HC-FSSV permitió obtener un efluente con características compatibles para su reutilización en el sistema hidropónico, fortaleciendo la integración entre la producción acuícola y vegetal y contribuyendo a un uso más eficiente del agua y de los nutrientes disponibles.

Integración del HC-FSSV en el desempeño del sistema acuapónico

La integración del HC-FSSV dentro del sistema acuapónico permitió establecer un proceso continuo de tratamiento, transformación y reutilización del agua, favoreciendo la estabilidad de las condiciones fisicoquímicas y el reciclaje interno de nutrientes. Los resultados obtenidos demuestran que el humedal no funcionó únicamente como una unidad de filtración física, sino como un reactor biológico, donde la interacción entre el sustrato filtrante, la vegetación y las comunidades microbianas promovió procesos de nitrificación, mineralización y acondicionamiento del agua antes de su reincorporación al sistema hidropónico. Este comportamiento confirma que la eficiencia de los sistemas acuapónicos depende del equilibrio funcional entre sus componentes más que del desempeño aislado de cada unidad de tratamiento.

La estabilidad observada en el pH, el OD y la temperatura, junto con el incremento temporal de la CE y la transformación de los compuestos nitrogenados, evidencia que el HC-FSSV mantuvo condiciones favorables para el funcionamiento del sistema de recirculación. Aunque las concentraciones de nitritos aumentaron significativamente durante el paso por el humedal, la reducción de nitratos y la permanencia de bajas concentraciones de amonio indican que el nitrógeno fue continuamente transformado y reutilizado dentro del sistema, evitando la acumulación de compuestos potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos. Este comportamiento coincide con lo descrito por Tang et al. (2020), quienes señalan que la eficiencia de los humedales construidos depende de la interacción entre bacterias nitrificantes, biofilm, macrófitas y condiciones hidráulicas que favorecen la transformación progresiva del nitrógeno.

El desempeño observado también puede atribuirse a las características del lecho filtrante conformado por tezontle, PET reciclado y roca de río, materiales que proporcionan una elevada superficie específica para el establecimiento de biopelículas microbianas responsables de los procesos de biofiltración. La incorporación de Canna indica probablemente incrementó la eficiencia del sistema mediante la oxigenación de la rizosfera y el aporte de exudados radicales que favorecen el desarrollo de comunidades microbianas funcionales. En este sentido, Jiang et al. (2024) demostraron que la presencia de macrófitas incrementa la actividad metabólica del biofilm y mejora significativamente la transformación del nitrógeno en humedales construidos, mientras que Kuang et al. (2024) reportaron que una mayor diversidad vegetal favorece la estabilidad de los procesos biogeoquímicos y el reciclaje de nutrientes.

Desde el punto de vista operativo, el sistema permitió mantener un circuito cerrado de recirculación donde el agua residual proveniente del cultivo de tilapia fue acondicionada y posteriormente reutilizada para la producción hidropónica de lechuga. Este esquema representa una estrategia eficiente para reducir el consumo de agua dulce, minimizar la descarga de efluentes y aprovechar los nutrientes generados durante la producción acuícola. De acuerdo con Estim et al. (2019), la integración de unidades de biofiltración en sistemas acuapónicos incrementa la estabilidad de la calidad del agua y disminuye la necesidad de recambios frecuentes, mientras que Nair et al. (2025) destacan que el éxito de la acuaponía depende precisamente de la capacidad del sistema para mantener un flujo continuo de agua y nutrientes entre los diferentes componentes biológicos.

Asimismo, los resultados obtenidos respaldan el potencial del HC-FSSV como una tecnología apropiada para sistemas acuapónicos de pequeña y mediana escala, debido a que combina materiales de bajo costo, fácil disponibilidad y reducido requerimiento energético. La utilización de tezontle como medio filtrante, complementado con PET reciclado y roca de río, constituye una alternativa técnicamente viable para incrementar la superficie disponible para la colonización microbiana y favorecer los procesos de depuración del agua. En este contexto, Wu et al. (2023) señalan que la selección adecuada de sustratos y macrófitas representa uno de los factores que más influye en el desempeño hidráulico y biogeoquímico de los humedales construidos, particularmente cuando son empleados para el tratamiento de efluentes con alta carga de nutrientes.

En términos generales, el funcionamiento integrado del sistema evidenció que la incorporación del humedal construido fortaleció la estabilidad hidráulica, química y biológica del proceso acuapónico. La interacción entre el lecho filtrante, la vegetación y las comunidades microbianas favoreció el acondicionamiento del agua, el reciclaje de nutrientes y la reducción del impacto ambiental asociado a la producción acuícola, consolidando al HC-FSSV como una alternativa técnicamente viable para el desarrollo de sistemas acuapónicos más sostenibles.

Conclusiones

La integración de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical (HC-FSSV) a un sistema acuapónico de recirculación permitió mantener condiciones fisicoquímicas estables del agua y favorecer la transformación biológica de los compuestos nitrogenados, contribuyendo al acondicionamiento del agua para su reutilización en la producción hidropónica de *Lactuca sativa L*. La combinación de tezontle, PET reciclado, roca de río y Canna indica proporcionó condiciones favorables para el establecimiento de comunidades microbianas responsables de los procesos de biofiltración y reciclaje interno de nutrientes, fortaleciendo el funcionamiento integral del sistema.

Los resultados obtenidos demuestran que el HC-FSSV constituye una alternativa técnicamente viable para incrementar la sostenibilidad de los sistemas acuapónicos, al favorecer el uso eficiente del agua, reducir la necesidad de recambios frecuentes y promover el aprovechamiento de nutrientes dentro de un esquema de economía circular. El empleo de materiales filtrantes de bajo costo y amplia disponibilidad representa, además, una opción con potencial de aplicación en pequeñas y medianas unidades de producción acuícola de regiones tropicales.

El principal aporte de este estudio consiste en generar evidencia experimental sobre la integración de un humedal construido de flujo subsuperficial vertical como unidad de tratamiento dentro de un sistema acuapónico de recirculación, demostrando su capacidad para mejorar el acondicionamiento del agua y fortalecer el reciclaje interno de nutrientes. Como perspectivas de investigación, se recomienda evaluar diferentes tiempos de retención hidráulica, configuraciones del lecho filtrante y especies vegetales, así como cuantificar la eficiencia de remoción de nutrientes y la productividad de los cultivos hidropónicos, con el fin de optimizar el desempeño del sistema y ampliar su aplicación en condiciones de producción comercial.

Literatura citada

- Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchuenbou-Magaia, F. (2024). Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality: Comprehensive review. *Computers and Electronics in Agriculture*, *225*, 109256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109256
- Estim, A., Saufie, S., & Mustafa, S. (2019). Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *Journal of Water Process Engineering*, *30*, 100566. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.02.001
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5.ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hu, L., Zhou, M., Wang, X., Liu, J., Liang, C., Cao, L., Li, S., & Li, E. (2024). New insights for simultaneous nitrogen removal and greenhouse gas reduction by biological-electrolysis constructed wetland in the treatment of aquaculture wastewater under varied C/N. *Journal of Water Process Engineering*, *65*, 105826. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105826
- Jiang, X., Wang, M., He, D., Zhu, J., Yang, S., Fang, F., & Yang, L. (2024). Submerged macrophyte promoted nitrogen removal function of biofilms in constructed wetland. *Science of the Total Environment*, *914*, 169666. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169666
- Kuang, G., Tao, J., Zheng, X., Yang, L., Shen, K., Xu, X., Xiao, D., Zhao, M., & Han, W. (2024). Effects of aquatic plant diversity and *Cipangopaludina chinensis* on nitrogen removal and its stability in constructed wetlands. *Sustainability*, *16*(21), 9492. https://doi.org/10.3390/su16219492
- Liu, T., Liu, G., Qiu, Y., Zhou, J., Li, J., Ma, J., & Feng, Y. (2026). A review of enhanced strategies for nitrogen removal in constructed wetlands: From design, influencing factors to full-scale applications and challenges. *Water Research*, *288*(Part B), 124662. https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.124662
- Lopchan Lama, S., Marcelino, K. R., Wongkiew, S., Surendra, K. C., Hu, Z., Lee, J. W., & Khanal, S. K. (2025). Recent advances in aquaponic systems: A critical review. *Reviews in Aquaculture*, *17*(3), e70029. https://doi.org/10.1111/raq.70029
- Nair, C. S., Manoharan, R., Nishanth, D., Subramanian, R., Neumann, E., & Jaleel, A. (2025). Recent advancements in aquaponics with special emphasis on its sustainability. *Journal of the World Aquaculture Society*, *56*(1), e13116. https://doi.org/10.1111/jwas.13116
- Tang, S., Liao, Y., Xu, Y., Dang, Z., Zhu, X., & Ji, G. (2020). Microbial coupling mechanisms of nitrogen removal in constructed wetlands: A review. *Bioresource Technology*, *314*, 123759. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123759
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*, *45*(1), 61–69. https://doi.org/10.1021/es101403q
- Wu, H., Wang, R., Yan, P., Wu, S., Chen, Z., Zhao, Y., Cheng, C., Hu, Z., Zhuang, L., Guo, Z., Xie, H., & Zhang, J. (2023). Constructed wetlands for pollution control. *Nature Reviews Earth & Environment*, *4*(4), 218–234. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00395-z

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Aislamiento e identificación de *Trichoderma* spp. en El Vano, Guerrero: potencial para la transición agroecológica en el cultivo de maíz criollo.

Jesús Jiménez-Ramirez, Teolincacihuatl Romero-Rosales, Abraham Monteón-Ojeda, Maricarmen Thalía Recillas-Mota[1]

Resumen

El uso de cepas nativas de *Trichoderma* representa una alternativa sustentable para reducir el empleo de agroquímicos en sistemas agrícolas locales. El objetivo del estudio fue aislar e identificar morfológica y molecularmente cepas de *Trichoderma* spp. asociadas a suelos rizosféricos de maíz criollo raza Olotillo en El Vano, Guerrero, como un recurso biotecnológico local. Durante abril y mayo de 2025, se recolectaron muestras de suelo en dos parcelas. El aislamiento se realizó mediante siembra en placa con medio Papa Dextrosa Agar (PDA) y PDA suplementado con ácido láctico (0.5%) y cloranfenicol (100 mg/L), a partir de diluciones seriadas (10^{-2}) e incubando a 25 °C por 7-10 días. La identificación molecular se efectuó mediante extracción de ADN, amplificación de la región ITS con cebadores ITS5/ITS4 y análisis BLASTn. Se obtuvieron dos aislamientos (TV-01 y TV-02), lo que representó una frecuencia del 10%. Morfológicamente, TV-01 presentó micelio verde oscuro algodonoso, fiálides alargadas y conidios elipsoidales; mientras que TV-02 mostró micelio verde claro aterciopelado, fiálides ampuliformes y conidios globosos. El análisis molecular identificó a TV-01 como *Trichoderma longibrachiatum* (99.1% de identidad) y a TV-02 como *Trichoderma citrinoviride* (98.7%). Se aislaron y caracterizaron dos especies nativas de *Trichoderma* con potencial biotecnológico. Su hallazgo representa un reservorio genético valioso, sentando las bases para el diseño de bioinsumos adaptados a la agricultura local y fomentando prácticas agroecológicas en Guerrero.

Palabras clave: *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma citrinoviride*, control biológico, ITS, agroecología.

Abstract

The use of native *Trichoderma* strains represents a sustainable alternative to reduce the use of agrochemicals in local agricultural systems. The objective of the study was to isolate and morphologically and molecularly identify *Trichoderma* spp. strains associated with rhizospheric soils of native Olotillo maize in El Vano, Guerrero, as a local biotechnological resource. During April and May 2025, soil samples were collected from two plots. Isolation was performed by plating on Potato Dextrose Agar (PDA) and PDA supplemented with lactic acid (0.5%) and chloramphenicol (100 mg/L), from serial dilutions (10^{-2}) and incubated at 25 °C for 7-10 days. Molecular identification was performed by DNA extraction, ITS region amplification with ITS5/ITS4 primers, and BLASTn analysis. Two isolates (TV-01 and TV-02) were obtained, representing a 10% frequency. Morphologically, TV-01 presented cottony dark green mycelium, elongated phialides, and ellipsoidal conidia; while TV-02 showed velvety light green mycelium, ampulliform phialides, and globose conidia. Molecular analysis identified TV-01 as *Trichoderma longibrachiatum* (99.1% identity) and TV-02 as

[1] Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local (FCAA-UAGro), Campus Tuxpan, Iguala, Guerrero. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Torres de Rectoría Pachuca-Actopan Km. 4.5, Colonia Campo de Tiro, Pachuca de Soto, Hidalgo. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Guaymas, Sonora. Correos electrónicos: 14619750@uagro.mx, 18029@uagro.mx, abraham_monteon@uaeh.edu.mx, mrecillas@ciad.mx.

Trichoderma citrinoviride (98.7%). Two native *Trichoderma* species with biotechnological potential were isolated and characterized. Their finding represents a valuable genetic reservoir, laying the groundwork for the design of bioinputs adapted to local agriculture and promoting agroecological practices in Guerrero.

Keywords: *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma citrinoviride*, biological control, ITS, agroecology.

Introducción

El género *Trichoderma* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuido en ambientes agrícolas, reconocido por su papel fundamental como agente de biocontrol debido a su capacidad para antagonizar patógenos del suelo y promover el crecimiento vegetal. La diversidad genética y funcional de las cepas nativas de *Trichoderma* es crucial para optimizar su aplicación en diferentes sistemas agrícolas, ya que las cepas adaptadas a condiciones locales pueden presentar mayor eficacia y persistencia en el campo (Mukherjee *et al*., 2022).

La identificación morfológica tradicional, aunque esencial, puede ser insuficiente para diferenciar especies cercanas, por lo que el análisis molecular mediante marcadores genéticos, como la región ITS (Internal Transcribed Spacer) y los genes tef1 o rpb2, ha sido adoptado como estándar para una caracterización precisa (Chaverri *et al*., 2015; Druzhinina *et al*., 2018). Estos métodos permiten no solo identificar especies, sino también comprender su diversidad y relaciones filogenéticas, información clave para el desarrollo de bioproductos agrícolas.

En México, particularmente en regiones agrícolas como El Vano, Guerrero, existe un conocimiento limitado sobre la diversidad de *Trichoderma* nativo, lo cual representa una oportunidad para descubrir cepas con potencial para el control biológico adaptado a las condiciones agroecológicas locales (Sánchez-Montesinos *et al*., 2023). La región de El Vano se caracteriza por el cultivo de maíz criollo de la raza Olotillo, un recurso biocultural de gran importancia para las comunidades locales El aislamiento e identificación de cepas nativas de *Trichoderma* en estos suelos es un paso fundamental para fomentar prácticas agrícolas sostenibles y reducir el uso de agroquímicos.

El objetivo del presente estudio fue aislar e identificar morfológica y molecularmente cepas nativas de *Trichoderma* spp. provenientes de suelos rizosféricos de parcelas de maíz criollo en la localidad de El Vano, Guerrero.

Materiales y métodos

Área de estudio y colecta de muestras

El estudio se realizó en parcelas agrícolas de la localidad de El Vano, municipio de Ayutla de los Libres, Guerrero, México, ubicadas en las coordenadas 16°50'51" N y 99°2'30" O, a una altitud de 381 msnm. La región presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, y una temporada seca prolongada que se extiende de noviembre a mayo.

Se seleccionaron dos parcelas agrícolas (Parcela A y Parcela B) dedicadas a la siembra de maíz criollo de la raza Olotillo durante el período de temporal de lluvias (junio-septiembre). Se recolectaron muestras de suelo rizosférico en dos fechas: 26 de abril de 2025 para la Parcela A y 11 de mayo de 2025 para la Parcela B. En cada parcela se aplicó un muestreo sistemático en forma de "cinco de oros", recolectando cinco submuestras (una central y cuatro en los extremos) a una profundidad de 20 cm, previa eliminación de hojarasca superficial. Las submuestras se homogeneizaron para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg por parcela.

Las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno estériles, etiquetadas y transportadas en refrigeración (4 °C) al Laboratorio de Control Biológico de la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Iguala de la Independencia, para su procesamiento en un plazo máximo de 48 horas.

Consideraciones éticas y vinculación comunitaria

Previo a la colecta, se estableció contacto con los propietarios de las parcelas, explicando verbalmente el objetivo del estudio y los potenciales beneficios de identificar cepas nativas de *Trichoderma* para la agricultura local. Se obtuvo consentimiento informado para acceder a las parcelas y tomar muestras, y se acordó presentar los resultados en una reunión comunitaria al finalizar el proyecto.

Aislamiento y purificación de cepas de *Trichoderma*

El aislamiento se realizó mediante la técnica de dilución seriada y siembra en superficie. Se suspendió 1 g de suelo en 10 mL de agua destilada estéril (ADE) con agitación constante durante 10 min, obteniendo la solución madre (10^{-1}). A partir de esta, se tomó 1 mL y se diluyó en 9 mL de ADE con agitación constante durante 10 min para obtener la dilución 10^{-2}. Posteriormente, se inocularon 0.1 mL de la dilución 10^{-2} en cajas Petri con medio de cultivo, extendiendo con un asa de Drigalski estéril. Para la Parcela A se empleó medio Papa Dextrosa Agar (PDA); para la Parcela B se utilizó PDA suplementado con ácido láctico (0.5 %) y cloranfenicol (100 mg/L). Se sembraron 10 cajas por parcela (20 cajas en total).

Todas las cajas se incubaron a 25 ± 2 °C durante 7-10 días. Las colonias con morfología típica de *Trichoderma* (crecimiento rápido, micelio blanco y conidios verdes) se transfirieron a nuevas placas con PDA y se purificaron mediante la técnica de punta de hifa. Los cultivos puros se conservaron en refrigeración (4 °C) para su posterior caracterización.

Identificación morfológica

La caracterización morfológica se realizó en cultivos de 5 días en PDA a 25 °C. Se evaluaron caracteres macroscópicos: tasa de crecimiento, color y textura del micelio, pigmentación del medio, color del reverso de la colonia y apariencia de las áreas de esporulación.

Para la observación microscópica, se realizaron montajes temporales con azul de lactofenol y se examinaron las estructuras reproductivas (conidióforos, fiálides, conidios y clamidosporas) en microscopio óptico compuesto (40× y 100×). La identificación preliminar se basó en claves taxonómicas especializadas, particularmente la lista de nombres aceptados del género *Trichoderma* (Bissett *et al*., 2015).

Identificación molecular

Extracción de ADN y amplificación por PCR

La extracción de ADN genómico se efectuó a partir de 100 mg de micelio joven (3-5 días de cultivo) utilizando el kit E.Z.N.A.® HP Plant & Fungal DNA Kit (Omega Bio-tek, Norcross, GA, EE. UU.), siguiendo el protocolo indicado por el fabricante. Para optimizar la lisis de la pared celular fúngica, el micelio fue previamente molido en nitrógeno líquido.

La región ITS (Internal Transcribed Spacer) del ADN ribosomal se amplificó mediante PCR con los cebadores ITS5 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') e ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') (White *et al*., 1990). Se incluyó un control negativo (sin ADN molde) en todas las reacciones. Las reacciones de PCR se prepararon en un volumen final de 25 µL, conteniendo: 1X tampón de PCR, 1.5 mM $MgCl_2$, 0.2 mM de cada dNTP, 0.4 µM de cada cebador, 1 U de Taq ADN polimerasa y 50 ng de ADN molde. Las condiciones de amplificación fueron: desnaturalización inicial a 95 °C por 3 min; 35 ciclos de 95 °C por 30 s, 55 °C por 30 s y 72 °C por 1 min; y extensión final a 72 °C por 10 min.

Secuenciación y análisis bioinformático

Los productos de PCR se separaron mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5 % teñido con bromuro de etidio y se visualizaron en transiluminador UV. Las bandas de ~600 pb se purificaron con el kit E.Z.N.A.® HP Plant & Fungal DNA Kit (Omega Bio-tek, Norcross, GA, EE. UU.) y se enviaron a secuenciación bidireccional al Laboratorio Nacional de Investigación en Salud Animal y Fitosanitaria (LANISAF) de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las secuencias obtenidas se editaron y ensamblaron con el software BioEdit v7.2. Para la asignación taxonómica, las secuencias consenso se compararon con la base de datos GenBank del NCBI mediante BLASTn, considerando un porcentaje de identidad ≥97 % con secuencias de referencia como criterio para la asignación a nivel de especie (Cai y Druzhinina, 2021; Hermosa *et al*., 2000).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño de muestreo descriptivo y transversal. El estudio fue de tipo exploratorio-descriptivo, orientado al aislamiento y la caracterización taxonómica de cepas nativas, sin la aplicación de tratamientos experimentales comparativos. El muestreo se realizó de forma dirigida en parcelas agrícolas representativas del área de estudio para capturar la posible diversidad fúngica.

La unidad experimental fue cada caja de Petri inoculada para el proceso de aislamiento. Una vez purificadas, cada cepa fúngica aislada constituyó la unidad de observación y análisis para las caracterizaciones morfológica y molecular posteriores.

Los datos de frecuencia de aislamiento se analizaron mediante estadística descriptiva, presentándose como número total de aislamientos por muestra y fecha de colecta.

Resultados y discusión

Aislamiento de cepas del género *Trichoderma*

Se sembraron 20 cajas Petri (10 por parcela), de las cuales solo dos presentaron colonias compatibles con *Trichoderma*, lo que representa una frecuencia de aislamiento del 10 %. Se obtuvo un aislamiento en la Parcela A (PDA) y uno en la Parcela B (PDA suplementado con ácido láctico y cloranfenicol). La suplementación del medio con ácido láctico y cloranfenicol no mejoró la eficiencia de aislamiento. Las cepas purificadas se designaron como TV-01 y TV-02.

Cuadro 1. Resultados del aislamiento de *Trichoderma* en El Vano, Guerrero

Parcela	Medio de cultivo utilizado	N.º de cajas sembradas	N.º de cajas con crecimiento compatible con *Trichoderma*	Observaciones
A	PDA (Papa Dextrosa Agar)	10	1	Bajo rendimiento en aislamiento; presencia de contaminantes.
B	PDA + ácido láctico + cloranfenicol	10	1	La suplementación no mejoró la eficiencia del aislamiento.
Total: 2 (10 %)				

Fuente: Elaboración propia.

Frecuencia de aislamiento y factores limitantes

La baja frecuencia de aislamiento obtenida (10 %) indica que, bajo las condiciones de muestreo y cultivo empleadas, la recuperación de colonias de *Trichoderma* a partir de suelo rizosférico fue limitada. Este resultado es consistente con las observaciones de Rodríguez-Martínez *et al*. (2025), quienes reportaron que la eficiencia del aislamiento en suelos agrícolas semiáridos de Chihuahua puede verse afectada por el tipo de suelo, la competencia con otros microorganismos y las condiciones ambientales. La época de muestreo (final de temporada seca) pudo ser un factor determinante. Cai y Druzhinina (2021) señalan que la actividad microbiana en suelos agrícolas disminuye significativamente durante la temporada seca, lo que explicaría la baja recuperación de colonias fúngicas. Las esporas de *Trichoderma* pueden permanecer viables, pero en menor densidad bajo baja humedad.

Adicionalmente, Chaverri *et al*. (2015) reportaron que el uso de diluciones seriadas puede subestimar la presencia del hongo si no se emplean diluciones más concentradas. En nuestro estudio, el uso de la dilución 10^{-2} pudo haber reducido la probabilidad de capturar esporas, por lo que en futuros estudios se recomienda sembrar también diluciones más concentradas (10^{-1}).

Eficiencia de los medios de cultivo

La falta de eficiencia del medio suplementado con ácido láctico y cloranfenicol sugiere que los contaminantes más problemáticos no fueron bacterias ni hongos sensibles a la acidificación, sino hongos de rápido crecimiento resistentes. Cai y Druzhinina (2021) mencionan que *Rhizopus* spp. es un contaminante frecuente en aislamientos de *Trichoderma* y puede crecer incluso en medios acidificados, lo que explicaría por qué la suplementación no mejoró la eficiencia. Rodríguez-Martínez *et al*. (2025) recomiendan el uso de medios

semiselectivos como el agar rojo de Bengala o el medio específico para *Trichoderma* (TSM) para incrementar la recuperación en futuros estudios.

Caracterización morfológica

La caracterización morfológica reveló diferencias claras entre ambas cepas. La cepa TV-01 presentó crecimiento rápido (5-6 días), micelio verde oscuro de textura algodonosa, reverso amarillo pálido, fiálides alargadas (5-12 × 2-3 µm) y conidios elipsoidales lisos (3.0-4.2 × 2.0-3.0 µm). Por su parte, TV-02 mostró crecimiento moderado (7-8 días), micelio verde claro de textura aterciopelada, reverso amarillo intenso, fiálides ampuliformes cortas (4-8 × 2-3 µm) y conidios globosos a subglobosos (2.5-3.5 × 2.0-3.0 µm).

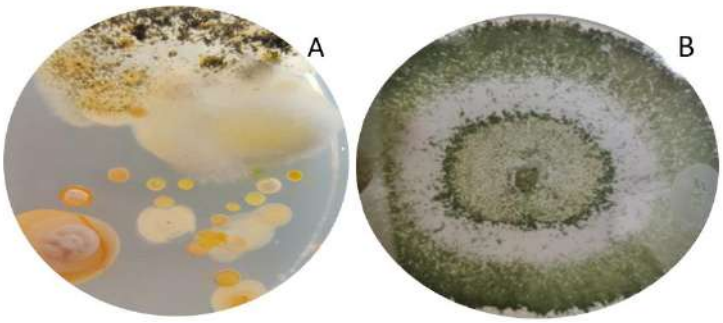


Figura 1. Aislamiento y purificación de *Trichoderma* spp. a partir de suelo rizosférico de la Parcela A. (A) Siembra por dispersión de suelo en agar PDA. (B) Resiembra por punta de hifa para obtención de cultivo puro

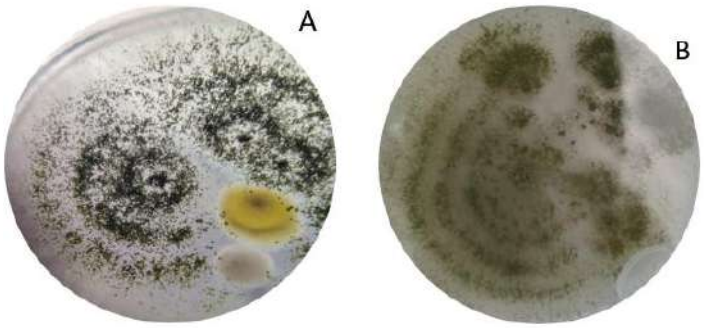


Figura 2. Aislamiento y purificación de *Trichoderma* spp. a partir de suelo rizosférico de la Parcela B. (A) Siembra por dispersión de suelo en agar PDA suplementado con ácido láctico (0.5 %) y cloranfenicol (100 mg/L). (B) Resiembra por punta de hifa para obtención de cultivo puro

Las características observadas en TV-01 corresponden típicamente a las del complejo *Trichoderma longibrachiatum*, mientras que las de TV-02 son características de *Trichoderma citrinoviride*. La diferencia en la textura del micelio (algodonoso vs. aterciopelado), el color del reverso (amarillo pálido vs. amarillo intenso) y la forma de los conidios y fiálides fueron los caracteres diferenciales más evidentes.

Identificación molecular

La amplificación de la región ITS generó productos de ~600 pb, confirmando la calidad del ADN extraído y la eficiencia de los cebadores ITS5/ITS4 para la identificación de hongos del género *Trichoderma* (White *et al*., 1990).

El análisis BLASTn identificó a TV-01 como *T. longibrachiatum* con un 99.1 % de identidad y a TV-02 como *T. citrinoviride* con un 98.7 % de identidad, valores que superan el umbral del 97 % establecido para la asignación a nivel de especie en este género (Cai y Druzhinina, 2021). Las secuencias obtenidas presentaron una alta similitud con las cepas tipo de referencia: TV-01 mostró 8 sustituciones nucleotídicas en 568 pb al compararse con *T. longibrachiatum* CBS 114.95, mientras que TV-02 presentó 7 sustituciones en 572 pb respecto a *T. citrinoviride* CBS 258.85, diferencias que se consideran dentro del rango de variación intraespecífica (Hermosa *et al*., 2000).

Cuadro 2. Características morfológicas e identificación molecular de las cepas de *Trichoderma* spp. aisladas en El Vano, Guerrero.

Característica	TV-01	TV-02
Identidad BLASTn	*Trichoderma longibrachiatum*	*Trichoderma citrinoviride*
% Identidad	99.1 %	98.7 %
Color de colonia	Verde oscuro a verde esmeralda; margen blanco	Verde claro a verde amarillento; colonias jóvenes blancas a verde limón
Textura	Algodonosa a lanosa	Compacta, flocosa o aterciopelada
Micelio aéreo	Abundante, largo y laxo	Moderado, corto y denso; aspecto pulverulento
Reverso	Amarillo pálido a incoloro	Amarillo intenso o verdoso
Conidios (forma)	Elipsoidales a subglobosos, lisos	Globosos a subglobosos, lisos o ligeramente rugosos
Fiálides (forma)	Cilíndricas a ampuliformes, alargadas	Ampuliformes cortas, anchas, densamente agrupadas
Crecimiento	Rápido (5–6 días)	Moderado (7–8 días)
Parcela de origen	Parcela A	Parcela B

Fuente: Elaboración propia.

Identificación de especies de *Trichoderma* con potencial biotecnológico

La identificación de *T. longibrachiatum* y *T. citrinoviride* en suelos de El Vano es relevante, ya que ambas especies han sido reportadas previamente como agentes de biocontrol efectivos y productoras de metabolitos secundarios (Umaña-Castro *et al*., 2018; Rodríguez-Martínez *et al*., 2025). *T. longibrachiatum* es conocido por su capacidad para producir enzimas celulolíticas y compuestos antimicrobianos, además de su eficacia en el control de *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia* spp. (Guigón-López *et al*., 2010). Por su parte, *T. citrinoviride* ha sido estudiado por su producción de metabolitos con actividad antifúngica y su potencial para la biorremediación.

La confirmación molecular de ambas especies con porcentajes de identidad superiores al 97 % proporciona una base sólida para futuros estudios de evaluación de su actividad antagónica contra patógenos del maíz en la región. La concordancia total entre los datos moleculares y

morfológicos reduce la probabilidad de errores de identificación y respalda la autenticidad de los aislamientos.

Conclusiones

El estudio logró aislar y caracterizar dos cepas nativas del género *Trichoderma* a partir de suelos rizosféricos de parcelas de maíz criollo en El Vano, Guerrero. Mediante la integración de técnicas morfológicas y moleculares, se identificó a las cepas TV-01 como *Trichoderma longibrachiatum* (99.1 % de identidad) y TV-02 como *Trichoderma citrinoviride* (98.7 % de identidad), confirmando su pertenencia a especies de reconocido potencial biotecnológico.

Sin embargo, la baja frecuencia de aislamiento (10 %) evidencia la necesidad de optimizar las estrategias de recuperación de este hongo en suelos de la región, particularmente considerando las condiciones de sequía y la competencia con otros microorganismos. El estudio representa un aporte inicial al conocimiento de la diversidad de *Trichoderma* en Guerrero y establece las bases para futuras investigaciones orientadas al desarrollo de bioinsumos adaptados a la agricultura local y al fomento de la transición agroecológica en el cultivo de maíz criollo.

Literatura citada

- Bissett, J., Gams, W., Jaklitsch, W., & Samuels, G. J. (2015). Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. *IMA Fungus*, *6*(2), 263-295. https://doi.org/10.5598/imafungus.2015.06.02.02
- Cai, F., & Druzhinina, I. S. (2021). In honor of John Bissett: authoritative guidelines on molecular identification of *Trichoderma*. *Fungal Diversity*, *107*(1), 1-69. https://doi.org/10.1007/s13225-020-00464-4
- Chaverri, P., Branco-Rocha, F., Jaklitsch, W., Gazis, R., Degenkolb, T., & Samuels, G. J. (2015). Systematics of the *Trichoderma harzianum* species complex and the re-identification of commercial biocontrol strains. Mycologia, 107(3), 558-590. https://doi.org/10.3852/14-147
- Druzhinina, I. S., Chenthamara, K., Zhang, J., Atanasova, L., Yang, D., Miao, Y., Rahimi, M. J., Grujic, M., Cai, F., Pourmehdi, S., Salim, K. A., Pretzer, C., Kopchinskiy, A. G., Henrissat, B., Kuo, A., Hundley, H., Wang, M., Aerts, A., Salamov, A., . . . Kubicek, C. P. (2018). Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS Genetics*, 14(4), e1007322. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1007322
- Guigón-López, C., Guerrero-Prieto, V., Vargas-Albores, F., Carvajal-Millán, E., Ávila-Quezada, G. D., Bravo-Luna, L., Ruocco, M., Lanzuise, S., Woo, S., & Lorito, M. (2010). *Identificación Molecular de Cepas Nativas de Trichoderma spp. su Tasa de Crecimiento in vitro y Antagonismo contra Hongos Fitopatógenos*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000200002&lng=es&tlng=es.
- Hermosa, M. R., Grondona, I., Iturriaga, E. A., Diaz-Minguez, J. M., Castro, C., Monte, E., & Garcia-Acha, I. (2000). Molecular Characterization and Identification of Biocontrol

Isolates of *Trichoderma* spp. *Applied And Environmental Microbiology*, *66*(5), 1890-1898. https://doi.org/10.1128/aem.66.5.1890-1898.2000

- Mukherjee, P. K., Horwitz, B. A., Vinale, F., Hohmann, P., Atanasova, L., & Mendoza-Mendoza, A. (2022). Editorial: Molecular Intricacies of *Trichoderma*-Plant-Pathogen Interactions. *Frontiers In Fungal Biology*, 3. https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.892228
- Rodríguez-Martínez, E. S., Rios-Velasco, C., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Buenrostro-Figueroa, J. J., Correia, K. C., Guigón-López, C., & Alvarado-González, M. (2025). *Trichoderma* Species from Semiarid Regions and Their Antagonism Against the Microorganisms That Cause Pepper Wilt. *Journal Of Fungi*, 11(3), 174. https://doi.org/10.3390/jof11030174
- Sánchez-Montesinos, B., Santos, M., Moreno-Gavíra, A., Marín-Rodulfo, T., Gea, F. J., & Diánez, F. (2021). Biological Control of Fungal Diseases by Trichoderma aggressivum f. europaeum and Its Compatibility with Fungicides. *Journal Of Fungi*, 7(8), 598. https://doi.org/10.3390/jof7080598
- Umaña-Castro, J., Orozco-Cayasso, S., Umaña-Castro, R., & Molina-Bravo, R. (2018). Identificación molecular y características fisiológicas de aislamientos de *Trichoderma* para el biocontrol de dos patógenos en la piña. *Revista de Ciencias Ambientales*, *53*(1), 125. https://doi.org/10.15359/rca.53-1.7
- White, T., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal rna genes for phylogenetics. En *Elsevier eBooks* (pp. 315-322). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Caracterización de compostas locales como insumo en la transición hacia sistemas sostenibles de producción de frijol de temporal en Zacatecas

Miguel Márquez Madrid[1], Ricardo David Valdez Cepeda[1], Fidel Blanco Macias[1], Arturo Salaises Chairez

Resumen

Los suelos de la región frijolera de Zacatecas presentan bajos contenidos de materia orgánica y predominio de condiciones alcalinas, mientras que la producción convencional de frijol de temporal depende en gran medida de insumos externos. En este contexto, los productores elaboran compostas con estiércol bovino y residuos vegetales, aunque existe poca información sobre su calidad. El objetivo fue caracterizar compostas locales y analizar su potencial como insumos orgánicos en la transición hacia sistemas sostenibles de producción de frijol de temporal. Durante 2021 se recolectaron ocho muestras procedentes de igual número de comunidades de cinco municipios de Zacatecas. Se determinaron nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, sodio, materia orgánica, relación C/N, pH y conductividad eléctrica, y se calcularon estadísticas descriptivas. Las compostas presentaron, en promedio, 22.41 % de materia orgánica, 1.24 % de nitrógeno, 1.59 % de potasio, 3.57 % de calcio, relación C/N de 13.0, pH de 8.19 y conductividad eléctrica de 2.76 dS m^{-1}. Los mayores coeficientes de variación correspondieron a fósforo, sodio, azufre y potasio. La caracterización permitió reconocer su potencial como fuentes de materia orgánica y nutrimentos; sin embargo, su alcalinidad, contenido de sales y heterogeneidad limitan su recomendación generalizada. En las condiciones evaluadas, estas compostas no constituyen por sí solas una práctica suficiente para avanzar hacia sistemas sostenibles de producción; para fortalecer su contribución potencial, es indispensable seleccionar estiércol bovino y residuos vegetales de buena calidad, así como controlar la humedad, aireación, remoción y maduración durante el compostaje.

Palabras clave: frijol de temporal; composta bovina; materia orgánica; sostenibilidad agrícola.

Abstract

Soils in the bean-producing region of Zacatecas have low organic matter contents and predominantly alkaline conditions, while conventional rainfed bean production depends heavily on external inputs. In this context, producers prepare composts using cattle manure and plant residues, although limited information is available regarding their quality. The objective of this study was to characterize local composts and analyze their potential as organic inputs in the transition toward sustainable rainfed bean production systems. During 2021, eight samples were collected from an equal number of communities located in five municipalities of Zacatecas. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, sodium, organic matter, C/N ratio, pH, and electrical conductivity were determined, and descriptive statistics were calculated. On average, the composts contained 22.41% organic matter, 1.24% nitrogen, 1.59% potassium, and 3.57% calcium, with a C/N ratio of 13.0, a pH

[1] Universidad Autónoma Chapingo, Centro Académico Regional, Zacatecas. Tramo Zacatecas-Fresnillo, km 24.5, Carretera Panamericana. Morelos Zac. México. C. P. 98100 Correo: mimarquezmadrid@gmail.com; vacrida@gmail.com; fiblama63@gmail.com; [2]Consultor independiente. Correo: arturo@botlab.mx

of 8.19, and an electrical conductivity of 2.76 dS m^{-1}. The highest coefficients of variation were observed for phosphorus, sodium, sulfur, and potassium. The characterization showed their potential as sources of organic matter and nutrients. However, their alkalinity, salt content, and heterogeneity limit a generalized recommendation for their use. Under the evaluated conditions, these composts alone do not constitute a sufficient practice to advance toward sustainable production systems. To strengthen their potential contribution, it is essential to select high-quality cattle manure and plant residues and to properly control moisture, aeration, turning, and maturation during composting.
Keywords: rainfed bean; cattle manure compost; organic matter; agricultural sustainability.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia alimentaria, agrícola y económica en México. Se cultiva en distintas regiones del país y es un producto de consumo humano directo, además de una fuente accesible de proteínas y minerales para la población mexicana, según el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019). En 2024 ocupó el tercer lugar nacional en superficie sembrada entre los cultivos cíclicos y perennes, con una participación de 7.1 %, después del maíz grano y de los pastos y praderas. Asimismo, aportó 2.3 % del valor de la producción agrícola nacional, equivalente a 19,432 millones de pesos, según los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2026).

Durante el año agrícola 2025 se cosecharon en México 1.53 millones de hectáreas de frijol, de las cuales 82.4 % correspondió al ciclo Primavera-Verano y 17.6 % al ciclo Otoño-Invierno. En el ciclo Primavera-Verano predominó el cultivo de temporal, que concentró 95.2 % de la superficie cosechada. La producción nacional alcanzó 1.34 millones de toneladas, con un rendimiento medio de 0.89 t ha^{-1} (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2026). Estos resultados representaron una recuperación respecto a 2023, cuando una de las sequías más severas de las últimas cuatro décadas redujo la disponibilidad de humedad y llevó la superficie sembrada y cosechada a sus niveles más bajos desde 1980 (FIRA, 2026).

Zacatecas ocupa una posición estratégica en la producción nacional de frijol. En 2025 se sembraron 635,728 ha, equivalentes a 41.2 % de la superficie nacional destinada al cultivo, concentradas en el ciclo Primavera-Verano. La entidad produjo 487.5 mil toneladas, que representaron 36.4 % del volumen nacional, con un rendimiento medio de 0.77 t ha^{-1}. Además, 91.1 % de la producción estatal se obtuvo bajo condiciones de temporal y Zacatecas aportó 52.2 % del volumen nacional de frijol producido bajo este régimen de humedad durante dicho ciclo (SIAP, 2026).

La importancia de Zacatecas para el abastecimiento nacional contrasta con la vulnerabilidad de su sistema productivo, debido a la elevada dependencia del temporal. La producción y el rendimiento están condicionados por la cantidad y distribución de la precipitación y por la capacidad del suelo para captar, infiltrar, almacenar y suministrar humedad durante las etapas críticas del cultivo (FIRA, 2026). En la entidad, la irregularidad de las lluvias, las sequías recurrentes, la baja fertilidad del suelo, la limitada adopción tecnológica y la presencia de plagas y enfermedades restringen la producción de frijol (Cid *et al*., 2021). Esta

vulnerabilidad puede intensificarse por las condiciones de los suelos agrícolas de la región frijolera de Durango y Zacatecas, donde se han documentado bajos contenidos de materia orgánica y predominio de pH alcalino (Acosta-Díaz *et al*., 2011; Márquez-Madrid *et al*., 2023).

La fertilidad del suelo es esencial en sistemas de temporal, donde la disponibilidad de agua limita la producción agrícola. En estos sistemas, la materia orgánica mejora propiedades como la estructura, porosidad, infiltración, retención de humedad, actividad biológica y disponibilidad de nutrimentos (Bot & Benites, 2005). Por ello, en frijol de temporal, el contenido de materia orgánica constituye un indicador importante de la capacidad productiva y resiliencia del suelo.

El pH del suelo es otro indicador clave de fertilidad, ya que influye en la disponibilidad de nutrimentos, la actividad microbiana y los procesos asociados con la nutrición vegetal. En términos generales, los suelos cercanos a la neutralidad favorecen la disponibilidad de la mayoría de los nutrimentos (O'Kennedy, 2022; Khaled & Sayed, 2023); esta condición es relevante para el cultivo de frijol.

En la región frijolera de Durango y Zacatecas se han documentado limitantes edáficas asociadas con bajos contenidos de materia orgánica. En un estudio con 234 muestras de suelo, 72 de Durango y 162 de Zacatecas, solo 20 % presentó niveles adecuados para una buena producción agrícola, mientras que el 31 %, 29 % y 20% mostró valores moderadamente bajos, bajos y muy bajos, respectivamente (Márquez-Madrid *et al.*, 2023). Esta condición puede reducir la productividad, la retención de humedad y la sostenibilidad del frijol de temporal (Bot & Benites, 2005).

El mismo estudio mostró que solo 37 % de los suelos presentó un pH adecuado para favorecer mejores rendimientos, dentro del rango de 5.5 a 7.3. En contraste, predominó la alcalinidad, ya que 26 % de las muestras tuvo pH moderadamente alcalino y 33 % presentó valores alcalinos o extremadamente alcalinos, superiores a 8.1 (Márquez-Madrid *et al.*, 2023). Esta condición puede limitar la disponibilidad de nutrimentos, especialmente micronutrimentos como hierro, zinc, manganeso y cobre, afectando el crecimiento del cultivo y la eficiencia del manejo nutrimental (O'Kennedy, 2022; Khaled & Sayed, 2023).

La baja disponibilidad de materia orgánica y el predominio de suelos alcalinos en áreas agrícolas de Zacatecas evidencian la necesidad de fortalecer prácticas que mejoren la fertilidad del suelo, conserven humedad y favorezcan sistemas de producción más sostenibles. Entre las alternativas de manejo destacan la rotación de cultivos, la labranza mínima, la cobertura con residuos de cosecha, el establecimiento de cultivos de cobertura y la aplicación de enmiendas orgánicas. En particular, la incorporación de materia orgánica se reconoce como una de las prácticas más relevantes para mejorar las propiedades del suelo y fortalecer su capacidad productiva (von Cossel *et al.*, 2025).

En este contexto, la composta representa un insumo orgánico de interés para el cultivo de frijol de temporal en Zacatecas. La composta es producto de la transformación biológica de residuos orgánicos y puede aportar materia orgánica estabilizada, nutrimentos y compuestos

que favorecen la actividad biológica del suelo. Sin embargo, su valor agronómico depende de su calidad, madurez, estabilidad, composición química, relación C/N, conductividad eléctrica y grado de fitotoxicidad, por lo que su caracterización resulta indispensable antes de recomendar su uso generalizado en campo (Bernal *et al.,* 2009; Manono, 2026; Varnero *et al.,* 2007).

El uso de composta puede favorecer el reciclaje de residuos locales y reducir gradualmente la dependencia de insumos externos. No obstante, su calidad y potencial agronómico varían según los materiales empleados y el manejo del proceso de compostaje. Por ello, es necesario caracterizar su composición química y nutrimental antes de incorporarla al manejo de la fertilidad del suelo, ya que compostas inmaduras o aplicadas en exceso pueden ocasionar fitotoxicidad, salinidad o desbalances nutrimentales (Manono, 2026).

En sistemas convencionales de frijol de temporal, la incorporación de composta no implica por sí sola una transformación completa del sistema productivo; sin embargo, puede constituir una práctica relevante dentro de procesos graduales de transición hacia esquemas más sostenibles, especialmente cuando se articula con estrategias de conservación del suelo, manejo de residuos, rotación de cultivos y uso eficiente de insumos.

Existe información limitada sobre la composición nutrimental de las compostas elaboradas localmente por productores de frijol de temporal en Zacatecas. Esta falta de información limita la posibilidad de valorar su calidad como insumo orgánico y su pertinencia agronómica en suelos con baja materia orgánica y condiciones alcalinas. Por ello, su caracterización resulta necesaria para valorar su calidad y pertinencia como insumo orgánico, así como para generar bases para futuras investigaciones sobre sus efectos en el suelo y la productividad del cultivo

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las compostas locales elaboradas por productores de frijol de temporal en Zacatecas y analizar su potencial como insumos orgánicos en la transición hacia sistemas sostenibles de producción.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal con ocho compostas locales procedentes de unidades de producción de frijol de temporal. Durante 2021 se recolectaron muestras en ocho comunidades pertenecientes a cinco municipios de la región frijolera del estado de Zacatecas: Río Grande, Ojocaliente, Villa de Cos, Fresnillo y Zacatecas. Cada muestra correspondió a un predio diferente y estuvo asociada con un productor distinto. En cada unidad de producción se tomaron ocho submuestras aleatorias, distribuidas en distintos puntos y profundidades de la pila de composta, con las cuales se integró una muestra compuesta. Posteriormente, esta fue enviada al Laboratorio Nacional de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, ubicado en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para determinar su contenido nutrimental.

Las muestras de composta se obtuvieron de productores que están integrados en Módulos de Intercambio de Conocimientos e Innovación, quienes recibieron capacitación dentro de la Estrategia de Acompañamiento Técnico del Programa de Producción para el Bienestar. La elaboración de compostas se realizó en patios o solares familiares, mediante pilas formadas

con capas alternas de rastrojo seco de maíz y estiércol bovino, hasta alcanzar una altura aproximada de 1.5 a 2.0 m. La humedad se mantuvo cercana a 60 % mediante la aplicación de agua a través de tubos de PVC perforados colocados en el interior de las pilas. En algunos casos, el material se removió cada 15 días durante tres meses. Las compostas se evaluaron después de 12 semanas y se consideraron operativamente estabilizadas cuando su temperatura fue similar a la del ambiente, según el criterio indicado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022).

En este trabajo se presentan únicamente los resultados de nitrógeno total (%), fósforo (%), potasio (%), calcio (%), magnesio (%), azufre (%), sodio (%), relación C/N, materia orgánica (%), pH y conductividad eléctrica (dS m^{-1}). Para su determinación, el nitrógeno total se analizó mediante el método de Micro Kjeldahl; el fósforo, por espectrofotometría; el potasio, calcio, magnesio y sodio, por absorción atómica; y el azufre, por turbidimetría. La materia orgánica y la relación C/N se obtuvieron mediante cálculo a partir de los resultados analíticos correspondientes. El pH y la conductividad eléctrica se determinaron con potenciómetro y conductivímetro, en una suspensión composta:agua de 1:2 y 1:5, respectivamente.

El análisis estadístico se realizó con el programa Minitab®16. Para cada variable se calcularon la media, el error estándar, la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación.

Resultados y discusión

Las compostas locales utilizadas por productores de frijol de temporal en Zacatecas mostraron una composición química y nutrimental variable (Cuadro 1). Los mayores coeficientes de variación se observaron en fósforo, sodio, azufre y potasio, con valores de 113.75, 103.38, 75.71 y 70.17 %, respectivamente, lo que indica una marcada heterogeneidad entre muestras (Cuadro 2). Esta variabilidad puede relacionarse con diferencias en los materiales utilizados, proporciones de estiércol y residuos vegetales, grado de descomposición, humedad, aireación y tiempo de maduración. La literatura señala que la calidad de la composta puede variar por la materia prima, grado de descomposición, humedad, nutrientes, sales, pH y presencia de contaminantes (Bernal *et al*., 2009).

Cuadro 1. Composición química y nutrimental de compostas locales utilizadas por productores de frijol de temporal en Zacatecas

Muestra	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)	Azufre (%)	Sodio (%)	Relación C/N	Materia Orgánica (%)	pH	Conductividad Eléctrica (dS m^{-1})
1	1.13	0.0004	0.78	1.84	0.39	0.77	0.06	14.41	24.85	7.21	2.62
2	1.73	0.40	0.76	6.15	0.79	0.68	0.09	11.07	19.08	7.81	2.74
3	0.72	0.004	0.69	1.18	0.38	0.22	0.08	9.00	15.52	8.33	1.97
4	1.51	0.19	0.45	3.47	0.5	0.63	0.05	10.70	18.45	7.39	1.68
5	1.63	0.004	3.52	4.15	0.92	0.03	0.32	25.63	44.19	9.45	4.13
6	1.49	0.004	2.74	4.20	0.91	0.11	0.29	14.51	25.02	8.43	3.97

7	1.20	0.34	2.10	2.37	0.51	0.17	0.14	9.27	15.98	7.99	3.10
8	0.50	0.47	1.79	5.22	0.64	0.80	0.71	9.37	16.16	8.89	1.89

Fuente: Elaboración propia.

El contenido promedio de nitrógeno fue de 1.24 %, con valores de 0.50 a 1.73 % (Cuadros 1y 2). Estos valores se encuentran dentro del intervalo reportado para compostas de estiércol bovino, cuyo contenido de N puede variar de 0.8 a 2.0 % según North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services (NCDA&CS, 2026). Asimismo, el promedio obtenido fue superior al reportado por Damián-Nava *et al*. (2026) en compostas bovinas, quienes registraron valores de 0.46 y 0.41 % para frecuencias de remoción diaria y cada tercer día, respectivamente. Esto sugiere que algunas compostas locales pueden aportar nitrógeno al suelo donde se cultiva el frijol de temporal; sin embargo, su disponibilidad dependerá de la mineralización de la materia orgánica, la relación C/N y el grado de madurez del material compostado (Bernal *et al.*, 2009).

El fósforo presentó una concentración media de 0.18 %, aunque con alta variabilidad entre muestras (Cuadros 1 y 2). Este valor se encuentra dentro del intervalo reportado para compostas de estiércol de bovinos cárnicos, en las cuales el contenido de P puede variar de 0.1 a 0.5 % (NCDA&CS, 2026). En comparación, Damián-Nava *et al.* (2026) reportaron una concentración de 0.07 % de P en composta de estiércol bovino, valor inferior al promedio observado en las compostas locales evaluadas. No obstante, la amplia variación entre muestras indica que la concentración de P podría hacerse más consistente si se mejora la selección de los ingredientes, especialmente del estiércol utilizado, y se controla mejor el proceso de compostaje, ya que la calidad nutrimental de los materiales elaborados con estiércoles depende de las características del insumo, del manejo del proceso y del grado de madurez alcanzado (Bernal *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Estadística descriptiva de los parámetros químicos y nutrimentales evaluados en compostas locales utilizadas por productores de frijol de temporal en Zacatecas

Parámetro	**Media**	**EE**	**DE**	**Varianza**	**CV (%)**
Nitrógeno (%)	1.24	0.16	0.44	0.19	35.47
Fósforo (%)	0.18	0.07	0.20	0.04	113.75
Potasio (%)	1.59	0.40	1.12	1.25	70.17
Calcio (%)	3.57	0.60	1.702	2.90	47.63
Magnesio (%)	0.63	0.08	0.22	0.05	34.96
Azufre (%)	0.43	0.11	0.32	0.10	75.71
Sodio (%)	0.22	0.08	0.22	0.05	103.38
Relación C/N	13.00	1.96	5.55	30.84	42.74
Materia Orgánica (%)	22.41	3.39	9.58	91.68	42.73
pH	8.19	0.27	0.75	0.56	9.16
Conductividad eléctrica (dS m^{-1}).	2.76	0.33	0.93	0.86	33.59

Nota: EE = error estándar; DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.
Fuente: Elaboración propia con base en los datos del Cuadro 1.

El potasio presentó una media de 1.59 % y un intervalo de 0.45 a 3.52 % (Cuadros 1 y 2), por lo que constituyó uno de los nutrimentos con mayor potencial agronómico; la muestra 5

registró la concentración más alta. El promedio se ubicó dentro del intervalo de composta bovina lechera, aunque la muestra 5 lo superó ampliamente (NCDA&CS, 2026). Además, fue mayor que las concentraciones de 0.27 y 0.29 % encontradas por Damián-Nava *et al*. (2026) en compostas bovinas con remoción diaria y cada tercer día, respectivamente. Las diferencias observadas reflejan la influencia de los materiales empleados y del manejo del compostaje sobre la concentración final de K.

El calcio presentó la mayor concentración promedio, con 3.57 % y valores de 1.18 a 6.15 % (Cuadros 1 y 2). Este promedio superó los intervalos reportados por el NCDA&CS (2026) para compostas de estiércol de bovinos de carne y lecheros, de 0.6 a 1.4 % y de 0.9 a 1.7 %, respectivamente. También fue superior a los valores de 0.33 y 0.23 % registrados por Damián-Nava *et al.* (2026) en compostas bovinas con remoción diaria y cada tercer día, respectivamente. La amplitud registrada sugiere que la concentración de Ca estuvo influida por la composición de los materiales incorporados en cada pila.

El magnesio presentó una concentración media de 0.63 %, superior al intervalo de 0.2 a 0.4 % reportado para compostas de estiércol de bovinos productores de carne, pero dentro del rango de 0.3 a 0.7 % correspondiente a compostas de estiércol bovino lechero (NCDA&CS, 2026). Asimismo, superó los valores de 0.23 y 0.33 % registrados por Damián-Nava *et al.* (2026) en compostas bovinas con remoción diaria y cada tercer día, respectivamente. Estos resultados muestran que las compostas locales pueden representar una fuente complementaria de Mg para los suelos agrícolas.

El azufre presentó una concentración media de 0.43 %, con valores entre 0.03 y 0.80 %, y fue uno de los nutrimentos con mayor variación entre muestras. Este promedio fue superior a los intervalos reportados por el NCDA&CS (2026) para compostas de estiércol bovino; sin embargo, la amplitud observada indica que su aporte depende de los materiales empleados y del manejo del compostaje.

El sodio mostró alta variabilidad, con una media de 0.22 % y valores de 0.05 a 0.71 % (Cuadros 1 y 2). La muestra 8 registró el valor más alto. En comparación, Damián-Nava *et al.* (2026) reportaron valores equivalentes de 0.02 % en compostas bovinas, lo que indica que las compostas locales presentaron mayores concentraciones de Na. Si bien estos valores no permiten establecer por sí solos un riesgo de sodicidad, las compostas con mayor concentración de sodio deben manejarse con precaución, particularmente bajo aplicaciones reiteradas o dosis elevadas, y en condiciones de temporal donde la lixiviación de sales podría ser limitada.

El contenido promedio de materia orgánica fue de 22.41 %, con valores de 15.52 a 44.19 % (Cuadros 1 y 2); la muestra 5 presentó la mayor concentración. Este promedio superó los valores de 16.9 y 11.9 % reportados por Damián-Nava *et al*. (2026) en compostas bovinas con remoción diaria y cada tercer día, respectivamente. Los resultados son relevantes porque 80 % de los suelos evaluados en la región frijolera de Durango y Zacatecas presentó contenidos de materia orgánica moderadamente bajos, bajos o muy bajos (Márquez-Madrid *et al.*, 2023). Por ello, las compostas locales pueden constituir una fuente de materia orgánica para los suelos frijoleros con esta limitante.

La relación C/N promedio fue de 13.0, con valores entre 9.0 y 25.63 (Cuadros 1 y 2). Este promedio se ubicó dentro del intervalo deseable de 10 a 30 establecido por University of Missouri Extension (MU Extension, 2026) y cinco de las ocho muestras cumplieron este criterio. Por su parte, Damián-Nava *et al.* (2026) reportaron relaciones C/N de 16.8 y 21.3 en compostas bovinas con remoción cada tercer día y diaria, respectivamente, lo que confirma que este indicador puede variar según las materias primas y el manejo del proceso de compostaje.

El pH promedio de las compostas locales fue de 8.19, con valores entre 7.21 y 9.45, lo que evidencia una tendencia alcalina (Cuadros 1 y 2). Este promedio fue superior al pH final de 7.8 reportado por Damián-Nava *et al.* (2026) en compostas de estiércol bovino. En la región frijolera de Durango y Zacatecas, esta característica requiere atención, debido a que 26 % de los suelos son moderadamente alcalinos y 33 % alcalinos o extremadamente alcalinos (Márquez-Madrid *et al*., 2023). La aplicación de compostas con pH elevado debe realizarse con cautela, ya que en condiciones alcalinas disminuye la disponibilidad de micronutrimentos como Fe, Mn, Zn y Cu (Khaled y Sayed, 2023).

La conductividad eléctrica promedio fue de 2.76 dS m^{-1}, con valores entre 1.68 y 4.13 dS m^{-1} (Cuadros 1 y 2), lo que refleja diferencias en la concentración de sales solubles entre las compostas. Como referencia, López-Fernández *et al.* (2018) reportaron valores de 11.4 y 7.7 dS m^{-1} en compostas de estiércol bovino sometidas a ventilación manual y mediante tubos perforados, respectivamente. En los sistemas de temporal de Zacatecas, las compostas con mayor conductividad eléctrica deben aplicarse con precaución, debido a que la limitada disponibilidad de agua podría reducir el lavado de sales y favorecer su acumulación en el suelo, particularmente con aplicaciones reiteradas o dosis elevadas.

De manera integrada, la muestra 5 presentó los valores más altos de materia orgánica, potasio, relación C/N, pH y conductividad eléctrica (Cuadro 1). Estas características indican un aporte potencial de materia orgánica y K, pero también posibles restricciones asociadas con su alcalinidad y contenido de sales solubles. Además, su elevada relación C/N podría relacionarse con menor madurez y una liberación más lenta del nitrógeno (Bernal *et al.,* 2009; MU Extension, 2026). En contraste, la muestra 4 presentó la menor conductividad eléctrica y uno de los contenidos más bajos de sodio, lo que sugiere un menor riesgo salino relativo.

En conjunto, las diferencias químicas y nutrimentales de las compostas evaluadas, principalmente en fósforo, sodio, azufre y potasio, indica que estos materiales no presentan una calidad homogénea. Aunque pueden aportar materia orgánica y nutrimentos al frijol de temporal en Zacatecas, su pH alcalino, conductividad eléctrica y contenidos contrastantes de sodio limitan su recomendación generalizada; por ello, en las condiciones actuales, no pueden considerarse por sí solas una práctica suficiente para contribuir a la transición hacia sistemas sostenibles de producción.

No obstante, los resultados respaldan la conveniencia de que los productores continúen elaborando compostas, pero mediante un proceso mejor controlado. Para ello, se recomienda seleccionar estiércol bovino de buena calidad, libre de materiales inertes o contaminantes, combinarlo en proporciones adecuadas con residuos vegetales y controlar aspectos clave como humedad, aireación, frecuencia de remoción y tiempo de maduración. Estas medidas

permitirían obtener compostas más homogéneas, estables y con mayor valor agronómico, debido a que su calidad depende de las materias primas, del manejo del proceso y del grado de madurez alcanzado (Bernal *et al*., 2009; Damián-Nava *et al*., 2026).

Conclusiones

Las compostas locales utilizadas por productores de frijol de temporal en Zacatecas presentan características químicas y nutrimentales que permiten reconocer su potencial como fuentes de materia orgánica y nutrimentos. Sin embargo, las diferencias entre muestras, principalmente en fósforo, sodio, potasio, pH, conductividad eléctrica y relación C/N, muestran la necesidad de obtener compostas con una composición y calidad agronómica más uniformes.

La caracterización de las compostas locales evidencia que, para mejorar y estandarizar su elaboración, es fundamental seleccionar estiércol bovino y residuos vegetales de calidad, además de controlar adecuadamente la humedad, la aireación, la frecuencia de remoción y el tiempo de maduración. Estas prácticas pueden favorecer la obtención de compostas más estables y adecuadas para su uso agrícola; sin embargo, en las condiciones evaluadas, su incorporación no constituye por sí sola una práctica suficiente para avanzar hacia sistemas sostenibles de producción.

Literatura Citada

- Bot, A., & Benites, J. (2005). *La importancia de la materia orgánica del suelo: Clave para un suelo resistente a la sequía y una producción sostenida de alimentos* (Boletín de Suelos de la FAO No. 80). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2019). *Producción de granos básicos y suficiencia alimentaria 2019-2024*. Cámara de Diputados. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/39ProduccionGranosB%C3%A1sicos.pdf
- Cid Ríos, J. Á., Reveles Hernández, M., Ramírez Cabral, N. Y. Z., Velásquez Valle, R., & Sánchez Gutiérrez, R. A. (2021). *Arreglos topológicos y densidades de siembra en el cultivo de frijol de riego en Zacatecas* (Folleto Técnico No. 110). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2026). *Panorama agroalimentario: Frijol 2026*. https://fira.gob.mx/InvYEvalEcon/EvaluacionIF
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos: 9. Composta*. Estrategia de Acompañamiento Técnico, Programa Producción para el Bienestar. https://www.gob.mx/agricultura/documentos/bioinsumos-transicion-agroecologica
- Márquez-Madrid, M., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, B., & Ramírez-Miranda, C. A. (2023). Materia orgánica y pH en suelos de la región frijolera de Durango y Zacatecas. En R. Reyes-Cárdenas, J. Martínez-Solís y N. Magaña-Lara (Eds.), *Memoria del XI Congreso Internacional y XXV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas* (pp. 549-550). Universidad Autónoma Chapingo.
- Acosta-Díaz, E., Hernández-Torres, I., Rodríguez-Guerra, R., Acosta-Gallegos, J. A., Pedroza-Flores, J. A., Amador-Ramírez, M. D., & Padilla-Ramírez, J. S. (2011). Efecto

de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2*(2), 249-263.

- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology, 100*(22), 5444-5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027
- Damián-Nava, A., Ramírez-Castorena, E., Vázquez-Villamar, M., Duran Trujillo, Y., Ortega-Acosta, S. Á., Damián-Díaz, P., & Vargas Alvarez, D. (2026). Physicochemical, nutritional and microbiological analysis of bovine and goat manure composts. *International Journal of Biology Sciences, 8*(2), 34-41. https://doi.org/10.33545/26649926.2026.v8.i2a.578
- Khaled, F., & Sayed, A. (2023). Soil pH and its influence on nutrient availability and plant health. *International Journal of Advanced Chemistry Research, 5*(2), 61-63. https://doi.org/10.33545/26646781.2023.v5.i2a.204
- López-Fernández, S., Serrato-Cuevas, R., Castelán-Ortega, O. A., & Avilés-Nova, F. (2018). Comparación entre dos métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 34*(2), 263-271. https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.07
- Manono, B. O. (2026). Compost quality and application rate as drivers of soil health, nutrient cycling, and crop performance: A critical review and practical rate-design framework. *Nitrogen, 7*(2), Article 58. https://doi.org/10.3390/nitrogen7020058
- O'Kennedy, S. (2022). Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth. *International Journal of Geography, Geology and Environment, 4*(2), 236-238.
- Varnero, M. T., Rojas, C., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 7*(1), 28-37. https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003
- von Cossel, M., Scordia, D., Altieri, M., & Gresta, F. (2025). Spotlight on agroecological cropping practices to improve the resilience of farming systems: A qualitative review of meta-analytic studies. *Frontiers in Agronomy, 7*, Article 1495846. https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1495846
- North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services. (2026). *Compost nutrient value*. Agronomic Services Division. https://www.ncagr.gov/divisions/agronomic-services/waste-analysis/compost-nutrient-value
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2026). *Avance de la producción agrícola*. Recuperado el 25 de julio de 2026, de https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- University of Missouri Extension. (2026). *Compost analysis*. Soil and Plant Testing Laboratory. https://extension.missouri.edu/programs/soil-and-plant-testing-laboratory/spl-compost-analysis

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Rendimiento de haba en verde (*Vicia faba* L.) y sus componentes bajo arreglos topológicos una y dos hileras

Celene Calderón-Tomás[1], José Alberto Salvador Escalante-Estrada[2], Ramón Díaz-Ruiz[3], Adrián Raymundo Quero-Carrillo[4]

Resumen

En México, es uno de los principales productores de haba en verde (*Vicia faba* L.), sin embargo, su rendimiento es inferior a los alcanzados en otros países productores. Donde características como el número, tamaño y peso de las vainas determinan el rendimiento comercial, por lo que se evaluó el efecto de dos arreglos topológicos: una hilera (1H; 8.3 plantas m^{-2}) y dos hileras (2H; 16.6 plantas m^{-2}) sobre la producción de haba en verde. El estudio se realizó en Montecillo, Texcoco, Edo. México, utilizando el cv. Cochinera morada. Se registraron variables fenológicas, climáticas y productivas, incluyendo radiación interceptada, longitud y ancho de vainas, número y peso de vainas por planta y por superficie. Los resultados mostraron que el arreglo 2H presentó una mayor radiación interceptada durante la etapa reproductiva, alcanzando una cobertura del dosel superior al 75%, lo que favoreció una mejor captación de recursos y una mayor productividad. Asimismo, las vainas producidas bajo este arreglo fueron más largas y anchas que las obtenidas con 1H. Sin embargo, conforme avanzaron los cortes, el número y peso de vainas disminuyeron debido principalmente a las bajas temperaturas registradas durante el llenado de vainas. Aunque el número de vainas por planta fue similar entre arreglos topológicos, el análisis por unidad de superficie mostró ventajas significativas para el arreglo 2H, debido a su mayor densidad de plantas. El rendimiento máximo se obtuvo en el primer corte, alcanzando aproximadamente 1.4 kg m^{-2} con 2H, valor superior al registrado con 1H (0.444 kg m^{-2}).

Palabras clave: clima templado, corte de vainas, morfología de vaina.

Abstract

Mexico is a major producer of green fava beans (*Vicia faba* L.), however, yields are lower than those achieved in other producing countries. Since characteristics such as pod number, size, and weight determine commercial yield, the effect of two planting arrangements single-row (1H; 8.3 plants m^{-2}) and double-row (2H; 16.6 plants m^{-2}) on green fava bean production was evaluated. The study was conducted in Montecillo, Texcoco, State of Mexico, using the 'Cochinera Morada' cultivar. Phenological, climatic, and production variables were recorded, including intercepted radiation, pod length and width, and the number and weight of pods per plant and per unit area. Results showed that the 2H arrangement intercepted more radiation during the reproductive stage, achieving canopy cover exceeding 75%, which

[1] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera Federal México-Texcoco Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, Edo. Méx. Correo electrónico: celene.cal.to@gmail.com
[2] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera Federal México-Texcoco Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, Edo. Méx. Correo electrónico: jasee@colpos.mx
[3] Colegio de Postgraduados Campus Puebla, Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Edo. Pue. Correo electrónico: dramon@colpos.mx
[4] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Carretera Federal México-Texcoco Km. 36.5 Montecillo, Texcoco, Edo. Méx. Correo electrónico: queroadrian@colpos.mx

favored better resource capture and higher productivity. Additionally, pods produced under this arrangement were longer and wider than those obtained with the 1H arrangement. However, as successive harvests progressed, pod number and weight declined, primarily due to low temperatures during pod filling and harvesting. Although the number of pods per plant was similar between the planting arrangements, the analysis per unit area revealed significant advantages for the 2H arrangement due to its higher plant density. Maximum yield was achieved during the first harvest, reaching approximately 1.4 kg m^{-2} with the 2H arrangement a value higher than that recorded with the 1H arrangement (0.444 kg m^{-2}).

Keywords: temperate climate, cutting pods, pod morphology.

Introducción

Las habas (*Vicia faba* L.) son fuente de carbohidratos y proteínas contenidas en su cotiledón, mientras que la testa contiene compuestos fenólicos, minerales y fibra dietética. En cultivares mexicanos se han descritos valores de fibra dietética hasta de 31%, los cuales reducen los niveles de colesterol, disminuyen la glucosa en sangre y normaliza los niveles de insulina, evita obesidad y ayuda a mejorar la función del intestino grueso (Herrera *et al.*, 2020). A nivel mundial los principales productores de haba para consumo en verde son Argelia (312 576 t), China (192 112 t), Egipto (172 093 t), Túnez (87 331 t) y Marruecos (84 307 t) (FAO, 2023). México ocupa el octavo lugar en producción de haba en verde con 53 806.9 t distribuidos en 10 estados de la República mexicana, donde los principales productores son el estado de Puebla (21 096.8 t), México (18 134.7 t) y Michoacán (8 678.8 t) (SIAP, 2024). El rendimiento a nivel nacional es de 6.45 t ha^{-1} sin embargo, países como Kazajstán, China, Túnez, Palestina y Libia el rendimiento es superior a las 13 t ha^{-1} (FAO, 2023). Pérez *et al*. (2015) reportan un rendimiento de haba de 11.36 t ha^{-1} el cual lo atribuyen a los componentes de la vaina y grano, como longitud, diámetro y espesor. Mientras que Alemu *et al*. (2017) en frijol lo atribuyen al número y peso de vainas por planta, lo cual coincide con Pérez *et al*. (2015) al evaluar el rendimiento de haba de 35 cultivares. Mientras que Pichardo-Riego *et al*. (2013) determinaron que la longitud de la vaina fluctuó entre 6.0 y 8.7 cm y osciló entre 20.1 y 20.9 mm de ancho. Estas características son importantes para la comercialización en vaina verde, debido a que el mercado consumidor prefiere un producto con vaina larga. Tales componentes del rendimiento por planta, pueden ser potencializados con el adecuado arreglo topológico (AT) y su densidad de plantas generada. El objetivo del estudio fue determinar el efecto del arreglo topológico a una y dos hileras sobre el rendimiento de haba en verde.

Materiales y métodos

Zona de estudio y diseño de tratamientos

La siembra de haba (*Vicia faba* L.) Cv. ¨Cochinera morada¨ de hábito indeterminado, se estableció en Montecillo Texcoco, Estado de México, (19° 29´ N y 98° 54´O), con altitud de 2250 m s. n. m., y clima templado (Cw), temperatura promedio de 15.4 °C y precipitación de 512 mm (García, 2004). El suelo presentó textura de tipo franco, pH 8.2, M.O. 2.6%, CE de 1.27 dS m^{-1} y N (NO3) de 50 ppm.

El cultivo de haba se estableció el 12 de julio de 2022. Los tratamientos fueron siembra a 1 hilera (1H) 30x80 cm y a dos hileras (2H) 30x40 cm con una densidad de 8.3 y 16.6 m^{-2},

respectivamente. El diseño experimental fue bloques al azar con 4 repeticiones cada bloque consistió de tres surcos de 5 m de longitud con orientación este a oeste.

Manejo del cultivo

La fertilización del cultivo fue 100-100-00 para N-P-K utilizando como fuentes urea y superfosfato de calcio triple, la aplicación fue en dos tiempos el 50% de N y el 100% de P se realizó a los 35 dds y el N restante a los 80 días después de la siembra (dds). Se realizaron riegos de auxilio a los 25, 50, 75 y 110 dds y la aplicación de Prozycar (2 g L^{-1}) y Oxicloruro de cobre (7 g L^{-1}) alternados cada 5 días para prevención de enfermedades: 4 aplicaciones en etapa vegetativa y dos en formación de botones.

Fenología y elementos del clima

Se registró los días a emergencia de las plantas (E), a formación de botones (FB), y los cortes de vainas (C). Durante el desarrollo del cultivo se registró: temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín) y precipitación (PP) de la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. El valor de radiación incidente se registró cuando el sol se encontraba en el zenit, con sensor lineal de quantum para obtener la radiación interceptada (RI, %) mediante la ecuación:

$$RI\ (\%) = \{(1 - \text{lectura inferior/lectura superior}) * 100\}$$ (Escalante *et al*., 2020)

Variables de estudio y su análisis

Se seleccionaron 10 matas de la parcela útil para realizar corte de vainas (C), los cortes se realizaron a intervalos de 7 días. En cada corte se obtuvo la longitud (LV) y ancho (AV) de vainas y se contabilizó el número (NV) y peso (PV) de vainas por mata. Con los datos obtenidos por mata se obtuvo el rendimiento por superficie. A las variables se les realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey con el paquete estadístico SAS ver. 9.4.

Resultados y discusión

Fenología y elementos del clima

La emergencia de las plantas se registró a los 10 dds, la formación de botones a los 50 dds y el período de cortes de ejote fue de los 87 a los 101 dds (Figura 1). Durante la fase vegetativa del cultivo la Tmáx fue de 24°C y la Tmín de 11 °C con precipitación acumulada de 326.7 mm. En la fase reproductiva de las plantas hasta el cuarto corte de vainas (C4) la Tmáx fue de 23.7°C y Tmín de 10.7 °C y PP de 95.1 mm. Tarapara *et al*. (2026) mencionan que, para la germinación, la temperatura ambiental mínima es de 7 °C, óptima 22 a 28 °C y máxima 36 °C, sin embargo, durante el período de corte de llenado y corte de vainas la Tmín osciló de los 5 a 8 °C, por lo que tuvo un efecto sobre el rendimiento de vainas.

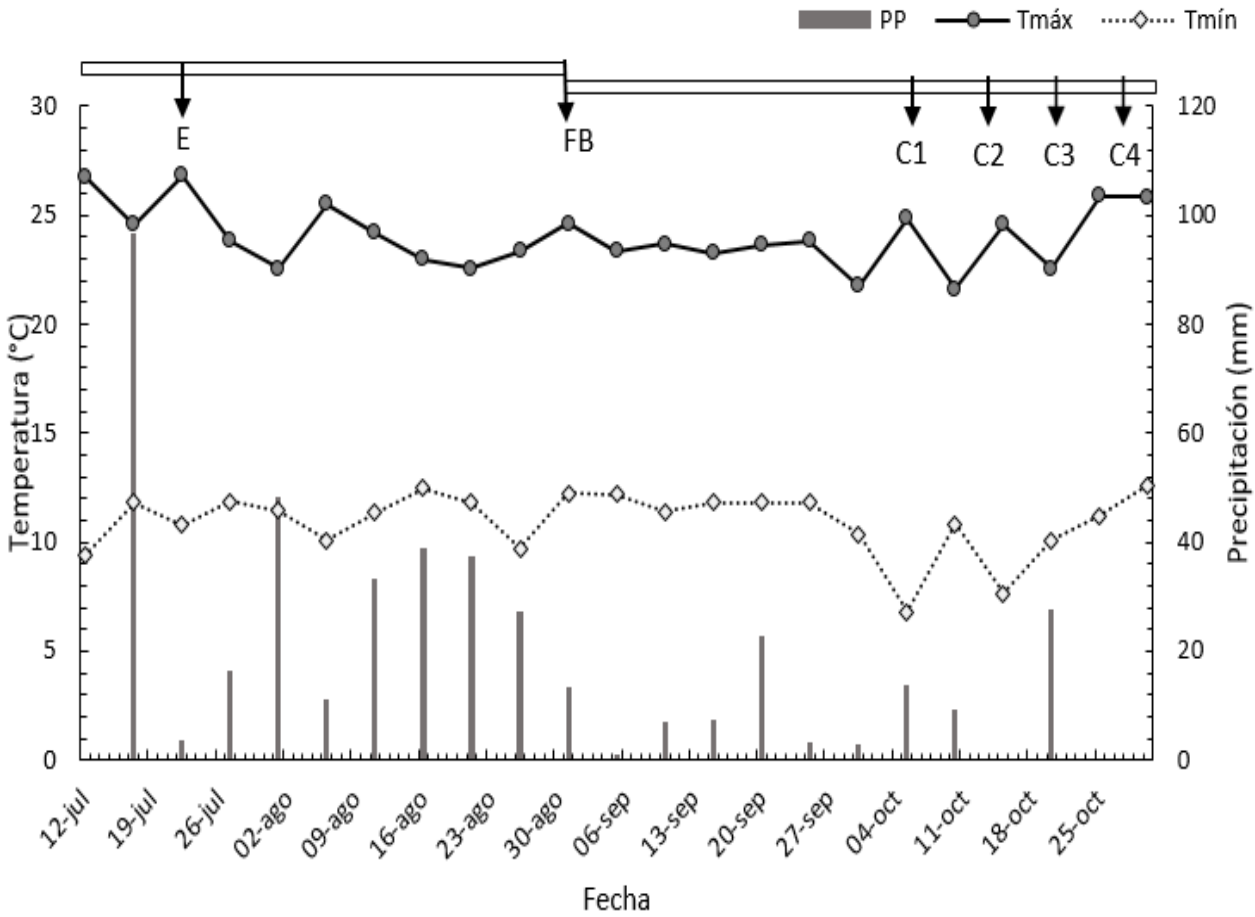


Figura 1. Climograma para el ciclo del cultivo de haba "Cochinera morada" en Montecillo Texcoco, Edo. México. Registro de la emergencia de las plantas (E), formación de botones (FB) y corte (C) de vainas, la temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) y precipitación (PP).

Radiación interceptada sobre el dosel de la planta durante su fase reproductiva

La radiación interceptada (RI) se representó bajo el modelo de segundo grado (Figura 2). La mayor cobertura del dosel vegetal fue significativamente alta a los 79 dds (RI=98%) con ambos AT. Sin embargo, con el AT 2H la RI fue mayor a 75.6% durante la etapa reproductiva del cultivo (hasta el C4 de vainas), estos resultados sugieren que la densidad generada con el AT 2H (16.6 plantas m^{-2}) puede alcanzar una cobertura mayor que con el AT 1H. Gezahegn *et al*. (2016) reportan que con AT 9x30 cm de las plantas en las etapas iniciales, provocó competencia entre las mismas y una insuficiente captación de luz interceptada y disminución en el rendimiento por planta. Sin embargo, aunque con el AT 2H se presenta una mayor competencia intraespecífica, la mayor cantidad de plantas por superficie permite mantener una mayor cobertura.

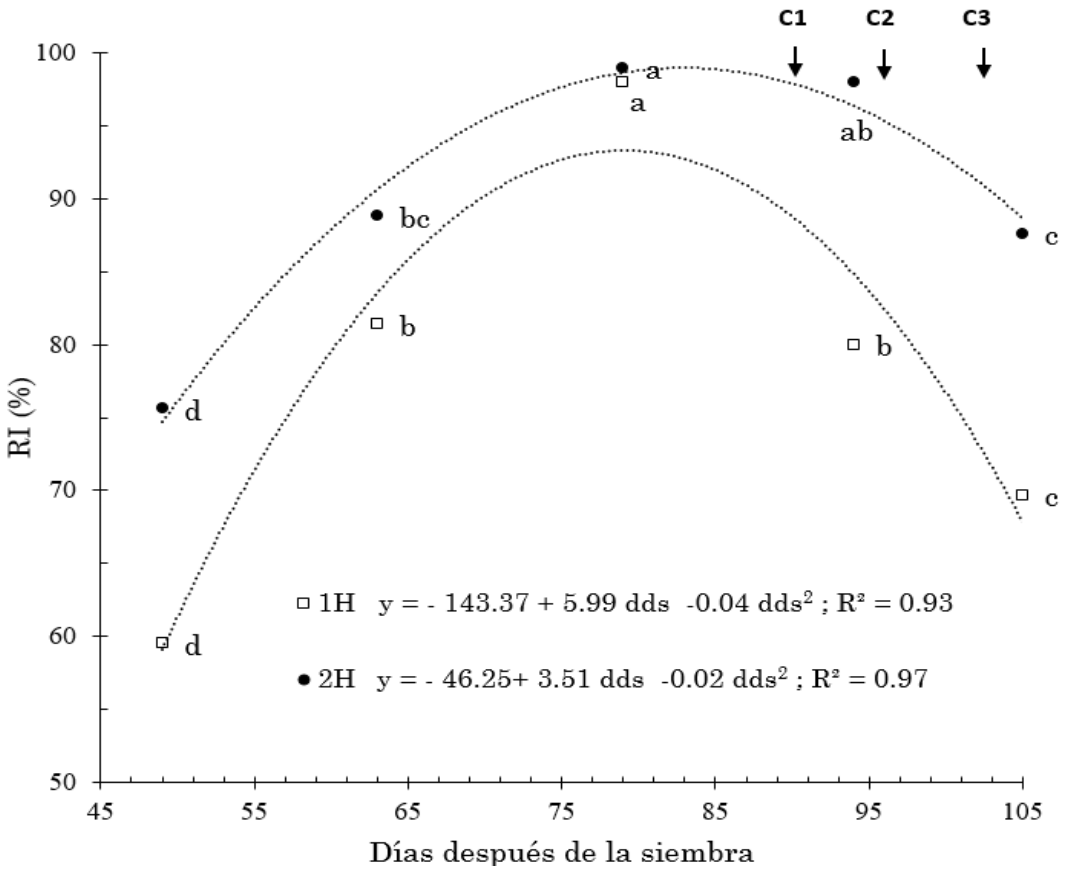


Figura 2. Radiación interceptada durante el corte de vainas de haba "Cochinera morada" en Montecillo Texcoco edo. México. Ciclo de cultivo año 2022 con arreglo topológico a 1 y 2 hileras, flechas indican momento de corte de vainas.

Longitud y ancho de la vaina de haba cv. Cochinera morada durante su período de corte

El análisis de varianza presentó diferencia significativa en la longitud de vainas (LV) entre C, AT y la interacción C*AT (Cuadro 1). El ancho de vainas (AV) presentó diferencia significativa entre C y AT. Para el número de vainas (NV) la diferencia fue significativa entre C. El peso de vainas (PV) mostró diferencia significativa en cada uno de los factores evaluados. La LV con el AT 2H fue significativo entre cortes, en el C1 la LV fue de 16.1 cm, y disminuyó gradualmente (Figura 3 A). Con el C2 el valor fue de 15 cm, 13.7 con el C3 y 11.7 cm en el último corte. Esta disminución gradual en la LV pudo deberse a factores como la temperatura optima de rendimiento, de Visser *et al*. (1990) mencionan que la temperatura, influye directamente en la tasa de desarrollo y en la eficiencia fisiológica de la planta (18-23°C).

Durante la etapa de madurez de vainas las temperaturas fueron inferiores a 8 °C (Figura 1), esta condición pudo limitar la acumulación de biomasa y desarrollo de las plantas, reflejando una disminución en el %RI (a partir de los 80 dds, Figura 2) por lo que la translocación de energía de las hojas hacia la formación y llenado de vainas generando la abscisión de las mismas y posiblemente la disminución gradual de la LV.

No obstante, el AT con 1H no fue significativo entre cortes (LV=12.6 cm) y no superó la media de la LV del AT 2H=14.1 cm (Figura 3 A). Lo cual concuerda con lo reportado por Gezahegn *et al*. (2019) quienes obtuvieron la mayor LV (6.86 cm) con el espaciamiento entre hileras (50 cm), comparado con el AT de 30 cm (LV=6.45 cm).

Cuadro 1. Análisis de varianza para las dimensiones de vainas y rendimiento de haba para los factores cortes y arreglos topológicos y su interacción

Factores	LV	AV	NV	PV
C	**	**	**	**
AT	**	**	ns	*
C*AT	**	ns	ns	**

** altamente significativo ($p<0.01$), * significativo ($p<0.05$), ns: no significativo. Número (NV) y peso de vainas (PV) y sus dimensiones longitud (LV) y ancho (AV).

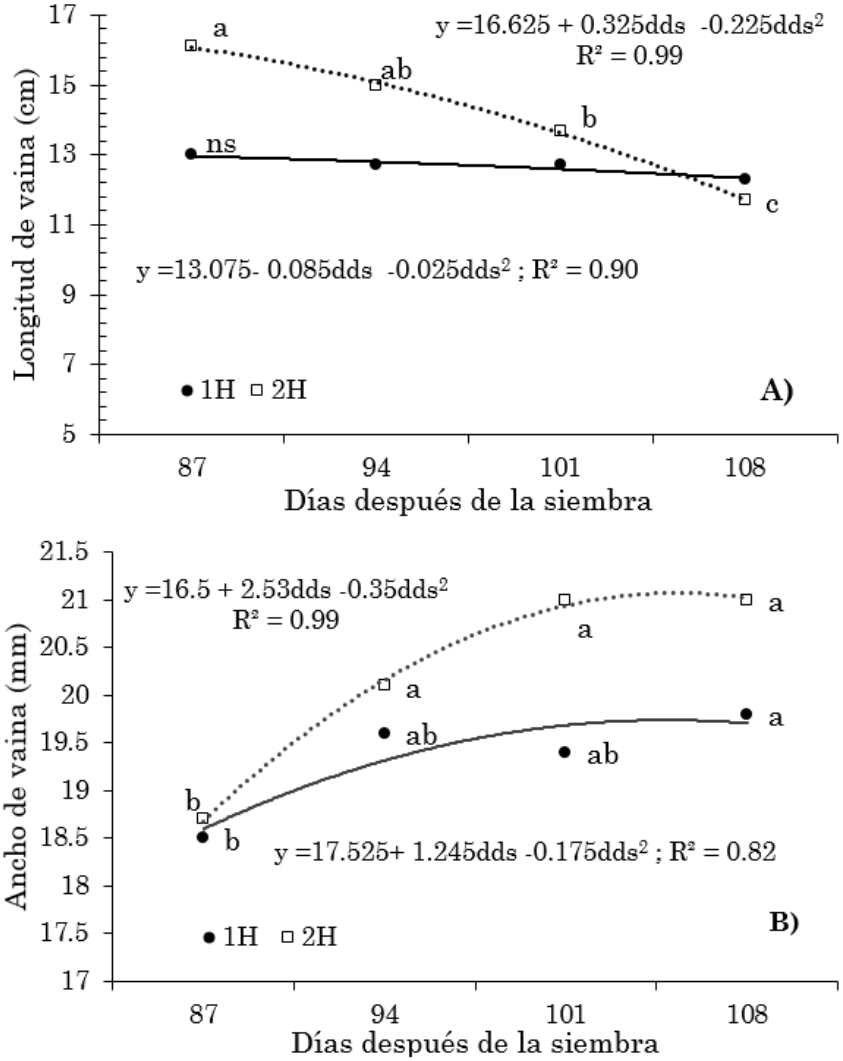


Figura 3. Longitud A) y ancho B) de vainas cv. Cochinera morada durante su período de corte.

El AV se expresó bajo la ecuación de polinomio de segundo grado (Figura 3 B) donde el incrementó de tamaño de la vaina fue a mayor velocidad con el AT 2H. En el C1 con el AT 2H fue de 18.7 y 18.5 mm con 1H, con el C2 el AV fue de 20.1 mm con 2H y 19.6 mm con 1H, en C3 el valor fue de 21 y 19.4 mm y con C4 fue de 21 mm y 19.8 mm para los AT 2H y 1H respectivamente.

Número y peso de vainas en cada corte

El NV y PV por mata decreció con el corte de ejotes realizado, lo cual se expresa en la ecuación lineal y=a-bx (Figura 4). Con C1 de ejote el NV en promedio fue de 7.5 vainas y PV de 138 g y a los 108 dds (C4) el NV fue de 2.3 y PV de 38.6 g.

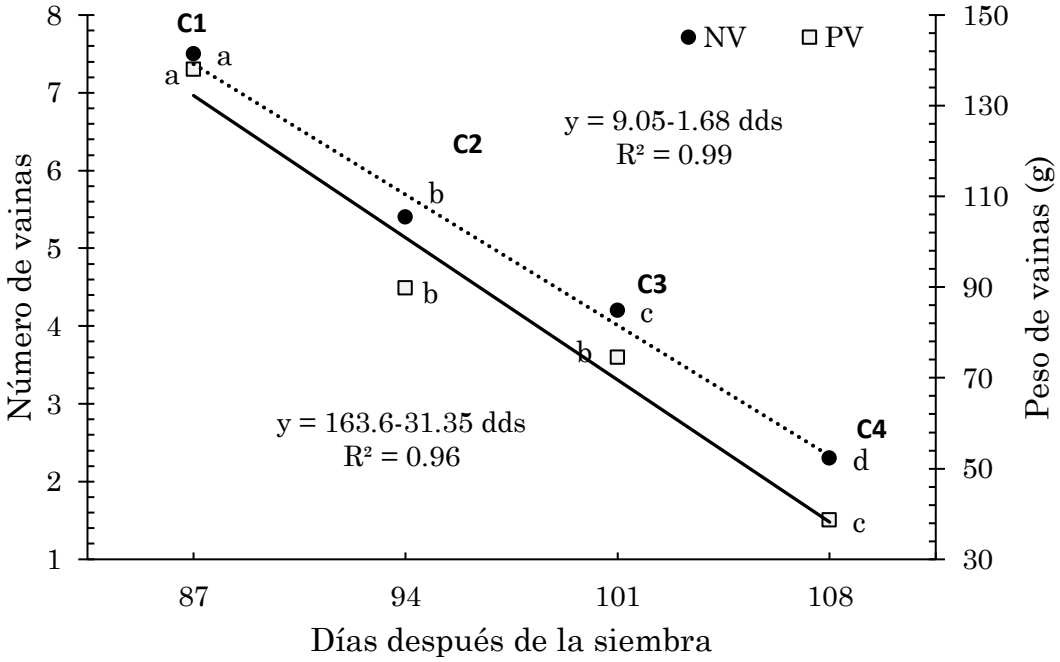
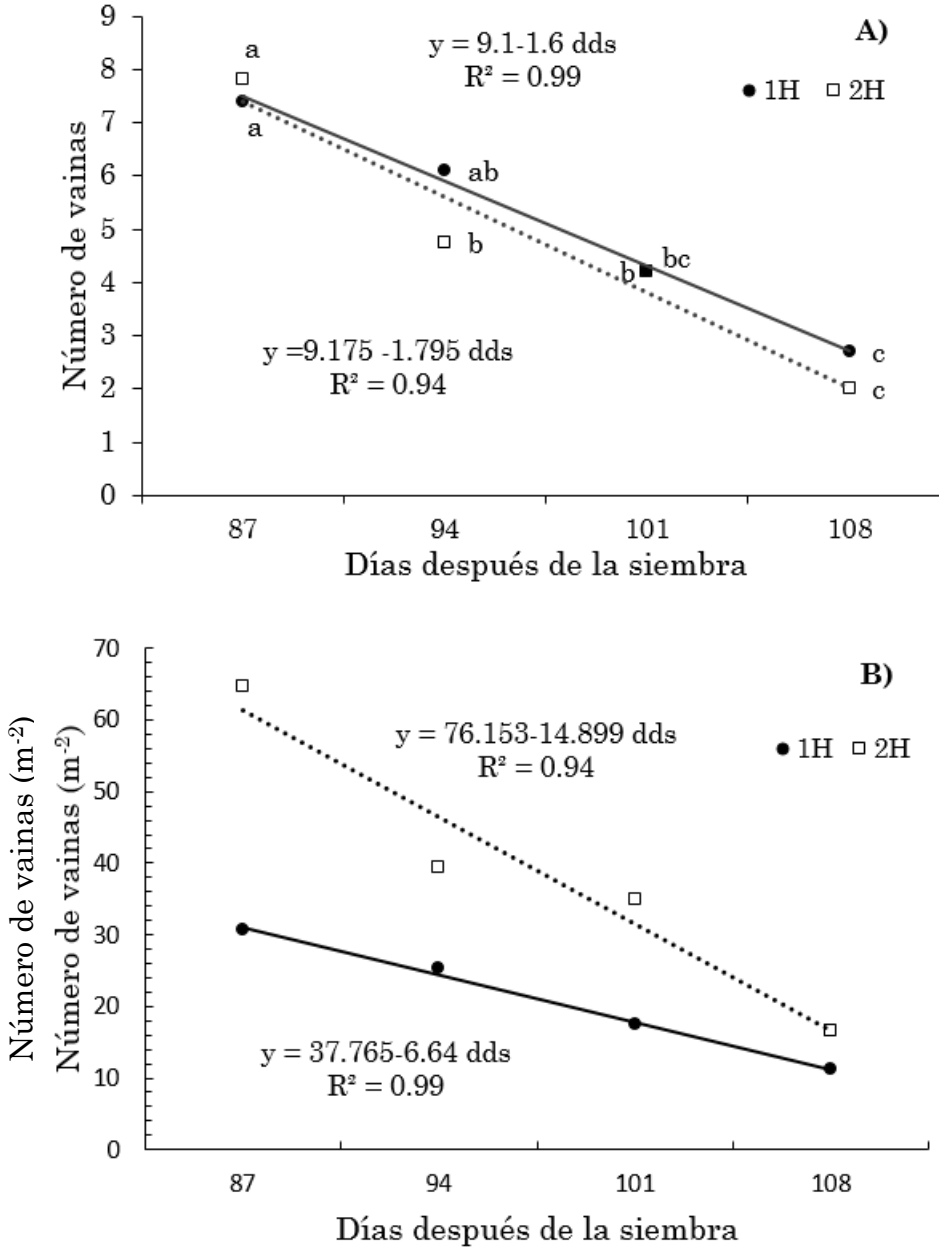


Figura 4. Media para el número y peso de vainas durante los cortes de ejote.

Número de vainas por mata y superficie (m^{-2}) con siembra a 1 y 2 hileras

A los 87 dds (C1) el NV por mata fue de 7.4 y 7.8 vainas con los AT 1H y 2H respectivamente (Figura 5 A), en el C2 con 1H fue de 6.1 y con 2H 4.7 vainas. En el C3 ambos AT presentaron 4.2 vainas por mata y con C4 2.7 y 2 vainas con los AT 1H y 2H respectivamente. Estos resultados coinciden con lo reportado por Pérez *et al*. (2015) en su trabajo realizado en tres localidades del Edo. México con 35 variedades de haba, establecidos bajo AT 80 y 40 cm (1H) determinaron un rendimiento de 19 a 27.5 número de vainas por planta en un solo corte. Sin embargo, con el análisis por superficie el NV es significativamente mayor con el AT 2H (Figura 5 B). Con el C1 el NV fue de 64.7 y 30.7 vainas m^{-2} con 2H y 1H respectivamente, en el C2 el NV con 2H fue de 39.4 y con 1H de 25.3 vainas m^{-2}, el AT 2H en el C3 duplicó el NV respecto a 1H y en el C4 el aumento fue del 48% respecto a 1H.



F**igura 5**. Número de vainas de haba cv. Cochinera morada A) por mata y B) por superficie de cada corte realizado.

Rendimiento de vaina por mata y superficie (m^{-2}) con siembra a 1 y 2 hileras

El rendimiento de haba por mata en el C1 (87 dds) el rendimiento fue de 106.9 g con el AT 1H y de 169 g con 2H (Figura 6 A), el C2 el PV por planta fue de 93.8 g y 85.8 g para 1H y 2H respectivamente. El C3 presentó 73.4 y 75.9 g con los AT 1H y 2H y en el C4 el valor fue de 45.4 g con 1H y 32 g con 2H.

El PV por superficie fue significativo con 2H (Figura 6 B), en el C1 el rendimiento de vainas fue de 1404.8 g m^{-2}, en el C2 el rendimiento fue de 713 g m^{-2}, y con los cortes 3 y 4 el peso de vainas fue de 630.4 y 266 g m^{-2} respectivamente. Con 1H el rendimiento fue de 444.8 g m^{-2} en el C1, de 390.3 g m^{-2} con el C2 y de 305.4 g m^{-2} y 189.8 g m^{-2} con los C3 y C4 respectivamente.

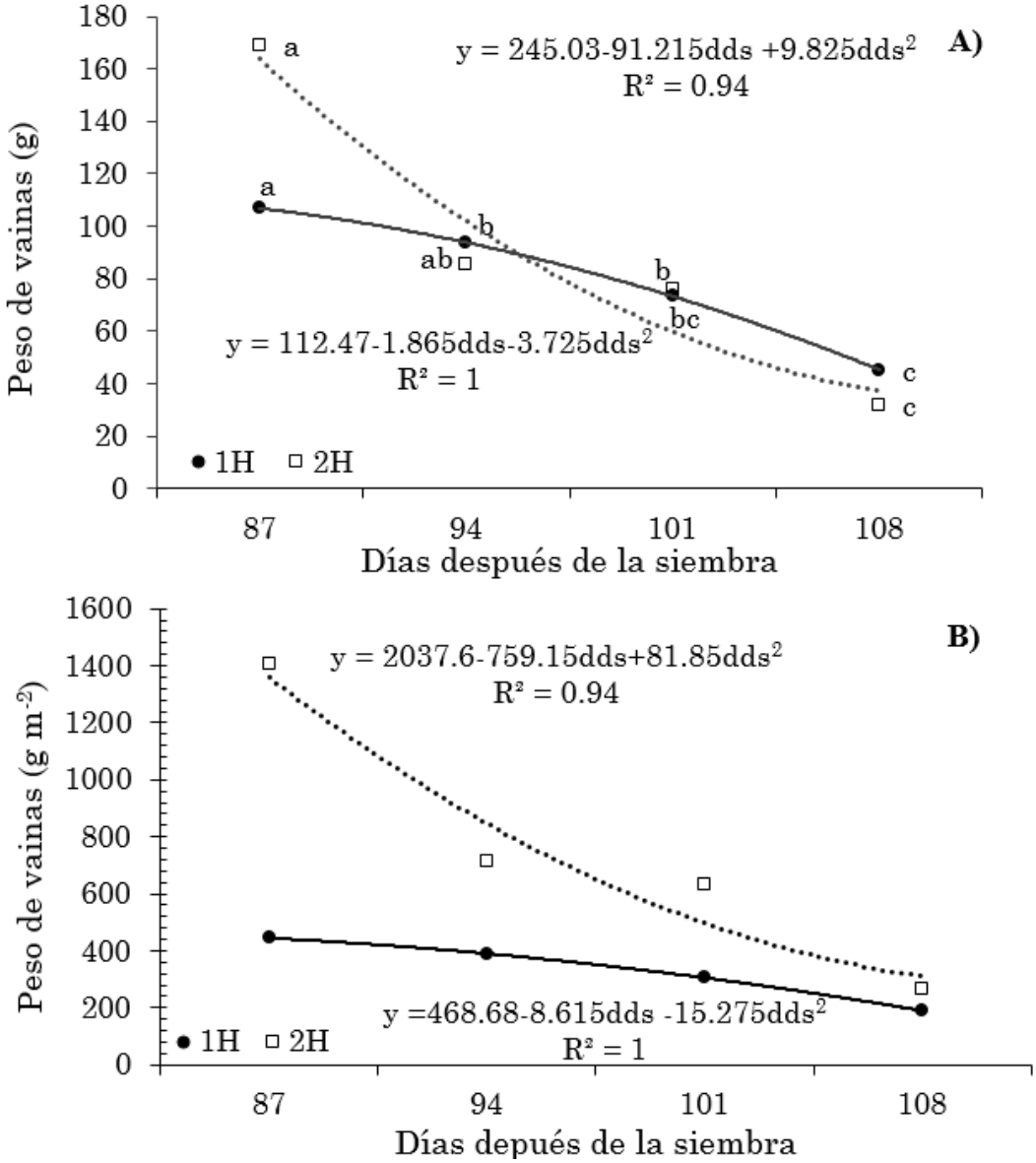


Figura 6. Rendimiento de haba cv. Cochinera morada A) por planta y B) por superficie.

Conclusiones

El arreglo topológico 2 hileras favoreció una mayor intercepción de radiación durante la etapa reproductiva, lo que se relacionó con un mejor desarrollo de las vainas. El arreglo topológico 2H permitió obtener un mayor rendimiento de vaina verde por unidad de superficie, triplicando su rendimiento en el primer corte.

Literatura citada

- Alemu Y., Alamirew S., Dessalegn L. (2017). Correlation and path analysis of Green pod yield and its components in snap vean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. International Journal of Research in Agriculture and Forestry. (4) 30-36. DOI: http://dx.doi.org/10.22259/ijraf.0401005
- de Visser, R., Dekhuijzen, H. M., & Verkerke, D. R. (1990). Control of seed respiration and growth in *Vicia faba* by oxygen and temperature: No evidence for an oxygen diffusion barrier. Plant physiology, 93(2), 668-672.
- Escalante E. J. A. S., Rodríguez G. M. T., Escalante E. Y. I. (2020). Perfil de radiación, rendimiento y componentes del frijol guía (*Phaseolus vulgaris* L.). En: Modelación Matemática y Agronómica. Eds. F. Pérez S., E. Figueroa H., R. Salaza M., L. Godínez M., D. Sepúlveda J. Primera edición, ASMIIA, A.C. México. 9-15 pp.
- FAO. (2023). FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería. Recuperada el 3 de abril de 2025. https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL
- García Amaro., E. (2004). Modificación al sistema de clasificación de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Gezahegn, A. M., Tesfaye, K., Sharma, J. J., & Belel, M. D. (2016). Determination of optimum plant density for faba bean (*Vicia faba* L.) on vertisols at Haramaya, Eastern Ethiopia. Cogent Food & Agriculture, 2(1), 1224485. http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2016.1224485
- Gezahegn, A. M. (2019). Review on effect of plant density and planting arrangement on faba bean production. World Journal of Agricultural Sciences, 15(4), 261-268.
- Herrera, P. B. F., Alvarado, A. D., Cabrera, B. E. H., Hernández, J. I. O., & Guevara, M. L. L. (2020). Percepción del consumo y uso de haba: aporte nutricional en Ciudad Serdán, Puebla, México. Agricultura, sociedad y desarrollo, 17(1), 1-16.
- Pérez L, D. D. J., González Huerta, A., Rubí Arriaga, M., Franco Mora, O., Franco Martínez, J. R. P., & Padilla Lara, A. (2015). Análisis de 35 cultivares de haba por su producción de vaina verde y otros componentes del rendimiento. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(7), 1601-1613.
- Pichardo-Riego, J. C., Escalante-Estrada, J. A. S., Díaz-Ruíz, R., Quevedo-Nolasco, A., Volke-Haller, V., & Morales-Rosales, E. J. (2013). Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(1), 71-84.
- SIAP (2024). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Recuperada el 5 de mayo de 2024 de: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/
- Tapara, E. H., Espinoza, K. W. A., Tapara, J. C. H., Nole, M. J. C., & Rodríguez, A. V. (2026). Comparación agronómica de líneas avanzadas y variedades locales de haba (*Vicia faba*) en Cusco, Perú. Revista Alfa, 10(28), 262-274.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Estrategias de valorización de residuos sólidos orgánicos para fortalecer la sustentabilidad institucional

Beatriz Rivera Olivares[1]; Naidelin García Rodriguez[1]; Nallely Rosas Flores[1]; Carlos Alberto Cortes Rodríguez[1]

Resumen

El manejo inadecuado de los residuos sólidos orgánicos (RSO) representa un desafío ambiental para las instituciones educativas. El presente estudio evaluó el nivel de conocimiento y las prácticas relacionadas con su manejo en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH), con el propósito de identificar oportunidades para fortalecer su gestión y aprovechamiento. En la institución se generan aproximadamente 80 a 100 kg de RSO por semestre, principalmente provenientes de la cafetería escolar, lo que representa una oportunidad para implementar estrategias de valorización bajo un enfoque de economía circular. El análisis de la generación mensual durante el periodo de marzo a noviembre mostró variaciones asociadas con la actividad académica. Los mayores volúmenes se registraron en marzo (29 kg), septiembre (28.8 kg), junio (27.3 kg), mayo (25.8 kg) y octubre (24.3 kg). En contraste, los menores registros correspondieron a julio (15 kg) y agosto (16 kg), coincidiendo con el periodo vacacional y la disminución de las actividades institucionales. Estos resultados evidencian que la generación de RSO está estrechamente relacionada con el nivel de actividad de la comunidad educativa. Se concluye que el TESCH cuenta con condiciones favorables para desarrollar un modelo institucional de gestión integral de residuos orgánicos, mediante acciones de educación ambiental, separación en la fuente y participación comunitaria, complementadas con estrategias de compostaje, lombricompostaje y biodigestión anaerobia.

Palabras clave: Estrategias de valorización, Biodigestión anaerobia, Compostaje

Abstract

Inadequate management of organic solid waste (OSW) represents a significant environmental challenge for educational institutions. This study evaluated the level of knowledge and management practices regarding OSW at the Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH) to identify opportunities for strengthening waste management and utilization. The institution generates approximately 80 to 100 kg of OSW per semester, primarily originating from the campus cafeteria, which presents an opportunity to implement valorization strategies within a circular economy framework. Analysis of monthly waste generation from March to November revealed fluctuations linked to academic activity. Peak volumes were recorded in March (29 kg), September (28.8 kg), June (27.3 kg), May (25.8 kg), and October (24.3 kg). Conversely, the lowest figures occurred in July (15 kg) and August (16 kg), coinciding with the break period and reduced institutional operations. These results demonstrate that OSW generation is directly linked to the activity level of the educational community. In conclusion, TESCH possesses favorable conditions to establish an institutional comprehensive organic waste management model through environmental education, source separation, and community participation, complemented by composting, vermicomposting, and anaerobic digestion strategies.

[1] Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan. Correos electrónicos: beatriz.rivera@ teschic.edu.mx; naidelin.garcia@chicoloapan.tecnm.mx, nallely.rosas@teschic.edu.mx; carlos.Cortes@teschic.edu.mx

Keywords: Valorization strategies; anaerobic digestion; composting.

Introducción

Los residuos orgánicos, constituidos principalmente por restos de alimentos de actividades domésticas y comerciales, así como por materia vegetal biodegradable, representan el porcentaje mayoritario de los residuos sólidos urbanos. Lejos de ser considerados exclusivamente como un pasivo ambiental o una fuente de polución, estos residuos poseen un elevado potencial bioenergético y químico debido a su alta concentración de nutrientes esenciales y carbono orgánico. (FAO, 2019). Cuando son sometidos a procesos tecnológicos controlados, los RSO dejan de ser desechos y se transforman en insumos agrícolas y fuentes de energía limpia, alineándose con las directrices internacionales de la economía circular (FAO, 2017).

Una de las tecnologías más robustas para cumplir con este propósito es la digestión anaerobia. (Khalid et al., 2011) Este proceso biológico consiste en la degradación catabólica de macromoléculas orgánicas realizada por consorcios bacterianos y arqueas en estricta ausencia de oxígeno molecular. El resultado es una corriente gaseosa combustible denominada biogás y una fracción estabilizada rica en minerales denominada digestato o biol (Bernal, Alburquerque, & Moral, 2009). Diversas investigaciones previas han ratificado la eficiencia de estos sistemas como un mecanismo de mitigación ambiental y descentralización energética (IEA, 2018).

Las instituciones de educación superior no están exentas de esta problemática. (Asociación Civil [A. C.], 2007). Debido a la densidad de su población y a las actividades cotidianas en cafeterías y comedores, los campus universitarios operan como pequeños núcleos urbanos con flujos constantes de generación de residuos. En el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH), el diagnóstico inicial identificó que los residuos de la cafetería eran mezclados y enviados de forma convencional a los camiones recolectores municipales para su posterior entierro, desaprovechando por completo su valor intrínseco. Ante este panorama, se planteó la necesidad de implementar un modelo piloto de biodigestión que combinara el rigor técnico con la educación ambiental integral. Mediante el presente estudio, se pretendió caracterizar el sustrato local, evaluar el comportamiento operativo del sistema a escala laboratorio y analizar las propiedades de los biofertilizantes obtenidos, aportando bases científicas para el desarrollo de tecnologías limpias en el sector educativo del Estado de México

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos, con el objetivo de implementar y evaluar un biodigestor a escala piloto para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (RSO) generados en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan (TESCH).

La metodología se estructuró en cuatro etapas principales: recolección, cuantificación y caracterización de los residuos sólidos orgánicos, así como la implementación del biodigestor a escala menor con un volumen de 20 L y a escala mayor con un volumen de 200 L. Determinación de la relación carbono-nitrógeno (C/N) y análisis mediante

microscopía electrónica de barrido; elaboración de un manual técnico de instalación, operación y mantenimiento del biodigestor con el detalle suficiente para poder replicarlos; si son comunes y no se modificaron para la investigación, bastará con indicar la referencia bibliográfica respectiva.

Recolección, cuantificación y caracterización de los RSO

El manejo de los residuos sólidos orgánicos provenientes de la cafetería del Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, se llevó a cabo mediante un procedimiento sistemático que incluyó las etapas de recolección, separación, caracterización, cuantificación, almacenamiento y pretratamiento, con el propósito de evaluar su potencial de aprovechamiento mediante el proceso de digestión anaerobia.

Cuantificación y preparación física de los RSO

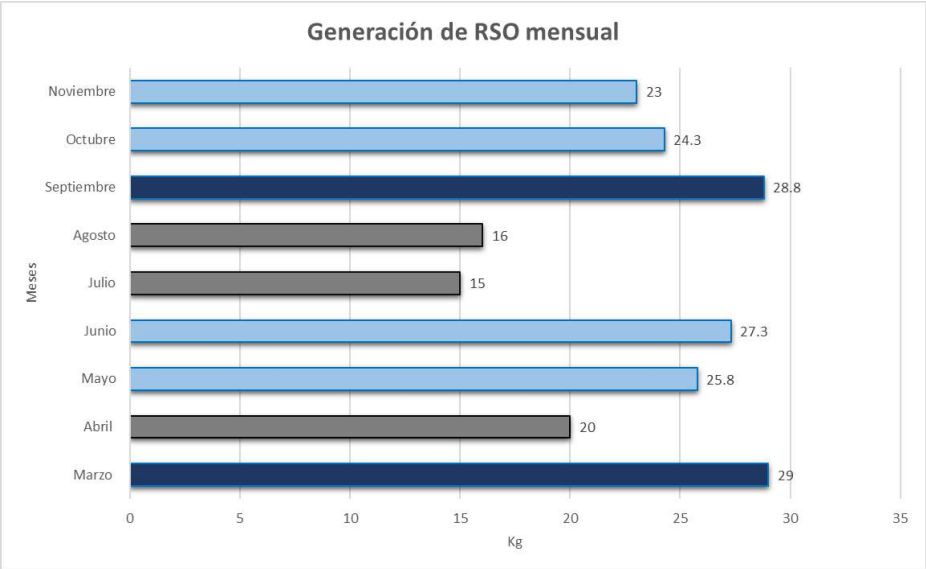
Los residuos previamente separados fueron cuantificados mediante el uso de una báscula digital, registrando su peso en kilogramos, para determinar la cantidad de generación de residuos orgánicos. Posteriormente, los residuos fueron sometidos a un proceso de trituración manual, con el objetivo de reducir el tamaño de partícula y favorecer la acción de los microorganismos durante su degradación biológica.

Implementación de un sistema de digestión anaerobia a escala menor

En esta etapa se implementó un sistema de digestión anaerobia a escala menor con capacidad de 20 L, con el propósito de evaluar el comportamiento del proceso en condiciones controladas y determinar la viabilidad del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos como sustrato.

El biodigestor fue construido utilizando un recipiente plástico con capacidad de 20 L, el cual fue acondicionado para operar en condiciones anaerobias, asegurando la hermeticidad del sistema y evitando la entrada de oxígeno.

Resultados y discusión



Grafica 1 de Generación mensual de RSO.

Elaboración propia con base en el estudio de generación mensual de RSO en el TESCH

Muestra la generación mensual de residuos sólidos orgánicos (RSO) en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan durante el periodo de marzo a noviembre. Se observa que las barras en color azul oscuro representan los meses con mayor generación de residuos, destacando marzo con un total de 29 kg y septiembre con 28.8 kg. Del mismo modo, el mes de junio, representado en color azul claro, presentó una generación significativa de 27.3 kg, seguido de mayo con 25.8 kg y octubre con 24.3 kg, lo que indica una alta disponibilidad de residuos orgánicos durante estos periodos de actividad académica regular.

Implementación del sistema de digestión anaerobia a escala menor

Se implementó un sistema de digestión anaerobia a escala menor con capacidad de 20 L, utilizando como sustrato residuos sólidos orgánicos generados en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, mezclados con excretas de gallinaza y agua, con el objetivo de evaluar la producción de biogás y la obtención de biofertilizante (Biol).

El sistema fue operado en condiciones anaerobias durante el periodo de estudio. Sin embargo, debido a limitaciones en la hermeticidad del sistema, la producción de biogás fue baja, lo que influyó en la obtención de menores porcentajes de metano. Esta situación pudo deberse a posibles fugas en el sistema o a la presencia de pequeñas entradas de oxígeno, las cuales afectan la actividad de los microorganismos metanogénicos responsables de la producción de metano.

Se presenta el registro de las cargas de alimentación realizadas al sistema de digestión anaerobia durante el periodo experimental, posterior a la carga inicial. Los resultados muestran que el biodigestor operó con un volumen de trabajo de 16 L y recibió alimentación periódica durante 11 semanas.

Tabla 1. Cargas de Alimentación

Semana	*Volumen del SDA*	*Tipo de alimentación*	*Excretas (kg)*	*RSO (kg)*	*Agua (L)*	*Volumen total de sustrato*	*Obtención de Biol.*
1	16 L	Carga Inicial	2 kg	2 kg	2 L	6 kg	Sin obtención
2–5	16 L	Sin alimentación (Periodo de TRH)	0	0	0	0	Sin obtención
6	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L
8	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L
10	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L
12	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L
14	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L
16	16 L	Alimentación	0	1 kg	1 kg	2 kg	2 L

Por otro lado, las condiciones de temperatura registradas durante el periodo de operación

influyeron en el rendimiento del sistema. Se observó que la temperatura interna del biodigestor osciló entre 14.3 °C y 35.1 °C, presentando variaciones significativas y operando principalmente en un rango mesofílico bajo. Estas condiciones no fueron completamente óptimas para el desarrollo de los microorganismos metanogénicos, los cuales presentan una mayor actividad en rangos de temperatura más estables, generalmente entre 30 °C y 37 °C. Las fluctuaciones de temperatura y los valores bajos registrados pudieron limitar la eficiencia del proceso y, en consecuencia, la producción de metano. No obstante, se observó la degradación de la materia orgánica y la formación de una fracción líquida correspondiente al biofertilizante (Biol), el cual se encontraba en proceso de maduración. La obtención de este subproducto confirma que el proceso de digestión anaerobia se llevó a cabo, permitiendo la transformación de los residuos sólidos orgánicos. Estos resultados indican que, a pesar de las limitaciones en la producción de biogás, el sistema permitió el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos y la obtención de biofertilizante, demostrando la viabilidad del proceso de digestión anaerobia como una alternativa para el manejo y valorización de residuos orgánicos dentro de la institución.

Conclusiones

La comunidad educativa del TESCH presenta un nivel de conocimiento favorable sobre los residuos sólidos orgánicos (RSO); no obstante, las prácticas de separación y aprovechamiento aún requieren consolidación. La generación estimada de 80 a 100 kg de RSO por semestre representa una oportunidad idónea para implementar estrategias institucionales de valorización y economía circular. Asimismo, la relación positiva identificada entre el nivel de conocimiento y la participación en actividades ambientales evidencia la importancia de fortalecer los procesos de educación y formación continua.

En este contexto, el compostaje, el vermicompostaje y la digestión anaerobia destacan como alternativas biotecnológicas viables para transformar los RSO generados en la institución en subproductos de valor, tales como composta, humus de lombriz, biofertilizantes y biogás. Por su parte, la disposición manifestada por estudiantes, docentes y personal administrativo para involucrarse en talleres constituye un pilar estratégico para desarrollar un modelo integral de gestión de RSO.

Finalmente, se recomienda establecer un programa institucional permanente que abarque la separación en la fuente, la capacitación, el aprovechamiento y el seguimiento de los RSO, promoviendo la participación activa y corresponsable de toda la comunidad educativa

Literatura Citada

- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444–5453 https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027
- FAO (2017). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Documento relacionado con economía circular, aprovechamiento de residuos orgánicos y/o bioenergía]. FAO.
- FAO (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Documento relacionado con residuos orgánicos, nutrientes, carbono y aprovechamiento agrícola].

FAO.

- IEA (2018).International Energy Agency. IEA.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. Waste Management, 31(8), 1737–1744. https://doi.org/10.1016/j.wasman.201

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Análisis de la funcionalidad simbiótica y sostenibilidad de sistemas agroforestales de *Carludovica palmata* Ruiz & Pavón en el norte de Campeche, México.

Alcocer Espinosa José Manuel[1]*; Candelaria Martínez Bernardino[1]; Salvador Morales Pedro; Rodríguez Ávila Norma Laura[1]*.

Resumen

El manejo de *Carludovica palmata* en el norte de Campeche enfrenta una disyuntiva entre intensificación agrícola urbana y la preservación de sistemas tradicionales agroforestales (SAF) tradicionales. El objetivo de este estudio fue analizar la funcionalidad simbiótica y la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de *C. palmata* en Bécal y Sata Cruz Ex Hacienda, Campeche. Mediante un enfoque mixto con muestreo no probabilístico por bola de nieve (N=20), se caracterizaron las unidades de producción bajo el principio de saturación teórica. Los resultados indicaron que el 55% de los cultivos operan bajo SAF tradicionales, asociados a *C. palmata* (especie esciófita) con especies arbóreas nativas como *Piscidia piscipula* y *Cedrela odorata L*., mientras que el 45% se maneja como monocultivo urbano. Los SAF recrean el microclima óptimo de sombra que previene la fotoinhibición y mitiga el estrés hídrico en suelos someros Litosoles (*Tsek´el*). En las comunidades rurales, estos sistemas presentaron una valoración ecológica de 4,4/5, superando la percepción urbana (3.6/5 general). Se identificaron asociaciones con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), de los géneros: *Glomus sp. Funneliformes sp*, *Scutellospora sp* y *Acualospora sp*, así como afectaciones por *Heterogeomys hispidus* y *Brassolis sophorae*. Se detecto una brecha del 65% en capacitación técnica. Se concluye que los SAF de *C. palmata* constituyen etnoagroecosistemas resilientes fundamentales para la adaptación al cambio climático y el desarrollo rural sustentable.

Palabras clave: agrodiversidad, agroforestería, jipijapa, manejo tradicional, micorrizas

Abstract

The management of *Carludovica palmata* in northern Campeche presents a dilemma between urban agricultural intensification and the preservation of traditional agroforestry systems (AFS). This study aimed to analyze the symbiotic functionality and sustainability of *C. palmata* cultivation systems in Bécal and Santa Cruz Ex Hacienda, Campeche. Using a mixed-methods approach with non-probabilistic snowball sampling (N=20), production units were characterized based on the principle of theoretical saturation. Results indicated that 55% of the crops operate under traditional AFS, associating *C. palmata* (a sciophyte species) with

[1] Instituto Tecnológico de Chiná. Calle 11 entre 22 y 28, Col. Centro, Chiná, CP24050, Campeche, México. José Manuel Alcocer Espinosa: M24830113@china.tecnm.mx Nacionalidad: mexicano, Bernardino Candelaria Martínez: bernardino.cm@china.tecnm.mx Nacionalidad: mexicano, Pedro Salvador Morales: pedro.sm@china.tecnm.mx Nacionalidad: mexicano, Norma Laura Rodríguez Ávila (Autor de correspondencia): norma.ra@china.tecnm.mx Nacionalidad: mexicana.

native trees such as *Piscidia piscipula* and *Cedrela odorata L*., while 45% are managed as urban monocultures. These AFS recreate an optimal shaded microclimate that prevents photoinhibition and mitigates water stress in shallow Lithosol soils (*Tsek'el*). In rural communities, these systems received an ecological valuation of 4.4/5, surpassing the urban perception (3.6/5 overall). Associations with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF specifically the genera *Glomus*, *Funneliformis*, *Scutellospora*, and *Acaulospora* were identified, as well as impacts from *Heterogeomys hispidus* and *Brassolis sophorae*. A 65% gap in technical training was detected. The study concludes that *C. palmata* AFS constitute resilient ethno-agroecosystems that are fundamental for climate change adaptation and sustainable rural development.

Keywords: agrodiversity, agroforestry, jipijapa, traditional management, mycorrhizae

Introducción

Carludovica palmata Ruiz & Pavón (*Cyclanthaceae*), conocida localmente como "palma jipi" o "jipijapa", fue introducida en la Península de Yucatán en 1866 (Fadiman, 2001). A lo largo de más de 160 años de naturalización y manejo agronómico en la región de Camino Real en Campeche, se ha consolidado como un recurso clave del patrimonio etnobotánico y socioeconómico importante para la artesanía de tejido de sombreros y finas artesanías (Rodríguez-Ávila & Caamal-Velásquez, 2020).

Desde la perspectiva ecofisiológica, *C. palmata* es una planta herbácea perenne con habito esciófito (Chízmar *et al*., 2009). Su desarrollo biológico optimo cursa bajo el dosel forestal, donde la radiación solar filtrada previene la fotoinhibición del aparato fotosintético y redúcela evapotranspiración foliar excesiva, garantiza la flexibilidad, longitud y finura de la fibra del cogollo (Ceballos, 1998; Fadiman, 2001). Sin embargo, la presión comercial sobre el sector artesanal ha derivado en una marcada bifurcación de las dinámicas productivas: por un lado, la intensificación en solares urbanos mediante monocultivos con exposición solar directa y, por otro lado, la conservación de SAF tradicionales en zonas rurales (Lugo-Pérez *et al*., 2022).

En la región maya de Campeche, la matriz edáfica esta denominada por suelos someros, altamente calcáreos y de escasa retención de humedad, clasificados como Leptosoles/Litosoles (*Tsek´el*) y Luvisoles (*K´ankab*) (Sieglin & Hernández-Xolocotzi, 2015). En este escenario edafoclimático adverso, exacerbado por las alteraciones de temperatura y precipitación ligadas al cambio climático, la resiliencia de los agrosistemas depende de la funcionalidad simbiótica. Esta funcionalidad no solo abarca el arreglo arbóreo que modula el microclima, sino también la interacción edáfica multitrófica con microorganismos rizosférico, particularmente los HMA, ya que facilitan la traslocación y absorción de fosforo inmovilizado en los complejos calcáreos y mejoran el estado hídrico de las plantas (Zangaro *et al*., 2018).

El objetivo de la presente investigación fue analizar la funcionalidad simbiótica y la sostenibilidad socioecológica de los sistemas productivos de *C. palmata* en las comunidades de Bécal y Santa Cruz Ex Hacienda, Calkiní, Campeche, aportando bases científicas para la conservación de estos etno-agroecosistemas.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Calkiní, ubicado en el norte del estado de Campeche. México, abarcando las localidades de Bécal y Santa Cruz Ex Hacienda. La zona se caracteriza por un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano (Lugo-Pérez *et al.,* 2022) y una matriz edáfica dominada por Leptosoles/Litosoles (*Tsek´el*) y Luvisoles (*K'ankab*) (Rodríguez-Ávila & Caamal-Velásquez, 2020).

Se utilizo un enfoque metodológico mixto (cuantitativo-cualitativo). El levantamiento de información de campo se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo "bola de nieve" (N=20 productores y artesanos), alcanzando el criterio de saturación teórica al no registrarse categorías novedosas en la estructura agronómica ni en las prácticas de manejo (Sieglin & Hernández-Xolocotzi, 2015).

Se diseñó y aplicó una encuesta estructurada multidimensional a los productores y artesanos, complementada con recorridos e inspección directa en parcela (observación participante):

Estructura agronómica y manejo: Tipo de arreglo (SAF vs. monocultivo), densidad de siembra (100 a >1000 plantas/parcela), antigüedad del cultivo, frecuencia/intervalos de cosecha del cogollo y labores agronómicas (riego por inundación, chapeo manual, fertilización).

Biodiversidad e interacciones bióticas: Identificación taxonómica *in situ* de flora acompañante (maderables, frutales, ornamentales y tintóreas) y registro de organismos fitófagos o plagas.

Análisis de HMA rizosféricos: Recolección de muestras de suelo en la rizosfera de *C. palmata* (0–50 cm de profundidad). En laboratorio, se realizó la separación de esporas mediante tamizado húmedo y decantación seguido de centrifugación en gradiente de sacarosa al 50 % (Zangaro *et al*., 2018). La caracterización morfológica e identificación taxonómica a nivel de género se ejecutó mediante microscopía óptica, considerando la estructura, coloración y composición de las capas de la pared de la espora.

Sostenibilidad socioeconómica: Variedades de fibra utilizadas ("Paisito" vs. "Tabasqueño"), percepción del beneficio de la agrodiversidad (escala de Likert de 1 a 5) y nivel de capacitación técnica recibida.

Análisis estadístico

Los datos cuantitativos fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva (frecuencias relativas, promedios y desviaciones estándar) en Microsoft Excel. Los datos cualitativos se sistematizaron mediante análisis de contenido y categorización temática.

Resultados y Discusión

Los agrosistemas de *C. palmata* en el norte de Campeche exhiben una notable estabilidad temporal (>100 años), registrándose parcelas históricas con más de 50 años de producción continua como lo menciona Fadiman, (2001). El 55 % de los productores entrevistados mantiene el cultivo bajo Sistemas Agroforestales Tradicionales (predominantes en Santa Cruz Ex Hacienda), mientras que el 45 % opera bajo esquemas de monocultivo, localizados predominantemente en patios y solares urbanos de Bécal (Figura 1).

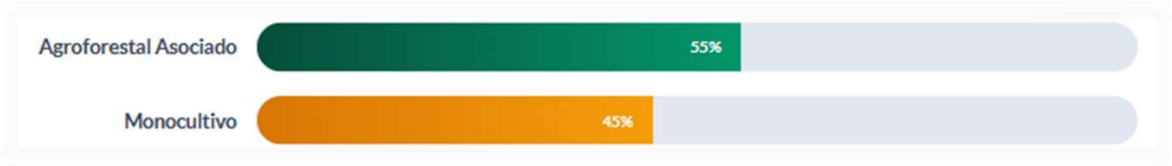


Figura 1: Distribución porcentual del tipo de sistema productivo (Agroforestal Asociado y Monocultivo). Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Las labores culturales en el cultivo se sintetizan en riegos por inundación, chapeo manual para el control de malezas y la aplicación esporádica de abonos orgánicos o sintéticos; no obstante, el 50% de los entrevistados efectúa estas actividades, mientras que el otro 50% no realiza ninguna labor agronómica.

A la par, se identificó una importante transformación en el tiempo transcurrido para la primera cosecha del cogollo: tradicionalmente, los productores con mayor experiencia realizaban el primer corte transcurridos 5 años después de la siembra de rizomas para asegurar el desarrollo óptimo de la hoja cosechando posteriormente de manera anual o hasta dos veces por año (Ceballos, 1998; Fadiman, 2001). En contraste, los productores nuevos o más jóvenes realizan la primera cosecha entre 1 y 3 años después de sembrar los rizomas, e incluso en plantaciones de reciente establecimiento (Figura 2).

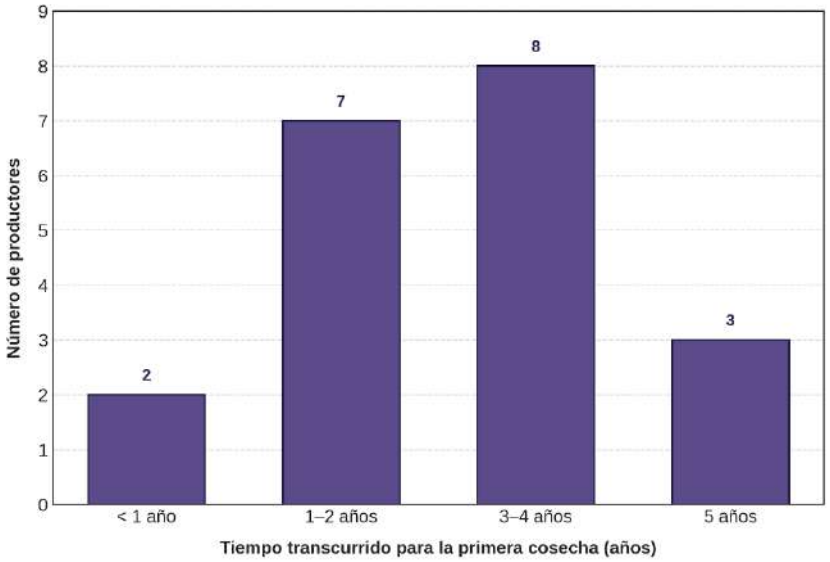


Figura 2: Tiempo transcurrido desde la siembra de rizomas hasta la primera cosecha del cogollo de C. palmata por número de productores entrevistados. Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Esta cosecha prematura repercute directamente en la calidad organoléptica y mecánica de la fibra (reduciendo su finura y longitud), lo que genera un desabasto de insumo de alta calidad a nivel local. Para suplir esta deficiencia, el 65 % de las y los artesanos complementa el uso de la variedad local "Paisito" (de fibra fina) con la variedad "Tabasqueño" (de fibra más gruesa), la cual es adquirida a través de intermediarios foráneos. Este fenómeno provoca una fuga de divisas y acentúa la dependencia económica externa del gremio artesanal de Bécal (Rodríguez-Ávila & Caamal-Velásquez, 2020).

La naturaleza esciófita de *C. palmata* fundamenta la superioridad ecológica de los SAF (Chízmar *et al*., 2009). El estratificado dosel arbóreo regula la radiación fotosintéticamente activa (PAR), amortigua las altas temperaturas extremas y disminuye la tasa de evapotranspiración en la fina capa del suelo *Tsek'el*. Esto favorece el vigor vegetativo de los rizomas y la producción de folíolos aptos para el tejido (Ceballos, 1998; Lugo-Pérez *et al*., 2022).

Los SAF analizados presentaron una compleja red de agrodiversidad vegetal acompañante (Cuadro 1). Destacan especies maderables de dosel superior como Jabín *Piscidia piscipula*, Cedro *Cedrela odorata L*., Roble *Ehretia tinifolia L*. y Ramón *Brosimum alicastrum Sw*; frutales como *Musa* × *paradisiaca*, *Citrus aurantium*, *Citrus sinensis* y *Cocos nucifera*; así como plantas tintóreas tradicionales (*Haematoxylum campechianum*, *Indigofera tinctoria*, *Bixa orellana*) empleadas históricamente en el teñido natural de la fibra de jipi (Fadiman, 2001; Mahecha *et al*., 2004).

Cuadro 1. Lista de especies en interacción vegetal, en los sistemas productivos de *C. palmata* en Calkiní Campeche.

Categoría	Nombre Común	Nombre Científico
Frutales	Plátano	*Musa x paradisiaca*
Frutales	Naranja agria	*Citrus aurantium*
Frutales	Naranja dulce	*Citrus sinensis*
Frutales	Limón indio/injerto	*Citrus × aurantiifolia / Citrus × latifolia*
Frutales	Mandarina	*Citrus reticulata*
Frutales	Coco	*Cocos nucifera*
Frutales	Aguacate	*Persea americana*
Frutales	Almendra	*Terminalia catappa*
Frutales	Mango	*Mangifera indica*
Tubérculos/Rastreras	Camote	*Ipomoea batatas*
Tubérculos/Rastreras	Yuca	*Manihot esculenta*
Maderables/Uso animal	Jabín	*Piscidia piscipula*
Maderables/Uso animal	Cedro	*Cedrela odorata* L.
Maderables/Uso animal	Roble	*Ehretia tinifolia* L.
Maderables/Uso animal	Ramón	*Brosimum alicastrum* Swarts
Ornamentales	Mano de león	*Celosia argéntea* var. Cristata
Ornamentales	Flor de mayo	*Plumeria rubra*
Tintóreas	Palo de tinte	*Haematoxylum campechianum*
Tintóreas	Añil	*Indigofera tinctoria*
Tintóreas	Chack xiu	*Psittacanthus calyculatus*
Tintóreas	Achiote	*Bixa orellana*
Tintóreas (Procesadas)	Anilkab, sak aak	*Arrabidaea floribunda*
Tintóreas (Procesadas)	N/A	*Argythamnia tinctoria* Millsp
Tintóreas (Procesadas)	Mora, chak oox	*Maclura tinctoria*
Tintóreas (Procesadas)	Subinche, chimay	*Acacia farnesiana* (L.) Willd
Tintóreas (Procesadas)	Chukum	*Havardia albicans*

Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

En el plano microbiológico edáfico, la caracterización de la rizosfera reveló la presencia constante de esporas de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA). Se identificaron cuatro géneros morfológicos: *Glomus sp*., *Funneliformis sp*., *Scutellospora sp*. y *Acaulospora sp*. (Figura 3).

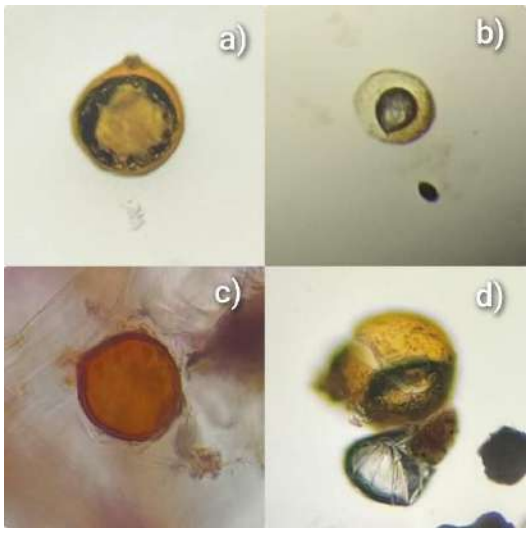


Figura 3: Diversidad morfológica de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), (Microscopio óptico; marca NEXCOPE modelo: NE620). a) Género Glomus: Espora globosa con una pared gruesa y pigmentación amarilla-dorada, b) Género Funneliformis (anteriormente Glomus). Espora con una pared externa hialina o mucinosa engrosada, y un contenido interno más denso y oscuro., c) Género Scutellospora (o afines como Gigaspora): Espora grande y globosa con una pared gruesa y coloración anaranjada intensa o ámbar, d) Género Acaulospora: Espora fracturada que revela la presencia de membranas internas flexibles y hialinas debajo de una pared externa más rígida. Fuente: fotografías realizadas con celular Redmi Note 14 Pro Plus 5G, por: José Manuel Alcocer Espinosa

Esta mutualidad simbólica es crítica en los suelos Leptosoles/Litosoles calcáreos de la zona, caracterizados por un pH alcalino que inmoviliza el fósforo libre. Las hifas extraradicales de los HMA incrementan el área de exploración radicular, facilitando la absorción hídrica y nutricional y confiriendo resiliencia a *C. palmata* frente a los períodos estivales severos (Zangaro *et al*., 2018).

En contraste, el monitoreo fitosanitario determinó que en parcelas maduras (>10 años) las principales limitantes bióticas son los mamíferos roedores como la tuza (*Heterogeomys hispidus yucatanensis*), que consume la masa rizomatosa; las larvas del lepidóptero *Brassolis sophorae* (gusano de la palma), que causan defoliaciones severas; y coleópteros del género *Phyllophaga spp*. (gallina ciega), que dañan el sistema radicular secundario (Fadiman, 2001).

La valoración de la interacción y convivencia con la biodiversidad dentro de los sistemas productivos registró un promedio general de 3.6/5.0 en la escala de Likert (Figura 4). Sin embargo, al estratificar territorialmente los datos, los productores rurales de Santa Cruz Ex Hacienda asignaron una apreciación significativamente más alta a la agrodiversidad (4.4/5.0) en comparación con los productores urbanos de Bécal (3.0/5.0) (Figura 5). Esto demuestra que las comunidades rurales mantienen una vinculación etnoecológica más estrecha con las funciones ecosistémicas que provee la cobertura agroforestal (Lugo-Pérez *et al*., 2022; Sieglin & Hernández-Xolocotzi, 2015).

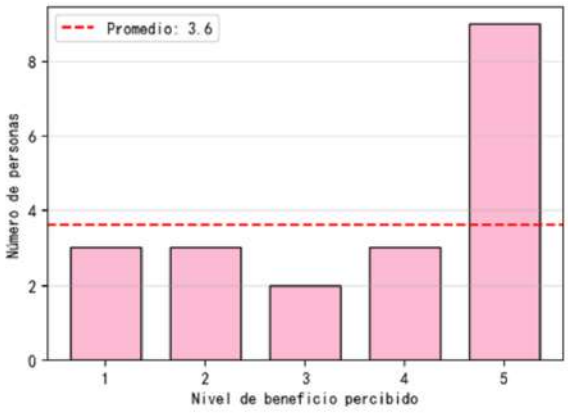


Figura 4: Promedio obtenido del beneficio percibido. 3.6, en la escala de 1-5. Fuente: Elaboración propia con datos de campo.



Figura 5: Valoración promedio (escala 1 a 5) otorgada a la diversidad agroforestal en comunidades rurales (Santa Cruz Ex Hacienda) en comparación con zonas urbanas. Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Por último, se identificó un cuello de botella crítico para la sostenibilidad de los agrosistemas: únicamente el 35 % de las y los productores ha recibido capacitación o asistencia técnica especializada (Figura 6). La brecha del 65 % en la transferencia del conocimiento agronómico limita la innovación en el manejo bioecológico de plagas, favorece la erosión de los saberes etnobotánicos tradicionales y restringe el fortalecimiento de las cadenas de valor locales de la fibra (Rodríguez-Ávila & Caamal-Velásquez, 2020).

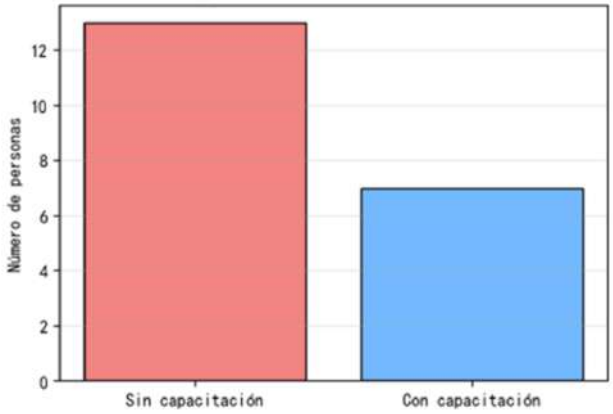


Figura 6: Porcentaje de personas con capacitación y sin capacitación en los procesos productivos de C. palmata. Fuente: Elaboración propia con datos de campo.

Conclusiones

Los agrosistemas de *C. palmata* en el norte de Campeche representan etnoagroecosistemas tradicionales con más de un siglo de permanencia e integración socioecológica y biocultural.

El modelo agroforestal tradicional presenta una clara ventaja ecofisiológica sobre el monocultivo urbano, al proveer el microclima de sombra requerido por la naturaleza esciófita de la especie y promover la simbiosis con hongos micorrízicos arbusculares (*Glomus*, *Funneliformis*, *Scutellospora* y *Acaulospora*), fundamentales para la nutrición en suelos calcáreos.

La aceleración en los intervalos de cosecha (1 a 3 años) provocada por la demanda del mercado compromete la calidad de la fibra nativa ("Paisito") e incentiva la dependencia económica de variedades externas ("Tabasqueño").

Es prioritario atender la brecha del 65 % en capacitación técnica mediante programas interdisciplinarios de desarrollo rural y agroecología que articulen el diálogo de saberes tradicionales con la innovación científica, asegurando la conservación de este recurso estratégico ante el cambio climático.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado mediante el proyecto 23312.25P. Al Instituto Tecnológico de Chiná, a la Universidad Autónoma de Chapingo y a la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECITHTI) por la beca de posgrado otorgada al primer autor (CVU:2070719).

Literatura citada

- Chízmar C., Lu A., Correa M. (2009). Plantas de uso folclórico y tradicional en Panamá. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).
- Mahecha, G., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A., & Barrero, D. (2004). Vegetación del territorio CAR: 450 especies nativas e introducidas. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- Rodríguez-Ávila, N. L., & Caamal-Velásquez, J. H. (2020). Sistemas agroforestales tradicionales y conservación de recursos fitogenéticos en el norte de Campeche. Instituto Tecnológico de Chiná.
- Sieglin, J., & Hernández-Xolocotzi, E. (2015). Análisis de agroecosistemas bioculturales en el trópico mexicano. Universidad Autónoma Chapingo.
- Ceballos, J. E. (1998). Elementos para la conservación y manejo de Carludovica palmata en Centroamérica [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Repositorio Institucional CATIE.
- Fadiman, M. G. (2001). Cultivation and artesanía of Carludovica palmata (Cyclanthaceae) in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany*, 55(1), 90–101. https://doi.org/10.1007/BF02864551
- Lugo-Pérez, J. A., Candelaria-Martínez, B., & Salvador-Morales, P. (2022). Manejo etnobotánico y diversidad de flora acompañante en agrosistemas de la Península de Yucatán. Revista de Geografía Agrícola, 68(2), 45–58. https://doi.org/10.5154/r.rga.2021.68.04
- Zangaro, W., Rostirola, L. V., de Souza, P. B., de Almeida Alves, R., Lescano, L. E. A. M., Rondina, A. B. L., & Carrenho, R. (2018). Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome. Mycorrhiza, 28(4), 3

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Implementación de un esquema para la conservación de suelos como parte del proceso de transición agroecológica en la producción de Maíz en Tulancingo, Hidalgo.

Elías Jesús Licona Reyes

Resumen

La producción de maíz en el municipio de Tulancingo, en el estado de Hidalgo, representa una actividad económica importante. El maíz que se produce se utiliza para la producción de grano para tortilla y para la producción de forraje para el ganado bovino lechero. A partir de la creciente preocupación por el deterioro acelerado del suelo agrícola, las y los productores de maíz del municipio, junto con agrónomos y médicos veterinarios, deciden realizar pruebas en sus parcelas utilizando bioinsumos. Esto con el objetivo de implementar prácticas que ayuden a frenar el deterioro y a incrementar los rendimientos. Se realizaron entrevistas a productores de maíz y a técnicos agrícolas para conocer sus experiencias con respecto a la implementación de un esquema de recuperación de suelo. Como resultado, se pueden identificar acciones enmarcadas en los dos primeros niveles que Gliessman refiere para el proceso de transición agroecológica. Sin embargo, es necesario ampliar las acciones para lograr una transición exitosa y consolidar un sistema alimentario sostenible.

Introducción

El municipio de Tulancingo de Bravo, localizado en el estado de Hidalgo, forma parte del altiplano central mexicano y se caracteriza por una tradición agropecuaria que ha configurado históricamente su economía y organización territorial. La agricultura y la ganadería continúan siendo actividades fundamentales para el sustento de las comunidades rurales, así como para la provisión de alimentos e insumos en la región (Gobierno de Tulancingo, 2025).

Los principales cultivos de temporal son el maíz y la cebada, mientras que en las áreas de riego predominan la alfalfa y las praderas enfocadas a la producción de forrajes para el gabado bovino lechero. La superficie agrícola ronda las 13 mil hectáreas, de las cuales, el 60 % se destinan al cultivo de maíz (Gobierno de Tulancingo, 2025).

La producción pecuaria constituye otro pilar para la economía del municipio. A través de la cría de ganado bovino lechero, porcino, ovino, caprino y aves de corral, destacando particularmente la ganadería lechera. El Valle de Tulancingo es reconocido a nivel estatal como una cuenca lechera histórica, donde se concentra un importante inventario bovino con alrededor de 40 mil cabezas, de las cuales más de 22 mil se destinan a la producción de leche, generando más de 56 millones de litros anuales en sistemas tanto tecnificados como de pequeña escala. Esta especialización productiva ha dado lugar a cadenas de valor asociadas a la transformación de lácteos, consolidando la identidad regional y su importancia económica dentro del estado (SADER, 2018).

Con el objetivo de fortalecer la economía y dar a conocer los diferentes productos derivados de la agricultura y la ganadería del municipio, se realizan ferias temáticas a lo largo del año, como la la feria de la trucha o la feria del queso, pan y miel (Sol de Tulancingo, 2024). Las ferias son un espacio para que las y los productores de la región puedan mostrar y

comercializar sus productos, así como para crear vínculos entre los diferentes actores que participan en los sistemas alimentarios.

En el municipio de Tulancingo se pueden encontrar suelos fértiles, lo que ha favorecido históricamente la producción de maíces y forrajes. Sin embargo, la producción agrícola depende en gran medida de las condiciones climáticas y de la temporada de lluvias, ya que gran parte de la superficie es de temporal. En años recientes, las lluvias han favorecido la recarga de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, beneficiando, principalmente, al cultivo de maíz (El Universal Hidalgo, consultado el 2026).

Sin embargo, y a pesar de las favorables condiciones para el cultivo de maíz, diversos estudios muestran que los rendimientos en el municipio son predominantemente bajos, esto se asocia, por un lado, a limitantes tecnológicas y por el otro a condiciones climáticas adversas. Investigaciones realizadas por la oficina de Desarrollo Rural del gobierno municipal de Tulancingo indican que el rendimiento de los agricultores con un bajo nivel de tecnificación y sin riego, alcanzan las 2.5 toneladas por hectárea, por otro lado, los productores que implementan paquetes tecnológicos reciben asesoría técnica constante, utilizan maíces híbridos mejorados y aplican riego, obtienen rendimientos de entre 7 y 8 toneladas por hectárea (Ayala, 2013; Inifap, 2025). En el estado de Sinaloa, se reportan rendimientos de entre 10 y 12 toneladas por hectárea (INIFAP, 2025).

El modelo que predomina en la producción de maíz es el de agricultura convencional. En donde se utilizan fertilizantes sintéticos, herbicidas y plaguicidas químicos y semillas híbridas. Este modelo de producción se ha implementado en las últimas décadas y se transmite de generación a generación, ha sido aceptado y replicado a lo largo de los años.

Si bien, el sistema convencional ha traído beneficios a las familias de las y los productores, la dependencia de agroinsumos sintéticos y semillas mejoradas, para continuar produciendo en suelos cada vez más degradados y las condiciones climáticas adversas, se ha vuelto un riesgo para la actividad agrícola y pecuaria. Esto se puede ver reflejado en los bajos rendimientos de los agricultores de temporal.

Por lo tanto, es necesario migrar a modelos de producción más sostenibles, promoviendo la transición hacia la agroecología, sin reducir rendimientos, ya que esto afecta directamente a las y los productores y así, impulsar un sistema alimentario resiliente y sostenible.

A partir de lo antes expuesto, el objetivo de la investigación consiste en identificar cómo un grupo de productores cooperantes, en el municipio de Tulancingo, están implementando un esquema de conservación de suelo, que incluye el uso de bioinsumos y estimulantes radiculares, para alcanzar la transición agroecológica, de forma paralela, se busca identificar la participación de las y los diferentes actores del sistema de alimentos vinculados al maíz que se produce en el municipio de Tulancingo, Hidalgo.

Marco teórico

Ante la necesidad de seguir produciendo alimentos, y, al mismo tiempo conservar la salud y la sostenibilidad de los agroecosistemas, es necesario buscar -y construir- alternativas y la agroecología, es una de esas alternativas.

El sistema agrícola está pasando por una crisis, por un lado, es necesario incrementar los rendimientos para la población, este incremento demando el uso de agroquímicos y el uso de semillas transgénicas, sin embargo, los costos de producción son cada vez mayores, esto ponen en riesgo la sostenibilidad de la vida campesinas, ya que, ante el incremento de precios de insumos, las pérdidas económicas, afectan al campesinado. Por otro lado, es imperante la conservación de la salud de los agroecosistemas, ya que, las condiciones climáticas adversas como la escasez de agua, el incremento de la temperatura y la degradación de la vida del suelo, representan una amenaza a la actividad agrícola (Rosset y Altieri, 2018).

Existen caminos para la consolidación de una agricultura abundante en su producción y benéfica para los agroecosistemas, uno de esos caminos, es la agroecología, tanto como lucha social, posición política y conjunto de prácticas enfocadas a la conservación de la vida de los agroecosistemas. la vida de las y los campesinos, y como soporte de los sistemas alimentarios (Rosset y Altieri, 2018).

Altieri y Rosset (2018), definen a la agroecología como una ciencia, un conjunto de prácticas y un movimiento social que busca la soberanía alimentaria. Se presenta como una perspectiva para la investigación, como una plataforma de acción y como un movimiento para la construcción y transformación de los sistemas socio ecológicos sostenibles. Esta ciencia incorpora perspectivas transdisciplinarias para el estudio y la comprensión de las diferentes interacciones entre las personas y los agroecosistemas (Dorrego, Moreno, & Casas, 2022).

La agroecología como movimiento socio ecológico y como proyecto político tiene el objetivo y la capacidad de transformar la realidad con base en los principios de autonomía, autodeterminación, igualdad, reconstrucción epistémica y justicia social (Zaremba *et al*., 2021).

La Agroecología busca transformar la realidad, tanto a través de la aplicación de métodos agroecológicos como a través de la continua interacción con otras disciplinas científicas, para lograr el desarrollo sostenible (Gliessman 2007).

Gliessman (2007), menciona que los sistemas de producción convencional se pueden transformar en sistemas sostenibles, para ello, identifica cuatro niveles para la transición agroecológica.

Nivel 1: Incrementar la eficiencia de prácticas convencionales para reducir el consumo y uso de insumos costosos, escasos o ambientalmente nocivos. En este nivel los insumos como los fertilizantes, combustibles, pesticidas, entre otros, se utilizan de la forma más eficiente posible, con el objetivo de reducir, de forma paulatina, su utilización, además, para el uso de los bienes naturales como el agua, se utilizan sistemas de riego, entre otras tecnologías.

Nivel 2: Sustituir prácticas e insumos convencionales por prácticas alternativas sostenibles. Este nivel busca reemplazar prácticas y productos que causan impacto ambiental y que hacen un uso intensivo de los recursos, por prácticas y procesos que beneficien al agroecosistema. Algunos ejemplos de prácticas son la implementación de cultivos de cobertera, siembra de plantas nitro-fijadoras como las habas y el frijol, uso de control biológico, labranza mínima, rotación y asociación de cultivos y la sustitución de fertilizantes químicos por compostas, abonos verdes, abonos orgánicos, es decir, el uso de bioinusmos.

Nivel 3: Rediseño del agroecosistema de forma tal que funcione sobre las bases de un nuevo conjunto de procesos ecológicos. En este nivel, se da un cambio más radical (de raíz) en el agroecosistema. En el diseño de las parcelas se incorporan prácticas vinculadas al cuida del agua, y la conservación del suelo, se evitan escorrentías, se incorpora materia orgánica al suelo, se hace labranza mínima, se utilizan abonos naturales entre otras prácticas, es decir, en este nivel, el diseño de las acciones se enfoca en la conservación de la vida de los agroecosistemas, pero también, en la producción de alimentos y la constitución de un sistema fuerte, capaz de resistir los embates ambientales.

Nivel 4: Cambio de ética y de valores…una transición hace una cultura de sostenibilidad. Finalmente, este nivel busca consolidar un sistema alimentario sostenible. Impulsando una cultura alimentaria basada en valores, en donde las y los consumidores reconozcan la importancia del trabajo del campesinado en la producción de alimentos, tienen que ser culturalmente adecuados, saludables y que sean producidos en un sistema que no genere un impacto ambiental negativo.

La transición agroecológica debe entenderse como un proceso de carácter social, que busca promover transformaciones en las actitudes y valores de los actores sociales respecto al manejo y conservación de los bienes naturales y su relación con las personas que les rodean (Caporal y Costabeber, 2004 citado: en Juárez, 2025).

La agroecología, sirve como un vínculo entre los dos componentes más importantes de los sistemas alimentarios, por un lado, la transición hacia prácticas agrícolas y ecológicas, que ayuden a producir alimentos saludables y por el otro, promueve entre las y los consumidores, el reconocimiento del trabajo del campesinado y fomenta el consumo de alimentos que provienen de agroecosistemas sostenibles (Gliessman, 2007).

En ese sentido, las transiciones agroecológicas no se limitan a la adquisición de técnicas productivas y de conservación, también, son procesos de innovación social (Altieri y Nicholls, 2012; Machado 2009).

Los procesos de transición agroecológica incorporan cambios políticos, sociales, culturales, económicos, ambientales y tecnológicos en las reglas, prácticas, instituciones y valores, que conducen a modos de producción y consumo más justos y sostenibles (Marsden 2013; Wezel *et al*., 2020).

Para Pablo Tittonell (2019) la transición agroecológica implica cambios técnico-productivos, socio-ecológicos y político-institucionales. Entendiendo que la transición agroecológica, es un proceso complejo, multidimensional y multiescalar, que implica cambios en las prácticas agrícolas, transformaciones en las relaciones sociales y la reconfiguración de las estructuras de poder para transformar el sistema alimentario desde lo local hasta lo estructural. La transición no solo es técnica, también es un proceso social que tiene múltiples dimensiones (Juárez, 2025).

La transición agroecológica, como enfoque analítico no es solo un cambio técnico en la producción agrícola también busca la transformación social. Este enfoque ofrece una de las

lentes más completas y críticas para comprender la profundidad y los alcances de la llamada transición agroecológica en México (Juárez, 2025).

Materiales y métodos

Para el caso de estudio se realizaron tres entrevistas semiestructuradas a un productor de maíz, un productor de ganado bovino lechero, y a un técnico del programa Sembrando Vida que asesora a las y los productores en para la implementación de prácticas agroecológicas. El productor de maíz tiene 5 hectáreas y el de ganado 8 cabezas, son considerados, productores pequeños.

A partir de las entrevistas, se puede observar que las y los productores están comenzando en el camino de la transición agroecológica, a través de diferentes prácticas y procesos, y, al mismo tiempo, se busca fortalecer el sistema alimentario local.

Resultados y discusiones

Mapa de Actores

A partir de las entrevistas, pudimos identificar diferentes actores en el proceso de producción de maíz y del papel que realizan en las diferentes etapas.

Uno de los técnicos menciona que “lo más importante, son los productores” dentro del sistema agroalimentario, a continuación, se presenta una tabla con los diferentes actores identificados en este caso de estudio.

Cuadro 1. Mapa de actores dentro del proceso de producción de maíz

Actor	Función en el sistema	Vinculación con otros actores
Productores de maíz	Producen maíz blanco para consumo humano y maíz amarillo para alimento de ganado bovino lechero	Compran productos a proveedores de semillas, productos químicos y bioinsumos. Son asesorados por los técnicos agroecológicos de PB Contratan trabajadores agrícolas y a transportistas Venden la cosecha a productores de leche Colaboran con técnicos de riego Venden el maíz a las tortillerías
Productores de leche	Producen leche	Compran el maíz para silo a los productores de maíz, reciben asesoría por los técnicos de PB, venden la leche a los boteros, compran productos a los proveedores de insumos convencionales

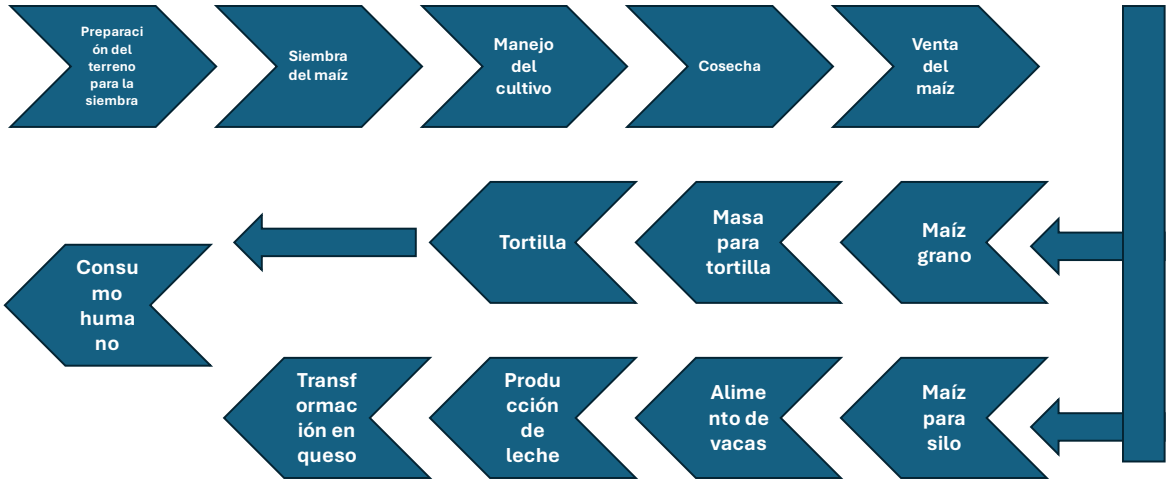
Boteros	Compran la lecha y la llevan a las fábricas de quesos	Compran la lecha a los productores de ganado bovino lechero, llevan la lecha a las fábricas de queso
Fábricas de quesos (queseros)	Con la leche que les llevan los boteros, hacen diferentes tipos de quesos	Compran la leche a los boteros, venden sus productos en mercados locales, sus productos llegan a consumidores de queso
Técnicos agroecológicos	Capacitan a las y los productores para la implementación de prácticas agroecológicas tanto en la producción de maíz como en la producción de leche. Son técnicos del programa Producción para el Bienestar (PB) y su cargo es el de Técnicos Agroecológicos.	Asesoren tanto a productores de maíz como a productores de leche, tienen contacto con proveedores de semillas, insumos convencionales y bioinsumos
Proveedores de semillas	Venden semillas híbridas certificadas a los productores de maíz	Venden semillas híbridas a los productores de maíz, tanto para producción de maíz grano, es decir alimento para personas, como maíz amarillo, utilizado para el alimento de ganado bovino lechero
Proveedores de insumos convencionales	Venden fertilizantes y plaguicidas químicos a los productores de maíz Venden desparasitantes y medicamentos a los productores de leche	Venden insumos agrícolas a productores de maíz, y venden medicamento a productores de ganado bovino lechero
Proveedores de bioinsumos	Venden bioinsumos a los productores de maíz como fertilizantes orgánicos, consorcios bacterianos, ácidos húmicos, control biológico, estimulantes para el crecimiento radicular	Venden bioinsumos a productores de maíz Se relacionan con técnicos de PB para la implementación de parcelas demostrativas en donde se muestran los resultados de la utilización de los bioinsumos tanto en el incremento de rendimiento como en las mejoras en las características del suelo
Transportistas	Al momento de la cosecha se llevan el maíz a los silos	Son contratados por productores de maíz para levantar la cosecha en sus camiones de volteo
Tractoristas	Se utilizan para la siembra en parcelas grandes	Son contratados por productores de maíz para hacer siembra de precisión con los tractores en parcelas grandes

Trabajadores agrícolas	Siembra, fertilizan y hacen la cosecha en las parcelas	Son contratados por productores de maíz en diferentes etapas del proceso agrícola, especialmente en la cosecha
Técnicos de sistemas de riego	Dan mantenimiento a las bombas para el sistema de riego	Son contratados por productores de maíz para dar mantenimiento y supervisar el riego en las parcelas
Tortillerías	Transforman el maíz en tortillas para el consumo humano	Compran el maíz a los productores, venden sus tortillas a los consumidores de maíz
Consumidores de tortillas	Consumen las tortillas de las tortillerías	Compran tortillas en las tortillerías
Consumidores de queso	Consumen queso	Compran queso ya sea en tiendas o en mercados o directamente con los productores de queso
Tiendas o mercados en donde se vende el queso	Exhiben los quesos y los venden	Los compradores de queso llegan a los lugares físicos a comprar queso

Como se puede observar en la tabla, existen varias interacciones entre los diferentes actores de este sistema, sin embargo, la que tiene más interacciones es la de los productores de maíz, resaltando su importancia en el sistema alimentario, tanto para la producción de maíz de grano que termina como tortillas, como para la producción de maíz para el silo de las vacas.

A continuación, se presenta una tabla con el flujo de la transformación del maíz tanto para la elaboración de tortilla, como para la producción de silo para alimentar al ganado.

Cuadro 2. Diagrama de flujos y transformación del maíz.



Conversación con productores y técnicos.

A partir de la creciente preocupación por el deterioro acelerado del suelo agrícola, las y los productores de maíz del municipio, junto con agrónomos y médicos veterinarios, deciden realizar pruebas en sus parcelas utilizando bioinsumos. Esto con el objetivo de implementar prácticas que ayuden a frenar el deterioro y a incrementar los rendimientos.

Cabe resaltar, que los bioinsumos son elaborados de forma local tanto por productores como por técnicos agrícolas. Ya se tenían experiencias previas en la elaboración e implementación de bioinsumos a pequeña escala, sin embargo, por la creciente preocupación del deterioro del suelo, se decidió hacer una producción a escala mayor. Los bioinsumos que se elaboran, están conformados principalmente por consorcios bacterianos, ácidos húmicos, estimulantes para crecimiento radicular y productos de biocontrol, buscando que sean benéficos para el suelo, pero sin perder de vista la rentabilidad en la producción de maíz. Una vez que se tuvieron los bioinsumos listos, se implementaron parcelas demostrativas en colaboración con más productores. Esto se puede vincular con el nivel 2 del proceso de transición agroecológica que menciona Gliessman.

Para los productores de maíz, mantener la salud del suelo, se ve reflejada en el incremento de rendimientos y en la disminución de la dependencia de insumos externos, utilizando los bioinsumos que se elaboran en la localidad. Por otro lado, la producción de maíces libres de tóxicos es otro de los objetivos de esta iniciativa.

Uno de los técnicos de bioinsumos, menciona que se han identificado con algunas resistencias tanto del lado de las y los productores, como de los técnicos agrícolas, ya que consideran que un esquema de regenerativo de suelo no va a dar los rendimientos que se alcanzan con modelos de agricultura convencional. Dicho esquema considera la utilización de bioinsumos y la reducción del uso de agroquímicos, rotación de cultivos, incorporación de la materia orgánica de residuos de cosecha y de los desechos del ganado y labranza mínima.

Otro factor que ha dificultado la adopción de prácticas agroecológicas es la desconfianza que se tiene hacia los técnicos y a los programas como Producción para el bienestar. Un productor menciona que si bien, en las escuelas de campo, están aprendiendo a elaborar sus propios bioinsumos y a implementar técnicas agroecológicas para la producción de maíz y de leche, no existe un control de calidad adecuado, es decir, no hay un proceso estandarizado para la elaboración de bioinsumos ni una metodología clara para la transición agroecológica, esto genera desconfianza ante las propuestas de los técnicos de campo.

Otra de las acciones que se realiza en esta iniciativa, es demostrar que, los esquemas de regeneración del suelo son rentables y productivos. Se menciona que han logrado implementar estas prácticas a más de 100 hectáreas del municipio, la mayoría son productores en la modalidad de riego.

Con respecto al rendimiento, reportan que han alcanzado en el maíz de grano, 13 toneladas por hectárea -el promedio en la región es de 7 toneladas- y para el maíz para ensilaje, en donde el promedio de la región alcanza las 50 toneladas por hectárea -el maíz para ensilaje se cosecha en verde y se aprovecha toda la planta- se han reportado rendimientos de 75 toneladas por hectárea.

En lo que respecta a la disposición del maíz en el sistema alimentario se menciona que el maíz grano o maíz blanco, se vende a las tortillerías del municipio. En el caso del maíz para ensilaje, se utiliza como alimento para ganado bovino lechero.

En la cadena de producción se han identificado pérdidas, especialmente en el maíz para silo, desde el proceso de la cosecha, ya que, al levantar la planta completa, se van perdiendo una parte en el traslado, otro punto de pérdida es al momento de hacer el ensilado (el ensilaje es un proceso de fermentación anaeróbica), si este proceso se realiza mal, el alimento se contamina con hongos y bacterias no se le puede dar al ganado en esas condiciones.

Dentro de la conversación con los productores surge un tema que no había considerado. El precio del maíz, que está bajo especulación. Un productor menciona que no existe un modelo de agricultura por contrato para la venta de maíz. Que se produce por la demanda del mercado, esto representa problemas económicos importantes. En el 2025, las condiciones climáticas favorecieron la producción de maíz para ensilaje en el municipio, las lluvias fueron abundantes, sin embargo, el precio de la tonelada del maíz, cayo de forma estrepitosa, afectando la economía de los productores.

En caso contrario, en el 2024, el precio del maíz era alto, sin embargo, las condiciones climáticas fueron poco favorables, en el municipio se presentó una sequía y esto redujo la producción de maíz significativamente.

Finalmente, un productor menciona que para fortalecer el sistema alimentario y contribuir a su sostenibilidad, debe iniciar por la protección de la salud del suelo, ya que esto se verá reflejado en la producción de alimentos saludables y para el productor es rentable. Por otro lado, acortar las distancias en los mercados, promover el consumo local, además de generar espacios para las y los productores puedan ofertar sus productos; trabajar en un esquema de agricultura por contrato e incentivar los créditos para la inversión en la producción.

Conclusiones

A partir de la conversación con los productores y los técnicos, se pueden identificar algunas de las prácticas que menciona Gliessman en los niveles de transición agroecológicas.

Por ejemplo, acciones que se pueden enmarcar en el nivel 1, están la reducción en el uso de agroquímicos, uso de cantidades exactes de fertilizantes en combinación con bioinsumos, además, de la gradual sustitución por los insumos externos, reduciendo el riesgo en la disminución de rendimientos, para garantizar una ganancia para las y los productores.

Dentro de las acciones que se implementan en los esquemas de conservación de suelos, se promueve la rotación de cultivos, la asociación de cultivos, los acolchados, el uso de abonos naturales como el estiércol de vaca, la labranza mínima, entre otras, estas acciones entran en el nivel 2 al que refiere Gliessman.

Sin embargo, considero que esta iniciativa se centra en la implementación de prácticas agroecológicas y que no está cuestionado estructuras que generan opresión para las y los productores como la falta de modelos de agricultura por contrato y la demanda de precios de garantía que permitan tener ingresos suficientes para tener un nivel de vida digno.

Si bien la iniciativa resulta interesante y es un buen inicio para la transición agroecológica, la falta de articulación en el sistema alimentario, que incluye todo el proceso desde la producción hasta la disposición de alimentos, se traduce en esfuerzos individuales que no trastocan las lógicas que reproducen, de forma sistemática, el abandono de las y los productores de pequeña escala.

En ese sentido, en la iniciativa presentada, el carácter social del proceso de transición agroecológica tiene que fortalecerse con el objetivo de transformar las actitudes y los valores de los diferentes actores dentro del sistema alimentario.

Referencias

- Ayala, A., Schwentesius, R., de la O, M., Preciado, P., Almaguer, G., & Rivas, P. (2013). Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. https://doi.org/10.22231/asyd.v10i4.132
- Calderón A, García F, Martínez G. 2006. Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. Revista MVZ Córdoba 11(1): 725-737
- Gliessman, S., Rosado-May, F., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V., Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, *16*(1). Recuperado a partir de https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/134
- Gobierno de México, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Agricultura Nacional, un orgullo de México*.
- Gobierno de Tulancingo. (2025). *Secretaría del campo cuenta con información actualizada en torno al ciclo de siembra primavera–verano 2025*.
- Gobierno de Tulancingo. (2025). *En colaboración con SADER Hidalgo comenzó en Tulancingo ciclo de capacitaciones a sector lechero*.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2023). *Caracterización de maíces nativos en Tulancingo, Hidalgo*.
- Lopera, J, et al. (2016). Producción agroecológica de leche en el trópico de altura: Sinergia entre restauración ecológica y sistemas silvopastoriles. Facultar de Ciencias Agrarias, Universidad de Antoquia. Cra 75 N° 68-87.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (SADER). (2018). *Programa de Concurrencia con las Entidades Federativas.*
- Programa Municipal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial de Tulancingo de Bravo, Hidalgo. (2022).
- El Universal Hidalgo. (2025). *Lluvias favorecen recarga de mantos freáticos y buen desarrollo de cultivos en el Valle de Tulancingo*.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Agroecología y producción biocultural de los maíces nativos en Ixtenco Tlaxcala

Felipe Reyes Fuentes[1], Ameyali Hernández Hernández[2], Luis Llanos Hernández [3]

Resumen

En Ixtenco, Tlaxcala, los agroecosistemas tradicionales sustentados en maíces nativos constituyen espacios donde convergen procesos productivos, alimentarios, ecológicos y culturales. Sin embargo, la incorporación de semillas híbridas y prácticas agrícolas dependientes de agroquímicos ha favorecido procesos de erosión biocultural, expresados en la disminución de la agrobiodiversidad y el debilitamiento de prácticas asociadas a la milpa. El objetivo de esta investigación fue analizar la producción cultural vinculada con los maíces nativos mediante la comparación entre sistemas agroecológicos sustentados en maíces nativos y sistemas convencionales basados en maíces híbridos, para determinar su relevancia biocultural en la sociedad otomí de Ixtenco. Se empleó una metodología mixta que incluyó 20 entrevistas semiestructuradas y el Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB), mediante el cual se estimaron cuantitativa y cualitativamente distintos procesos bioculturales. Los resultados mostraron que los agroecosistemas con maíces nativos alcanzaron niveles altos de producción biocultural en siete de los nueve procesos evaluados, entre ellos diversidad alimentaria, gastronomía, prácticas rituales, producción artesanal, expresiones artísticas, transmisión intergeneracional de conocimientos y conservación de semillas nativas. En contraste, los sistemas convencionales presentaron niveles bajos o incipientes de producción biocultural. Se concluye que los maíces nativos constituyen entidades bioculturales que articulan agrobiodiversidad, conocimientos, prácticas alimentarias, expresiones simbólicas e identidad territorial, por lo que su conservación resulta fundamental para la continuidad de la herencia biocultural otomí.

Palabras clave: maíces nativos, saberes indígenas, cultura otomí

Abstract

In Ixtenco, Tlaxcala, traditional agroecosystems based on native maize constitute spaces where productive, food-related, ecological, and cultural processes converge. However, the introduction of hybrid seeds and agricultural practices dependent on agrochemicals has contributed to processes of biocultural erosion, reflected in the decline of agrobiodiversity and the weakening of practices associated with the milpa. This research aimed to analyze the cultural production linked to native maize by comparing agroecological systems based on native maize with conventional systems based on hybrid maize, in order to determine their biocultural relevance within the Otomi society of Ixtenco. A mixed-methods approach was employed, including 20 semi-structured interviews and the Agroecosystem Biocultural Production Index (ABPI), which was used to quantitatively and qualitatively assess different biocultural processes. The results showed that agroecosystems based on native maize reached high levels of biocultural production in seven of the nine processes evaluated, including food diversity, gastronomy, ritual practices, handicraft production, artistic expressions, intergenerational transmission of knowledge, and native seed conservation. In contrast,

[1] Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo:freyesf@chapingo.mx
[2] Profesora investigadora de la Universidad Autónoma Chapingo, Correo: ameyalihdez@yahoo.com.mx
[3] Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo, Correo: luisllanos2021@gmail.com

conventional systems exhibited low or incipient levels of biocultural production. It is concluded that native maize varieties constitute biocultural entities that articulate agrobiodiversity, knowledge, food practices, symbolic expressions, and territorial identity; therefore, their conservation is fundamental to the continuity of Otomi biocultural heritage.
Keywords: native maize, indigenous knowledge, otomi culture

Introducción

El proyecto de investigación se desarrolló en la comunidad otomí de San Juan Ixtenco, Tlaxcala, ubicada en las laderas del volcán La Malintzin. Este territorio indígena posee una amplia herencia biocultural que se manifiesta en la conservación de agroecosistemas tradicionales cuyo eje articulador es la milpa y los maíces nativos. Asimismo, en Ixtenco persisten conocimientos vinculados con la medicina tradicional, como la práctica del temazcal y el uso de plantas medicinales.

Los agroecosistemas de Ixtenco tienen como componente central al maíz, el cual no solo destaca por la producción de grano, sino también por los múltiples beneficios culturales, sociales, ambientales y simbólicos que genera, al constituirse como base de modos de vida singulares. En este sentido, la milpa representa un espacio donde convergen procesos productivos, alimentarios, ecológicos y culturales que han permitido la continuidad histórica de la sociedad otomí.

No obstante, durante las últimas tres décadas se ha intensificado un proceso de erosión biocultural asociado con la incorporación de semillas híbridas y prácticas agrícolas con agrotóxicos en las parcelas de la comunidad. Cuando las y los campesinos sustituyen las semillas nativas por maíces híbridos, se desencadenan transformaciones que implican la eliminación de especies vegetales asociadas al agroecosistema, reduciendo la diversidad alimentaria y debilitando las prácticas culturales vinculadas con la milpa, tanto dentro como fuera de la parcela.

Bajo esta perspectiva, el supuesto que orienta la presente investigación es que el sistema agroecológico basado en maíces nativos promueve dinámicas que favorecen la conservación y el fortalecimiento de la diversidad biocultural, al integrar múltiples especies, conocimientos y prácticas tradicionales.

En este contexto, la investigación tiene como objetivo analizar la producción cultural vinculada con los maíces nativos mediante la comparación entre dos sistemas de producción: el agroecológico, sustentado en maíces nativos, y el convencional, basado en maíces híbridos, con la finalidad de determinar la relevancia biocultural de estos agroecosistemas en la sociedad otomí de Ixtenco, Tlaxcala.

Antecedentes

Un producto biocultural es un bien, práctica o resultado que emerge de la interacción histórica, ecológica y cultural entre las comunidades humanas y la biodiversidad de su territorio. No se trata únicamente de un recurso natural ni de una creación cultural aislada, sino de una síntesis dinámica entre la naturaleza y la cultura, construida históricamente mediante procesos de manejo, selección, uso y significación simbólica (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

En este contexto, las entidades bioculturales se encuentran profundamente vinculadas con el conjunto de conocimientos, prácticas, símbolos y recursos biológicos que las sociedades han desarrollado en relación con su entorno. Por ello, un producto biocultural no solo posee una dimensión material, como puede ser un alimento, sino que también integra dimensiones ecológicas, sociales, económicas y simbólicas.

Ixtenco se localiza en el Altiplano central mexicano, una región donde la producción biocultural del maíz posee profundas raíces históricas que se remontan al periodo prehispánico y articulan procesos agrícolas, rituales, artísticos y simbólicos. En esta comunidad, los maíces nativos constituyen entidades centrales en la configuración de la vida social y cultural, cuya continuidad puede rastrearse desde contextos arqueológicos tempranos hasta expresiones rituales contemporáneas.

Uno de los antecedentes más relevantes para comprender la trascendencia biocultural del maíz en Mesoamérica son los hallazgos arqueobotánicos de la Cueva de Coxcatlán, ubicada aproximadamente a 136 km de Ixtenco, e investigada por Richard Stockton MacNeish en el Valle de Tehuacán. Estas investigaciones documentaron algunos de los vestigios más antiguos de domesticación del maíz, asociados con procesos tempranos de agricultura y sedentarización. Los restos arqueológicos encontrados muestran la coexistencia de maíz, chile, calabaza y otras especies útiles, evidenciando que la agricultura mesoamericana se desarrolló, desde hace más de 4,500 años, como un sistema diversificado y no como monocultivo (MacNeish, 1967; Smith, 1967).

En Tlaxcala, la relevancia simbólica y ritual del maíz quedó plasmada en diversas expresiones artísticas prehispánicas. Los murales de Cacaxtla representan escenas asociadas con la fertilidad, el agua, la guerra y la agricultura, donde el maíz aparece vinculado con deidades y ciclos cósmicos. Particularmente, el denominado “Templo Rojo” integra iconografía relacionada con el inframundo, el maíz y la regeneración de la vida (López Austin, 1994; Matos Moctezuma, 2010).

De igual manera, los murales del Palacio de Gobierno de Tlaxcala, elaborados por Desiderio Hernández Xochitiotzin, representan escenas históricas y rituales vinculadas con el origen del maíz, las fiestas agrícolas y las prácticas ceremoniales de los pueblos tlaxcaltecas. Estas obras funcionan como “códices contemporáneos” que sintetizan la memoria histórica y agrícola de la región (Gobierno del Estado de Tlaxcala, 2020).

Asimismo, en Tlaxcala se han localizado esculturas prehispánicas relacionadas con el culto agrícola y las deidades del maíz. Diversos hallazgos arqueológicos muestran representaciones antropomorfas asociadas con la fertilidad, la lluvia y la abundancia agrícola, lo que evidencia la centralidad del maíz como símbolo de supervivencia colectiva y continuidad cultural (Matos Moctezuma, 2010).
La importancia del maíz también quedó registrada en códices mesoamericanos y tlaxcaltecas, donde aparecen escenas agrícolas, calendarios rituales y ceremonias vinculadas con la siembra y la cosecha. En documentos como el Códice Borgia y el Lienzo de Tlaxcala se

observan representaciones del maíz relacionadas con la organización del tiempo ritual y la vida comunitaria (Caso, 1967; Glass y Robertson, 1975).

En el plano ritual contemporáneo, el maíz continúa siendo el eje articulador de fiestas y prácticas ceremoniales en Tlaxcala e Ixtenco. Entre la población otomí-yühmu de Ixtenco persisten ciclos rituales asociados con la bendición de semillas, la petición de lluvias y la protección de las milpas. El calendario festivo mantiene una estrecha relación con el ciclo agrícola del maíz, considerado simultáneamente alimento y entidad sagrada (Llanos y Santacruz, 2018).

En las festividades de Ixtenco destacan danzas, procesiones y rituales agrícolas donde participan semillas, alimentos derivados de la milpa y expresiones artísticas comunitarias. Estas prácticas constituyen mecanismos de transmisión de conocimientos bioculturales y fortalecimiento identitario. Asimismo, las expresiones gastronómicas, textiles y ceremoniales asociadas al maíz continúan funcionando como elementos de cohesión social y memoria histórica.

En conjunto, los antecedentes arqueológicos, artísticos, rituales y etnográficos evidencian que el maíz en Ixtenco, Tlaxcala, no puede comprenderse únicamente como un cultivo agrícola, sino como una entidad biocultural que articula cosmovisiones, sistemas alimentarios, expresiones artísticas y formas históricas de organización territorial.

La presente investigación se justifica por la necesidad de ampliar la comprensión de los agroecosistemas de maíz más allá de los enfoques convencionales centrados exclusivamente en la productividad agrícola. Históricamente, gran parte de las investigaciones realizadas en torno al maíz han estado circunscritas a la evaluación de la producción de biomasa, particularmente al rendimiento de grano por superficie cultivada, soslayando el despliegue cultural, ecológico y simbólico que generan los agroecosistemas campesinos y que no se restringe únicamente a la producción de alimentos.

En este contexto, los sistemas agroecológicos basados en maíces nativos constituyen complejas matrices bioculturales que articulan procesos ecológicos, alimentarios, rituales, artísticos, económicos y sociales. Particularmente en la comunidad otomí de Ixtenco, Tlaxcala, los maíces nativos representan entidades centrales en la organización de la vida comunitaria, debido a que dinamizan prácticas gastronómicas, ceremoniales y productivas vinculadas con la milpa, la conservación de semillas y la transmisión intergeneracional de conocimientos.

La relevancia científica de esta investigación radica en que permitirá analizar la producción biocultural generada por los agroecosistemas de maíces nativos, considerando dimensiones que comúnmente han sido excluidas de los estudios agronómicos convencionales, tales como la producción simbólica, las prácticas rituales, la diversidad alimentaria, la soberanía alimentaria, los conocimientos campesinos y las expresiones artísticas asociadas al maíz.

Asimismo, el estudio adquiere pertinencia social y territorial debido a que en las últimas décadas los agroecosistemas tradicionales de Ixtenco han experimentado procesos de erosión

biocultural derivados de la expansión de semillas híbridas y del modelo agrícola de la Revolución Verde. La incorporación de monocultivos dependientes de insumos de síntesis química ha favorecido la simplificación ecológica del territorio, la disminución de la agrobiodiversidad y la pérdida gradual de prácticas culturales vinculadas con los maíces nativos.

En este sentido, la investigación busca contribuir a la revalorización de los sistemas agroecológicos tradicionales y de los saberes campesinos otomíes, visibilizando que los maíces nativos no solo producen biomasa, sino también identidad cultural, memoria biocultural, diversidad alimentaria y formas históricas de organización territorial. De esta manera, el estudio pretende generar evidencia científica que fortalezca estrategias de conservación biocultural, soberanía alimentaria y manejo agroecológico en territorios indígenas del Altiplano central mexicano.

En este sentido, el objetivo del presente proyecto es analizar la producción cultural vinculada a los maíces nativos, a través de la comparación de dos sistemas de producción agroecológico con maíces nativos y convencional con maíz hibrido, con el fin de determinar la relevancia de esta especie en la sociedad otomí de Ixtenco, Tlaxcala. Para lograr el propósito planteado se planteraon los siguientes o**bjetivos específicos; 1)**Documentar las prácticas, saberes y expresiones bioculturales presentes en los agroecosistemas agroecológicos y convencionales de Ixtenco, Tlaxcala, mediante entrevistas semiestructuradas, con el propósito de identificar las diferencias en su producción biocultural; 2) Analizar comparativamente los agroecosistemas agroecológicos y convencionales de Ixtenco, Tlaxcala, mediante el Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB), con el fin de estimar cuantitativa y cualitativamente su producción biocultural.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló mediante una estrategia metodológica mixta, diseñada con el propósito de dar cumplimiento tanto al objetivo general como a los objetivos específicos planteados.

En una primera fase, se aplicaron 20 entrevistas semiestructuradas para identificar las prácticas, saberes y expresiones bioculturales presentes en los agroecosistemas agroecológicos y convencionales de Ixtenco, Tlaxcala. Para la instrumentación de las entrevistas se retomaron los planteamientos metodológicos de Díaz-Bravo et al. (2013) y Martínez (1995), los cuales permiten recuperar información cualitativa relacionada con conocimientos locales, prácticas culturales y dinámicas territoriales.

La información obtenida fue sistematizada mediante categorías de análisis vinculadas con la producción biocultural de los agroecosistemas, tales como diversidad alimentaria, prácticas rituales, expresiones artísticas, conocimientos agrícolas, gastronomía, uso de semillas nativas y procesos de transmisión cultural.

En una segunda fase, la información recabada se analizó a través del Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB), diseñado heurísticamente por el autor de la presente investigación. La construcción de este índice responde a la necesidad de generar herramientas

analíticas que permitan evaluar dimensiones bioculturales frecuentemente soslayadas en los estudios de perfil agronómico convencional, los cuales históricamente se han concentrado en variables asociadas exclusivamente con la producción de biomasa y rendimiento agrícola.

En este sentido, el IPB permitió estimar cuantitativa y cualitativamente la producción biocultural de los sistemas agroecológicos y convencionales presentes en Ixtenco, considerando indicadores relacionados con la diversidad alimentaria, la producción simbólica, las prácticas culturales, la agrobiodiversidad y la conservación de conocimientos tradicionales. A partir de ello, se realizó una comparación entre ambos sistemas agrícolas con el propósito de analizar su relevancia biocultural dentro de la sociedad otomí de Ixtenco, Tlaxcala.

Finalmente, los parámetros e indicadores que integran el Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB), así como la ecuación utilizada para su estimación, se presentan a continuación.

Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB)

Sea:

- P= número de productos bioculturales generados en el agroecosistema

El índice se define como una función discreta:

$$IPB(P) = \begin{cases} 0 & \text{si } P = 0 \\ 1 & \text{si } P = 1 \\ 2 & \text{si } 1 < P \leq 3 \\ 3 & \text{si } P > 3 \end{cases} \quad (1)$$

Escriba aquí la ecuación.

El índice presenta cuatro gradientes con los umbrales que se presentan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Interpretación del índice de producción biocultural de agroecosistemas

Grado	Parámetros
0	Nula producción
1	Incipiente producción
2	Producción media
3	Alta producción

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos a partir de las entrevistas semiestructuradas y del análisis mediante el Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB) evidencian diferencias sustanciales entre los sistemas agroecológicos con maíces nativos y los sistemas convencionales basados en maíces híbridos en la comunidad otomí de Ixtenco, Tlaxcala.

La información recuperada permitió identificar que los agroecosistemas agroecológicos no se limitan exclusivamente a la producción de biomasa o grano, sino que funcionan como espacios de articulación de procesos culturales, alimentarios, simbólicos y territoriales. En contraste, los sistemas convencionales mostraron una reducción significativa en la diversidad biocultural asociada al cultivo del maíz.

Los resultados del IPB, representados en la Figura 1, muestran que los agroecosistemas con maíces nativos alcanzaron niveles altos de producción biocultural en siete de los nueve procesos evaluados. Entre los principales componentes documentados destacan la diversidad alimentaria, la gastronomía tradicional, las prácticas rituales, la producción artesanal, las expresiones artísticas, la transmisión intergeneracional de conocimientos y la conservación de semillas nativas.

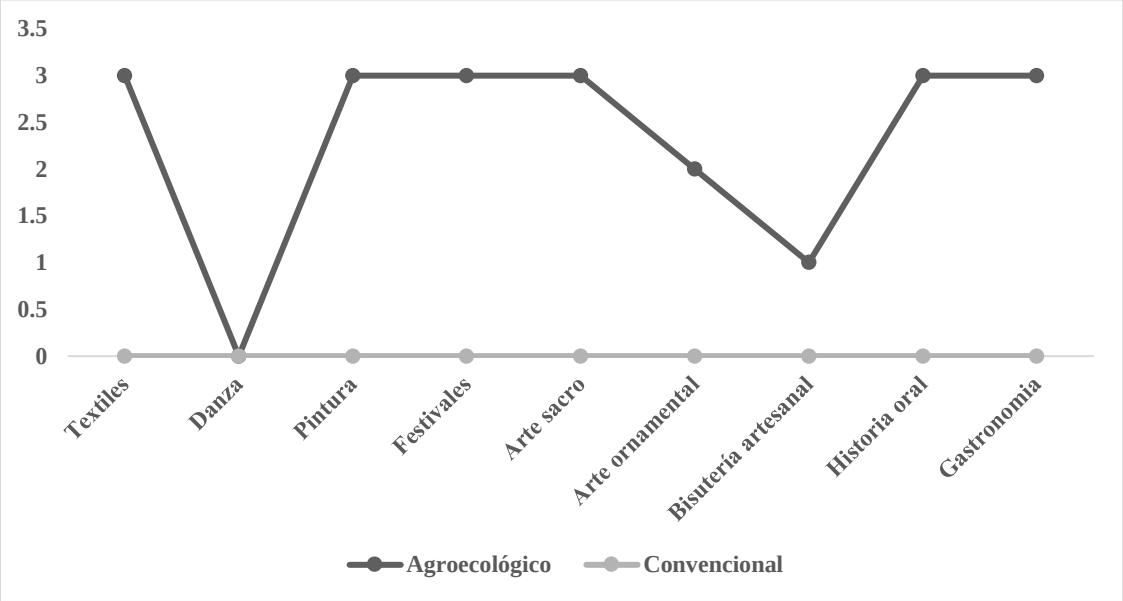


Figura 1. Gráfica comparativa de la producción biocultural en dos sistemas de producción de maíz en Ixtenco, Tlaxcala. Fuente: Elaboración propia.

Las entrevistas evidenciaron que los maíces nativos continúan siendo entidades centrales en la organización de la vida comunitaria, debido a que participan en celebraciones religiosas, intercambios comunitarios, prácticas culinarias, sistemas de reciprocidad y actividades asociadas con el calendario agrícola. Asimismo, las y los entrevistados señalaron que los maíces policromáticos poseen características organolépticas, nutricionales y simbólicas diferenciadas, lo que favorece su utilización en alimentos rituales, bebidas tradicionales y expresiones gastronómicas locales.

En términos alimentarios, los agroecosistemas agroecológicos mostraron una mayor diversificación de productos derivados de la milpa, incluyendo frijol, haba, calabaza, chilacayote, quelites, insectos comestibles, frutos y plantas medicinales. Esta diversidad amplía la disponibilidad de alimentos frescos y culturalmente pertinentes, además de fortalecer procesos de soberanía alimentaria y continuidad de conocimientos locales.

Por el contrario, los sistemas convencionales basados en maíces híbridos presentaron niveles bajos o incipientes de producción biocultural. La información obtenida indica que este modelo agrícola se orienta prioritariamente hacia la maximización del rendimiento y el valor de cambio del grano, promoviendo procesos de simplificación ecológica y homogenización cultural. En este sentido, se documentó que el maíz híbrido genera escasas expresiones

simbólicas y culturales dentro de la comunidad, debido a que no participa de manera significativa en rituales, manifestaciones artísticas ni prácticas gastronómicas identitarias.

De manera particular, las entrevistas revelaron que las y los habitantes de Ixtenco no reconocen al maíz híbrido como un elemento representativo de su identidad cultural, ya que su incorporación a las parcelas suele estar asociada con la eliminación de especies acompañantes de la milpa, el incremento del uso de agroquímicos y la dependencia de insumos externos. Esta situación repercute en la disminución de prácticas tradicionales y en la pérdida de diversidad alimentaria.

Conclusiones

La presente investigación permitió analizar la producción cultural vinculada a los maíces nativos mediante la comparación entre sistemas de producción agroecológicos con semillas nativas y sistemas convencionales basados en maíz híbrido en la comunidad otomí de Ixtenco, Tlaxcala. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre ambos agroecosistemas, particularmente en su capacidad para generar procesos bioculturales asociados a la vida comunitaria.

Los agroecosistemas agroecológicos mostraron una elevada producción biocultural, debido a que los maíces nativos articulan prácticas productivas, conocimientos ecológicos, expresiones simbólicas, manifestaciones artísticas, procesos rituales y mecanismos de cohesión social. Asimismo, estos sistemas favorecen la conservación de la agrobiodiversidad, la transmisión intergeneracional de saberes y la permanencia de prácticas alimentarias culturalmente pertinentes.

En contraste, los sistemas convencionales sustentados en maíces híbridos presentaron una producción biocultural limitada, debido a que su lógica de manejo se encuentra orientada principalmente hacia la maximización del rendimiento y el valor de cambio del grano. Esta condición promueve procesos de simplificación ecológica y homogenización cultural, además de disminuir la diversidad de especies asociadas a la milpa y debilitar múltiples prácticas comunitarias vinculadas históricamente con los maíces nativos.

El Índice de Producción Biocultural de Agroecosistemas (IPB) permitió identificar que los maíces nativos poseen una mayor capacidad para detonar procesos culturales multifuncionales dentro de la sociedad otomí de Ixtenco. Los resultados obtenidos muestran que cuando las comunidades proyectan sus conocimientos y creatividad sobre los maíces nativos se despliega una compleja red de relaciones bioculturales que fortalece la identidad territorial y la memoria histórica comunitaria.

Finalmente, la investigación evidencia que los maíces nativos no pueden comprenderse únicamente como recursos agrícolas destinados a la producción de biomasa, sino como entidades bioculturales que sostienen sistemas alimentarios, conocimientos tradicionales, expresiones simbólicas y formas históricas de organización territorial. En este sentido, la conservación de los agroecosistemas agroecológicos en Ixtenco representa una estrategia fundamental para la preservación de la diversidad biocultural y de la herencia cultural otomí del Altiplano central mexicano.

Literatura citada

- Caso, A. (1967). *Los calendarios prehispánicos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en Educación Médica, 2*(7), 162-167.
- Glass, J. B., & Robertson, D. (1975). *A census of native Middle American pictorial manuscripts*. University of Texas Press.
- Gobierno del Estado de Tlaxcala. (2020). *Murales del Palacio de Gobierno de Tlaxcala*. Gobierno de Tlaxcala.
- Llanos, L., y Santacruz, E. (2018). La soberanía alimentaria y el riesgo ambiental en la construcción social del territorio rural en San Juan Ixtenco, Tlaxcala. *Textual*, (72), 67-101. https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.72.006
- López Austin, A. (1994). *Tamoanchan y Tlalocan*. Fondo de Cultura Económica.
- MacNeish, R. S. (1967). A summary of the subsistence. En D. S. Byers (Ed.), *The prehistory of the Tehuacán Valley* (Vol. 1). University of Texas Press.
- Martínez, A. (1995). *El diagnóstico participativo: Una herramienta de trabajo para las comunidades* (Vol. 13). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Matos Moctezuma, E. (2010). *Los dioses del México antiguo*. Fondo de Cultura Económica.
- Smith, C. E. (1967). Plant remains. En D. S. Byers (Ed.), *The prehistory of the Tehuacán Valley* (Vol. 1). University of Texas Press.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Valorización en cascada de residuos agroindustriales de la Mixteca Poblana mediante *Pleurotus spp.*: una estrategia de bioeconomía circular

José Roberto Zúñiga Silva[1], José Alfonso Pérez Villalba, María del Ángel Velázquez Rojas[1], Juan Carlos Velázquez Aradillas[1]

Resumen

Los residuos generados por las actividades agroindustriales representan una fuente potencial de biomasa susceptible de ser transformada en productos de valor agregado. En la región Mixteca Poblana, la producción de mezcal y azúcar genera residuos lignocelulósicos que frecuentemente son subutilizados, por lo que objetivo de este trabajo fue evaluar el aprovechamiento biotecnológico de bagazo de agave y caña de azúcar como sustratos para la producción de hongos comestibles del género *Pleurotus*, como primera etapa de una estrategia de valorización en cascada. Se evaluaron *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus* mediante un diseño factorial 2 × 5, considerando cinco proporciones de bagazo de agave:bagazo de caña (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100), con cinco repeticiones por tratamiento. Se determinaron peso fresco de los basidiomas, eficiencia biológica y tasa de producción. El análisis estadístico se realizó mediante Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples de Dunn, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los resultados mostraron que ambos residuos pueden ser aprovechados como sustratos para el cultivo de *Pleurotus* y que el incremento en la proporción de bagazo de agave favoreció la producción de basidiomas. Estos resultados sustentan el potencial de los residuos regionales como materia prima para la generación de biomasa alimentaria y constituyen el primer eslabón de un esquema de aprovechamiento en cascada, en el que el sustrato residual podría posteriormente destinarse al desarrollo de bioinsumos, procesos de micorremediación y materiales basados en micelio. La propuesta contribuye al aprovechamiento integral de biomasa regional bajo un enfoque de bioeconomía circular.

Palabras clave: Alimentos, Biotecnología, Desarrollo Regional, Fermentación en Estado Sólido, Sostenibilidad.

Abstract

Residues generated by agroindustrial activities represent a potential source of biomass that can be transformed into value-added products. In the Mixteca Poblana region, mezcal and sugar production generates lignocellulosic residues that are frequently underutilized. Therefore, the objective of this study was to evaluate the biotechnological use of agave and sugarcane bagasse as substrates for the production of edible mushrooms of the genus *Pleurotus*, as the first stage of a cascade valorization strategy. *Pleurotus djamor* and *Pleurotus ostreatus* were evaluated using a 2 × 5 factorial design, considering five agave bagasse: sugarcane bagasse ratios (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100), with five replicates per treatment. Fresh basidiomata weight, biological efficiency, and production rate were determined. Statistical analysis was performed using the Kruskal-Wallis test followed by Dunn's multiple comparisons, with a significance level of $p < 0.05$. The results showed that both residues can be used as substrates for *Pleurotus* cultivation and that increasing the proportion of agave bagasse favored basidiomata production. These results

[1] Complejo Regional Mixteca – Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Carr. Atlixco - Izúcar de Matamoros 141, San Martín Alchichica, 74570 Izúcar de Matamoros, Pue. jose.zuniga@correo.buap.mx, jose.perezvill@alumno.buap.mx, maria.velazquezroj@alumno.buap.mx, juanc.velazquez@correo.buap.mx

support the potential of regional residues as feedstocks for the production of edible biomass and constitute the first step in a cascade utilization scheme, in which the residual substrate could subsequently be used for the development of bioinputs, mycoremediation processes, and mycelium-based materials. This approach contributes to the comprehensive utilization of regional biomass within a circular bioeconomy framework.
Keywords: Food; Biotechnology; Regional development; Solid-state fermentation; Sustainability.

Introducción

Los residuos lignocelulósicos derivados de actividades agroindustriales, como la zafra azucarera y la producción de mezcal, contienen proporciones importantes de celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que constituyen una fuente potencial de carbono y materia orgánica susceptible de ser transformada mediante procesos biotecnológicos. La generación y manejo de estos residuos representan un desafío para la transición hacia sistemas productivos sostenibles, particularmente en regiones donde las actividades agrícolas y de transformación de materias primas tienen relevancia económica. La disposición inadecuada puede favorecer la acumulación de biomasa y la pérdida de recursos potencialmente aprovechables. En este contexto, la transformación de residuos agroindustriales en productos de mayor valor constituye una oportunidad para transitar de modelos lineales hacia esquemas de economía circular, mediante los cuales la biomasa residual puede reincorporarse como materia prima de nuevos procesos.

La problemática adquiere particular relevancia en la región Mixteca Poblana, donde las actividades agrícolas y agroindustriales forman parte de la dinámica productiva del territorio. En el municipio de Izúcar de Matamoros y localidades circundantes, la producción y transformación de caña de azúcar y agave generan corrientes de biomasa residual de interés para su aprovechamiento. El bagazo de agave particularmente ha sido estudiado como sustrato para la producción de *Pleurotus ostreatus*, lo que demuestra su potencial como materia prima para la generación de biomasa comestible (Larios-Ulloa & Ramírez – Muñoz, 2024).

Desde esta perspectiva, el aprovechamiento de residuos agroindustriales no deben limitarse a encontrar un uso alternativo para una biomasa residual, sino orientarse hacia la generación hacia la generación sucesiva de productos y servicios de valor agregado. El concepto de valorización en cascada permite plantear el uso sucesivo de una misma corriente de biomasa para obtener productos de diferente naturaleza, prolongando el aprovechamiento de los residuos y reduciendo la cantidad de material destinada a disposición final. Los residuos lignocelulósicos son particularmente atractivos para este enfoque, debido a que su estructura puede ser transformada mediante procesos biológicos, químicos o físicos. En el caso del cultivo de hongos, esta estrategia permite considerar tanto la biomasa comestible obtenida como los materiales residuales generados después de la cosecha. En la literatura reciente se reconoce el sustrato gastado de hongos (Spent Mushroom Substrate, SMS) como un recurso susceptible de ser aprovechado como enmienda de suelo, fertilizante, materia prima para nuevos cultivos, agente de biorremediación y sustrato para procesos de generación de energía (Kousar et al., 2024; Luo & Chen, 2024).

Entre las alternativas biotecnológicas disponibles, el cultivo de hongos comestibles constituye una estrategia de interés para transformar residuos lignocelulósicos en biomasa alimentaria. El género *Pleurotus* destaca por su capacidad para colonizar y degradar diversos materiales vegetales y por sus requerimientos de cultivo relativamente sencillos. Estudios recientes han demostrado la viabilidad de utilizar diferentes bagazos de agave como sustratos para *Pleurotus ostreatus*, evaluando variables productivas como la eficiencia biológica y la tasa de producción (Larios – Ulloa & Ramírez Muñoz, 2024).

En este sentido, el empleo combinado de bagazo de agave y bagazo de caña puede constituir una alternativa para evaluar la aptitud de residuos disponibles en la región y establecer una primera etapa experimental dentro de un sistema de valorización en cascada. La importancia de *Pleurotus* dentro de esta estrategia radica en que el producto de interés no se limita a los basidiomas o cuerpos frutiferos de los hongos. Durante el crecimiento micelial ocurre una transformación parcial de la matriz ligninocelulósica mediante sistemas enzimáticos extracelulares, modificando las características del sustrato, una vez concluida la producción de basidiomas, el SMS no debe considerarse necesariamente como un nuevo residuo, sino como biomasa secundaria cuyo aprovechamiento requiere caracterización y tratamiento específicos. Las revisiones en literatura reciente señalan aplicaciones potenciales del SMS en la agricultura, producción de fertilizantes, mejoramiento de suelos, generación de energía e incluso sistemas de biorremediación (Kousar et al., 2024; Luo & Chen, 2024).

Una de las rutas de valorización posteriores corresponde a su utilización como enmienda orgánica o materia prima para la elaboración de bioinsumos. El uso agrícola de SMS en agricultura debe plantearse como una posibilidad que requiere evaluación de estabilidad, composición, disponibilidad de nutrientes y seguridad antes de su formulación como bioinsumo. El SMS puede conservar materia orgánica, nutrientes y componentes trasformados durante el cultivo por lo que su incorporación al suelo pude modificar propiedades relacionadas con la fertilidad y la actividad biológica del suelo (Tang et al., 2024). Una segunda ruta potencial corresponde a la micorremediación, entendida como el empleo de hongos o de sus sistemas enzimáticos para transformar, inmovilizar o remover contaminantes presentes en matrices ambientales.Estas aplicaciones deben considerarse rutas prosprectivas para etapas posteriores, ya que en su viabilidad depende del contaminante, la matriz, las condiciones de operación y la seguridad del material resultante (Pardo *et al.*, 2023).

El SMS derivado del cultivo de *Pleurotus spp*., constituye un biomaterial ligninocelulósico parcialmente biotransformado, enriquecido con una red de micelio, enzimas y compuestos orgánicos que conserva propiedades estructurales y funcionales de alto valor. En este contexto la micotectura emerge como un enfoque innovador que aprovecha el crecimiento del micelio para desarrollar materiales de construcción, paneles, empaques y elementos arquitectónicos biodegradables, transformando subproductos agricolas en biomateriales de baja huella ambiental. (Ayuso *et al.*, 2025)

A pesar del creciente interés por el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos mediante *Pleurotus* y por la reutilización del SMS, existe la necesidad de evaluar

combinaciones de residuos disponibles en contextos agroindustriales regionales. Nuestra propuesta de trabajo en la Mixteca poblana (Figura 1), parte de que el bagazo de agave y el bagazo de caña constituyen corrientes de biomasa vinculadas con actividades productivas relevantes, por lo que su aprovechamiento conjunto puede contribuir al desarrollo de alternativas biotecnológicas adaptadas al territorio. Por ello el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes proporciones de bagazo de agave y bagazo de caña de azúcar sobre la producción de *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus djamor*, considerando el peso fresco de los basidiomas, la eficiencia biológica y la tasa de producción, como base experimental para una estrategia de valorización en cascada de residuos agroindustriales regionales.

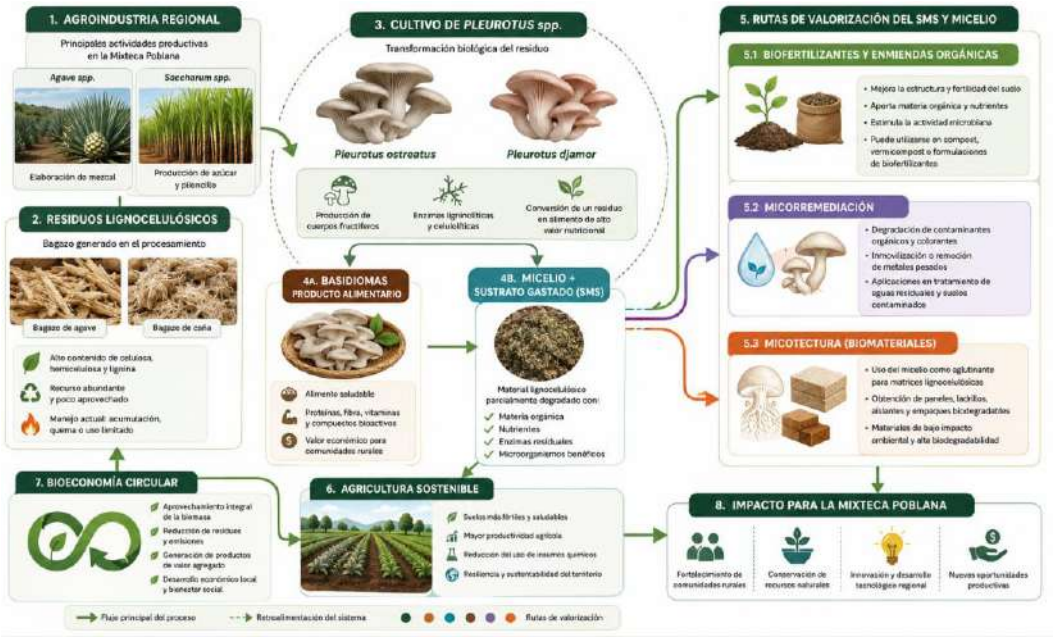


Figura 1. Modelo Conceptual de Valorización integral de residuos agroindustriales mediante micología aplicada en la mixteca poblana. Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, 2026).

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el **Complejo Regional Mixteca de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Izúcar de Matamoros, Puebla**, utilizando bagazo de agave proveniente de fábricas de elaboración de mezcal del municipio de San Diego la Mesa Tochimiltzingo, Puebla, y bagazo de caña de azúcar de la región. Se evaluaron las especies comestibles *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*. Para la producción del inóculo se utilizaron 5 kg de trigo, lavados con agua corriente e hidratados en 10 L de agua durante 12 h. El grano se escurrió hasta alcanzar aproximadamente 70 % de humedad y se adicionó hidróxido de calcio al 5 %. Se colocaron 500 g de grano húmedo en bolsas de polipapel de 14 × 20 cm, las cuales se esterilizaron a 121 °C durante 60 min. Después de 24 h de enfriamiento, cada bolsa se inoculó con un bloque de 7 mm de diámetro de agar PDA colonizado con micelio de la especie correspondiente y se incubó a 25 °C durante 30 días, hasta completar la colonización.

El bagazo de caña se fragmentó en porciones de aproximadamente 2 cm y se lavó por inmersión en agua a temperatura ambiente durante 48 h, realizando cambios de agua para eliminar azúcares residuales. Ambos bagazos se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 20 ppm y se pasteurizaron a 65 °C durante 60 min.

Posteriormente, los sustratos se sumergieron en hidróxido de calcio al 5 % durante 12 h y se escurrieron hasta alcanzar una humedad de 60–65 %. El bagazo de agave fue previamente secado a temperatura ambiente hasta peso constante. Se estableció un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 × 5, con dos especies de *Pleurotus* y cinco proporciones de bagazo de agave:bagazo de caña: T1 = 100:0, T2 = 75:25, T3 = 50:50, T4 = 25:75 y T5 = 0:100. Se evaluaron 10 combinaciones con cinco repeticiones por tratamiento, para un total de 50 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en una bolsa de polipropileno de 20 × 30 cm con 1 kg de sustrato húmedo, inoculado con 3 % de micelio respecto al peso húmedo del sustrato. (Figura 2)



Figura 2. Fructificación en bolsa de Especies de *Pleurotus* usadas en este trabajo.
Fuente: Elaboración Propia

Las unidades experimentales se incubaron a 22 °C, 55–60 % de humedad relativa y oscuridad. Después de la aparición de los primordios, las bolsas se mantuvieron a 18–20 °C y 80–90 % de humedad relativa, bajo iluminación indirecta. La temperatura se controló mediante cámara de crecimiento y se monitoreó diariamente con termohigrómetro digital; durante la fructificación se realizó riego tres veces al día. Los basidiomas se cosecharon manualmente al alcanzar la madurez comercial. Como variables de respuesta se determinaron el peso fresco de los basidiomas (g), eficiencia biológica (EB, %) y tasa de producción (TP). El peso fresco se registró al alcanzar la madurez. La EB se calculó como: EB (%) = [peso fresco de los hongos (g) / peso seco inicial del sustrato (g)] × 100. La TP se calculó como la relación entre la EB y el número de días transcurridos entre la inoculación y la cosecha.

Los datos se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para detectar diferencias entre las combinaciones experimentales, seguida de comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Dunn con ajuste de Tukey. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0.05$, correspondiente a una probabilidad de error tipo I de 5 %. El análisis se realizó con Minitab®. Los resultados se expresaron como media ± desviación estándar.

Resultados y discusión

Los resultados mostraron que la eficiencia biológica (EB) obtenida en el bagazo de agave fue mayor que la registrada en el bagazo de caña de azúcar. Este comportamiento puede atribuirse a diferencias en la composición del sustrato, ya que el bagazo de agave presenta un mayor contenido de polisacáridos estructurales y lignina, compuestos que las especies del género *Pleurotus* son capaces de degradar eficientemente mediante su sistema enzimático lignocelulósico (Wan-Mahari et al., 2020). Estos hallazgos sugieren que el bagazo de agave es una opción más favorable para cultivar Pleurotus, produciendo mejores rendimientos que el bagazo de caña de azúcar. Como se muestra en la Figura 3, los hongos crecieron en tonos de rosa (*Pleurotus djamor*) y gris (*Pleurotus ostreatus*), con una textura algodonosa característica, superficie lisa y branquias decurrentes. Cuando se utilizó bagazo de caña de azúcar, la eficiencia biológica promedió el 31.01%, mientras que con el bagazo de agave alcanzó un 54.34%.



Figura 3 Cuerpos fructíferos de especies de *Pleurotus ostreatus* creciendo en bagazo de agave, siendo el sustrato que presento mayor productividad, después de 27 días de inoculación. Fuente: imagen propia.

Para el análisis estadístico se utilizó, la Prueba de Kruskal-Wallis para detectar diferencias globales entre tratamientos y la comparación de medias tipo Tukey ($p < 0.05$) para determinar diferencias específicas, el analisis se realizó utilizando el Software Minitab®. Los valores presentados en las tablas 3 a a corresponden al promedio ± desviación estándar ($n = 10$). Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Kruskal–Wallis ($p < 0.05$) seguida de la prueba post hoc de Dunn con ajuste de Tukey.

Estos resultados indican que una mayor proporción de bagazo de agave favorece la conversión del sustrato en biomasa fúngica, lo que se refleja en incrementos en el peso fresco y en la eficiencia biológica. Asimismo, la mayor respuesta productiva observada en P. ostreatus sugiere una mejor adaptación fisiológica de esta especie a sustratos con mayor contenido celulósico.

Cuadro 1. Efecto de la composición del sustrato sobre la producción de basidiomas y la eficiencia biológica de *Pleurotus djamor* y *Pleurotus ostreatus*

Tratamiento	**Composición del sustrato**	***P. djamor* Peso fresco (g)**	***P. djamor* EB (%)**	***P. ostreatus* Peso fresco (g)**	***P. ostreatus* EB (%)**
T1	100% Agave	55.0 ± 1.58^{a}	75.0 ± 1.58^{a}	63.6 ± 1.14^{a}	88.4 ± 1.14^{a}
T2	75% Agave / 25% Caña	52.0 ± 1.58^{a}	70.0 ± 1.58^{a}	59.6 ± 1.14^{a}	83.6 ± 1.14^{a}
T3	50% Agave / 50% Caña	45.0 ± 1.58^{b}	62.0 ± 1.58^{b}	53.0 ± 1.58^{b}	73.0 ± 1.58^{b}
T4	25% Agave / 75% Caña	36.4 ± 1.14^{c}	49.6 ± 1.14^{c}	45.6 ± 1.14^{c}	62.6 ± 1.14^{c}
T5	100% Caña	29.0 ± 1.58^{d}	41.0 ± 1.58^{d}	38.4 ± 1.14^{d}	52.0 ± 1.58^{d}

Fuente: Datos Obtenidos en este trabajo

En particular, el desempeño observado en los tratamientos formulados con bagazo de agave resulta relevante debido a la disponibilidad regional de este residuo y a su naturaleza lignocelulósica. El bagazo constituye una fuente importante de carbono estructural, pero su elevada proporción de lignina y la organización de la matriz lignocelulósica pueden limitar inicialmente la accesibilidad de los polisacáridos para el crecimiento fúngico. No obstante, *Pleurotus* spp. posee sistemas enzimáticos ligninolíticos capaces de modificar esta estructura y favorecer la bioconversión del residuo. Estudios realizados específicamente con *P. djamor* y bagazo de agave han demostrado que la formulación del sustrato modifica tanto la eficiencia biológica como el rendimiento y la composición de metabolitos de los basidiomas (Cruz Moreno et al., 2023).

La variación observada entre tratamientos puede interpretarse, por tanto, como consecuencia de una interacción entre la composición del residuo y los requerimientos nutricionales de *P. djamor*. La utilización de bagazo de agave como único componente o en diferentes proporciones puede modificar la relación carbono/nitrógeno, la retención de humedad, la porosidad y la disponibilidad de nutrientes, factores que determinan la velocidad de colonización y la formación de cuerpos fructíferos. Esta interpretación coincide con estudios recientes en los que diferentes residuos agroindustriales produjeron respuestas contrastantes en crecimiento, rendimiento y eficiencia biológica de *P. djamor* (Sharma & Lal 2024).

Los resultados obtenidos en el peso fresco de los basidiomas de *Pleurotus djamor* evidencian que la composición del sustrato ejerce una influencia importante sobre la respuesta productiva del hongo. Esta respuesta puede atribuirse a las diferencias en la disponibilidad y accesibilidad de los componentes lignocelulósicos, así como a la concentración de nutrientes presentes en cada formulación. En especies de *Pleurotus*, la capacidad de degradar lignocelulosa mediante su sistema enzimático permite aprovechar diversos residuos agroindustriales; sin embargo, la eficiencia de esta bioconversión depende de las características fisicoquímicas del sustrato. Estudios recientes muestran diferencias significativas en rendimiento y eficiencia biológica cuando se emplean diferentes residuos lignocelulósicos, confirmando que la naturaleza y proporción de los componentes del sustrato son factores de la productividad (Inci et al., 2025).

Conclusiones

Desde una perspectiva de economía circular, estos resultados adquieren especial relevancia, debido a que la producción de que los hongos del género *Pleurotus* permiten transformar un residuo agroindustrial de bajo valor en biomasa comestible y, posteriormente, generar un sustrato agotado susceptible de nuevas aplicaciones. En este sentido, se ha demostrado que el cultivo de *P. djamor* sobre bagazo de agave puede modificar las características estructurales del residuo, permitiendo su posterior aprovechamiento agrícola. Por lo tanto, la valorización del bagazo mediante *Pleurotus* no debe limitarse a la obtención de cuerpos fructíferos, sino que puede concebirse como un proceso de bioconversión en cascada, en el cual el residuo original se transforma sucesivamente en biomasa fúngica y posteriormente en un SMS con potencial para aplicaciones agrícolas, ambientales o como materia prima para biomateriales (Figura 4).



Figura 4. Tres rutas de bioproductos para una bioeconomía circular en la Mixteca Poblana. **Fuente: elaboración propia con apoyo de inteligencia artificial (ChatGPT, 2026).**

El interés de esta alternativa para la Mixteca Poblana reside en que tanto el bagazo de agave como el de caña presentan una matriz fibrosa susceptible de ser colonizada por

organismos fúngicos. De esta manera, la biomasa regional podría ser aprovechada en diferentes etapas y con distintos propósitos: inicialmente como sustrato para la producción de hongos comestibles; posteriormente, mediante el sustrato gastado, como materia prima para bioinsumos agrícolas o procesos de micorremediación; y, de manera paralela o mediante biomasa micelial seleccionada, como componente de materiales basados en micelio. La investigación reciente sobre biocompuestos de micelio confirma el potencial de combinar residuos agroindustriales con hongos para generar materiales biodegradables, aunque también señala la necesidad de caracterizar sus propiedades mecánicas, físicas, térmicas y su comportamiento durante el ciclo de vida antes de plantear aplicaciones específicas.

Literatura Citada

- Ayuso, P., Quizhpe, J., Peñalver, R., García-Pérez, P., & Nieto, G. (2025). Green valorization strategies of Pleurotus ostreatus and its by-products: a critical review of emerging technologies and sustainable applications. *Molecules*, *30*(21), 4318. https://doi.org/10.3390/molecules30214318
- Cruz-Moreno, B. A., Pérez, A. A. F., García-Trejo, J. F., Pérez-García, S. A., & Gutiérrez-Antonio, C. (2023). Identification of secondary metabolites of interest in Pleurotus djamor using Agave tequilana Bagasse. *Molecules*, *28*(2), 557. https://doi.org/10.3390/molecules28020557
- İnci, Ş., Kirbağ, S., & Akyüz, M. (2025). Valorization of local agro-residues for the cultivation of Pleurotus djamor (Rumph. Ex Fr.) Boedijn and their effects on nutritional value. Biomass Conversion and Biorefinery, 15(15), 22567-22576. https://doi.org/10.1007/s13399-024-05515-3
- Kousar, A., Khan, H. A., Farid, S., Zhao, Q., & Zeb, I. (2024). Recent advances on environmentally sustainable valorization of spent mushroom substrate: A review. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 18(2), 639–651. https://doi.org/10.1002/bbb.2559
- Larios-Ulloa, M., & Ramírez-Muñoz, D. (2024). Bagazos de Agave tequilana, A. angustifolia y A. salmiana para cultivo del hongo Pleurotus ostreatus. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(7), e3394. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3394
- Luo, J., & Chen, L. (2024). Status and development of spent mushroom substrate recycling: A review. Journal of the Air & Waste Management Association, 74(12), 843–860. https://doi.org/10.1080/10962247.2024.2410447
- Sharma, G. N., & Lal, A. A. (2024). Evaluation of Different Substrates for Growth and Yield Parameters of Pink Oyster Mushroom (*Pleurotus djamor)*. *Journal of Experimental Agriculture International*, *46*(12), 197-204 https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i123124
- Tang, Q., Liu, W., Huang, H., Peng, Z., & Deng, L. (2024). Responses of Crop Yield, Soil Fertility, and Heavy Metals to Spent Mushroom Residues Application. *Plants*, *13*(5), 663. https://doi.org/10.3390/plants13050663

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Desarrollo de un modelo para la comercialización de maíz agroecológico en Tlaxcala con enfoque integral para pequeños productores del campo

Jovita Vázquez Rosales[1]; Luis Llanos Hernández[1]; Víctor Herminio Palacio Muñoz[1]; Horacio Eliseo Alvarado Raya[1]

Resumen

El maíz agroecológico de Ixtenco, Tlaxcala, es una herencia cultural Otomí, resultado de la suma de esfuerzos de conservación y selección de muchas generaciones, por lo tanto, con características bioculturales, territoriales y productivos que contribuyen tanto al desarrollo rural como a la conservación de recursos naturales, el problema central es que los productores enfrentan dificultades para posicionar el maíz en el mercado a precios que reconozcan su diferenciación. El objetivo fue analizar la relación entre las prácticas agroecológicas, condición del suelo y comercialización, diferenciada o no, del maíz nativo producido por pequeños productores de una organización campesina de productores de maíces nativos en Ixtenco Tlaxcala. El estudio se realizó como caso descriptivo con información de campo 2025-2026, análisis de suelos de diez muestras, caracterización de los canales comerciales con énfasis en los requisitos del mercado. Los resultados muestran suelos franco-arenosos con alta variabilidad en pH, materia orgánica, fósforo y capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica osciló entre 1.13 y 2.21%, el productor con mayor tiempo de incorporación de residuos de cosecha presentó el valor más alto. Comercialmente los intermediarios locales "coyotes" pagan $6 a $8/kg sin distinguir el manejo agroecológico, mientras que compradores especializados ofrecen $14 a $16/kg dependiendo del color del maíz con requisitos específicos: evidencia del manejo, ausencia de agroquímicos, trazabilidad y calidad del grano. Se concluye que la comercialización del maíz agroecológico requiere evidencia verificable sobre suelo, manejo con registros, origen y con calidad, articular el saber campesino y conocimiento técnico complementando esfuerzos de narrativa cultural.

Palabras clave: agroecología, comercialización, maíz, productores, suelo.

Abstract

Agroecological native maize from Ixtenco, Tlaxcala, is an Otomí cultural heritage shaped by generations of conservation and selection. It holds biocultural, territorial, and productive value, contributing to both rural development and natural resource conservation. However, smallholder farmers face difficulties selling their harvest at prices that reflect this unique value. This study aimed to analyze the relationship between agroecological practices, soil condition, and the marketing, differentiated or conventional, of native maize produced by members of a local peasant organization in Ixtenco, Tlaxcala. A descriptive case study was conducted using field data from 2025–2026, soil analyses from ten plots, and an evaluation of commercial channels and their market requirements. The results showed sandy-loam soils with high variability in pH, organic matter, phosphorus, and cation exchange capacity. Organic matter ranged from 1.13% to 2.21%, with the highest concentration found in fields with the longest history of incorporating crop residues. Regarding commercialization, local

[1] Centro Académico de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. Correo de correspondencia: jovita.vazquez@ciestaam.edu.mx

intermediaries ("coyotes") paid only $6 to $8/kg regardless of agroecological practices. In contrast, specialized buyers offered $14 to $16/kg depending on grain color, requiring proof of agroecological management, absence of agrochemicals, traceability, and physical grain quality. In conclusion, successfully marketing agroecological native maize requires verifiable records of soil health, production practices, origin, and grain quality. Combining traditional peasant knowledge with technical validation is essential to reinforce cultural narratives and secure fair market prices.
Keywords: agroecology, commercialization, maize, smallholders, soil.

Introducción

Los territorios rurales enfrentan presiones simultáneas, externas derivadas de la variabilidad climática, el deterioro de recursos naturales, la pérdida de rentabilidad agrícola e internas como la dificultad para sostener sistemas productivos de pequeña escala, el relevo generacional, el fraccionamiento de propiedades y la falta de acceso a programas de gobierno. En este contexto, la agroecología permite analizar la producción no solo como rendimiento por hectárea, sino como un sistema que integra suelo, biodiversidad, conocimiento local, organización comunitaria y sustentabilidad productiva (Altieri et al., 2017).

San Juan Ixtenco, Tlaxcala, conserva una tradición agrícola relacionada con maíces nativos de colores, sistemas agrícolas de temporal, saberes campesinos asociados con el manejo de la milpa y conservación de recursos genéticos.
En el municipio se cultivan maíces criollos adaptados localmente, la organización campesina de productores adoptó prácticas agroecológicas orientadas a promover salud del suelo, biodiversidad, resiliencia de cultivos y reducción de impactos ambientales como una estrategia para mitigar la baja productividad que se ha observado por el uso del suelo y últimamente por la promoción agroecológica que se ha impulsado desde 2019.

El valor agroecológico y cultural del maíz (diferenciación) no se traduce automáticamente en mejores ingresos, los productores enfrentan un problema central: el mercado convencional compra el grano como grano genérico (commodities), sin reconocer diferencias por origen, manejo agroecológico, diversidad genética, calidad física o conservación de recursos naturales.

La falta de valorización por parte del mercado coincide con los retos documentados para la comercialización de maíces de especialidad en México, donde la diferenciación requiere canales, atributos y mecanismos de confianza que hagan visible el valor del producto (López-Torres et al., 2017).

Introducir el maíz agroecológico en mercados diferenciados depende también de la evidencia técnica que respalde el manejo sustentable del suelo y de la capacidad de comunicar al comprador que el producto proviene de un sistema agroecológico en construcción. Además, la disposición a pagar por alimentos sostenibles se relaciona con la confianza en los atributos ambientales, sociales y de calidad que el comprador puede reconocer (Li & Kallas, 2021).

La hipótesis de trabajo plantea que la comercialización diferenciada del maíz agroecológico puede fortalecerse cuando los atributos bioculturales del producto se acompañan de evidencia técnica sobre manejo del suelo, ausencia de agroquímicos, calidad física y trazabilidad.

El objetivo del trabajo fue analizar la relación entre prácticas agroecológicas, condición del suelo y comercialización diferenciada, junto a la no diferenciada, del maíz nativo producido por pequeños productores de la organización campesina de productores de maíces nativos, con énfasis en atributos de producto, canales y requisitos mínimos de mercado, para proponer el desarrollo de un modelo para la comercialización.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló como estudio de caso descriptivo en la organización campesina de productores de maíces nativos, ubicada en San Juan Ixtenco, Tlaxcala. El análisis se construyó a partir de información de campo generada entre 2025 y 2026, resultados del ejercicio académico de red de valor agroempresarial y sistematización de datos relacionada con prácticas productivas agroecológicas, condición actual de los pequeños productores de maíz de color, condiciones del suelo y comercialización. La unidad de análisis fue la relación entre prácticas agroecológicas, condición del suelo y comercialización diferenciada.

Se integraron 4 componentes: caracterización rural y agroecológica de la cooperativa, revisión de prácticas como incorporación de residuos de cosecha, uso de bioinsumos, manejo de arvenses, conservación de semillas y mantenimiento de biodiversidad, análisis descriptivo de 10 muestras de suelo comparando canales comerciales y sus requisitos mínimos solicitados por compradores especializados.

El muestreo de suelo se realizó mediante la delimitación de unidades homogéneas, considerando topografía, pendiente, profundidad de la capa arable, color, textura, uso del suelo y manejo agronómico. En cada unidad se integró una muestra compuesta a partir de submuestras tomadas en recorrido en zigzag, a una profundidad aproximada 0–30 cm. Las submuestras se mezclaron homogéneamente, se retiraron piedras, raíces, hojas y residuos grandes, y se redujeron mediante cuarteo hasta obtener aproximadamente 1 kg de suelo. La muestra final se colocó en bolsa identificada y se envió al laboratorio. Se evitaron áreas no representativas como orillas de caminos, alambrados, construcciones antiguas y zonas de carga de fertilizantes o agroquímicos. Las muestras fueron procesadas en laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo, siguiendo métodos analíticos establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000, norma oficial mexicana aplicable a estudios de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

Las variables de suelo consideradas fueron pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno inorgánico, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, capacidad de intercambio catiónico, micronutrientes, densidad aparente y textura. La información se analizó mediante estadística descriptiva, rangos de variación y comparación exploratoria entre años de incorporación de residuos de cosecha y materia orgánica. Debido al tamaño de muestra y al carácter no experimental del estudio, los resultados se interpretan como evidencia diagnóstica, no como prueba causal que permita generalizar los resultados.

El componente comercial se abordó mediante la metodología de indagación apreciativa de problemas percibidos de 8 productores de la organización campesina, 13 productores del municipio de Ixtenco, compradores potenciales, complementadores, técnicos de la región con

un total de 32 entrevistas, se elaboró una matriz de canales, precios de referencia, atributos de producto y requisitos de acceso a mercados especializados.

Se distinguieron canales convencionales, venta de semilla, ferias y comprador especializado, buscando explicar por qué el maíz agroecológico puede perder valor cuando se vende sin diferenciación. La presente investigación es un diagnóstico descriptivo con análisis exploratorio de las condiciones actuales de pequeños productores (Ixtenco) de maíces de colores que realizan prácticas agroecológicas.

Resultados y discusión

La organización surgió en un territorio con alta dependencia de la agricultura de temporal con fuerte presencia de maíces criollos. Los productores han adoptado prácticas agroecológicas de manera gradual desde 2022 como parte del impulso que se le ha dado a la agroecología a partir de 2019 en el marco de la estrategia de acompañamiento técnico del gobierno, aunque algunos productores ya venían realizando acciones que contribuyen a mejorar las condiciones de los suelos desde hace 15 años, así mismo ello manejan el uso de especies nativas, manejo de arvenses y su relación con polinizadores, incorporación de residuos de cosecha, aplicación de abonos orgánicos y recuperación de saberes tradicionales.

Esta base productiva articula conservación de semillas, banco de germoplasma, saber campesino, prácticas de manejo del suelo y búsqueda de mercados que reconozcan el valor territorial del maíz. Sin embargo, el proceso aún enfrenta limitaciones: solo el 32% de la superficie total de los productores de la organización se maneja con enfoque agroecológico, la adopción de prácticas no es homogénea y los beneficios económicos no son claros para todos los productores.

El análisis de suelos permite trasladar la discusión agroecológica desde una narrativa general hacia una evidencia técnica mínima. En las diez muestras revisadas, todos los suelos presentaron textura franco-arenosa, lo que obliga a cuidar la retención de humedad, la materia orgánica y el manejo de cobertura, especialmente bajo condiciones de temporal y variabilidad climática.

Los resultados muestran una condición heterogénea entre productores. El pH varió de 5.85 a 8.51; la materia orgánica de 1.13 a 2.21%; el fósforo de 3.27 a 88.6 mg/kg; y la capacidad de intercambio catiónico de 7.96 a 13.70 cmol (+)/kg. Esta heterogeneidad es relevante para la Mesa 5 porque muestra que la agroecología no puede aplicarse como receta uniforme: requiere diagnóstico, manejo por parcela, aprendizaje campesino y acompañamiento técnico.

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos de los productores

Numero de productor/parámetro /años	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
	2	1	2	6	3	1	0	3	1	15
pH:	5.85	8.51	6.33	6.69	6.12	6.04	7.25	5.99	8.33	5.86
CE: dS/m	0.11	0.17	0.05	0.06	0.06	0.03	0.08	0.15	0.12	0.09
MO:%	1.14	1.26	1.14	1.13	1.43	1.20	1.96	1.20	1.14	2.21
N-inorg:mg/kg	21.0	17.5	7.0	14.0	17.5	17.5	10.5	38.5	15.75	21.0

P: mg/kg	33.3	3.27	8.56	8.39	12.7	21.4	7.11	7.81	4.44	88.6
K: mg/kg	185.6	71.96	62.0	50.7	74.4	47.9	86.6	55.9	142.4	132.5
Ca: mg/kg	432.7	1,219	631.9	1,159	587	496	1,257	1,037	792	644.5
Mg: mg/kg	95.2	94.7	90.6	110.7	97.7	80.7	162.4	134	80.2	79.2
Na: mg/kg	218	49.8	210	220	208	208	214	232	203	206
CIC: cmol+/kg	7.96	13.7	9.43	10.3	8.75	8.98	11.4	13.08	10.4	9.87
Fe: mg/kg	45.9	11.8	37.7	21.2	34.6	34.3	23.9	35.1	15.9	68.3
Cu: mg/kg	0.23	0.22	0.16	0.21	0.21	0.21	0.12	0.26	0.16	0.15
Zn: mg/kg	0.81	0.16	0.19	3.05	0.44	0.19	0.64	0.20	0.25	0.45
Mn: mg/kg	2.85	1.46	2.11	2.8	2.5	3.38	2.02	2.61	1.64	2.14
B: mg/kg	0.81	0.49	0.46	0.49	0.49	0.44	0.64	0.53	0.52	0.66
Dap: t/m3	1.39	1.35	1.39	1.35	1.47	1.47	1.39	1.35	1.35	1.35
Textura:	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa.	Franco-arenosa	Franco-arenosa	Franco-arenosa.

Nota. El cuadro presenta los resultados físico-químicos de muestras de suelo correspondientes a 10 productores evaluados en el estudio. P1: Productor 1; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica; N inorg.: nitrógeno inorgánico; CIC: capacidad de intercambio catiónico; Da: densidad aparente. Las unidades de medición son: dS/m para CE; porcentaje para MO; mg/kg para N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn y B; cmol(+)/kg para CIC; y t/m³ para Da. La textura registrada en todas las muestras corresponde a suelo franco-arenoso. Fuente: Elaboración propia a partir de los análisis de suelo de los productores en el ciclo de producción 2025.

Como podemos ver el productor con 15 años de incorporación de residuos de cosecha presentó el mayor valor de materia orgánica, con 2.21%. Este resultado no debe interpretarse como prueba causal, pero sí como evidencia diagnóstica de que las prácticas de manejo del suelo pueden convertirse en un argumento técnico para fortalecer la transición agroecológica y respaldar una comercialización diferenciada.

Cuadro 2. Variables seleccionadas de suelo

Variable	Mínimo	Promedio	Máximo
pH	5.85	6.70	8.51
CE (dS/m)	0.03	0.09	0.17
MO (%)	1.13	1.38	2.21
N-inorg (mg/kg)	7.00	18.02	38.50
P (mg/kg)	3.27	19.56	88.60
K (mg/kg)	47.90	91.00	185.60
CIC (cmol+/kg)	7.96	10.39	13.70
Dap (t/m3)	1.35	1.39	1.47

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de suelos de productores del ciclo de producción 2025.

Los valores de materia orgánica oscilaron entre **1.13 y 2.21%**, lo que evidencia una condición baja a moderada y heterogénea entre productores (Figura 1). Esta variabilidad es relevante porque todas las muestras correspondieron a suelos de textura franco-arenosa, condición que puede limitar la retención de humedad y nutrimentos en sistemas de agricultura de temporal.

Se observa que el productor con **15 años de incorporación de residuos de cosecha** presentó el valor más alto de materia orgánica, con **2.21%**, constituye una evidencia diagnóstica relevante: las prácticas agroecológicas orientadas a reincorporar biomasa al suelo pueden formar parte de una estrategia gradual para recuperar fertilidad, mejorar estructura y aumentar resiliencia productiva frente a la variabilidad climática

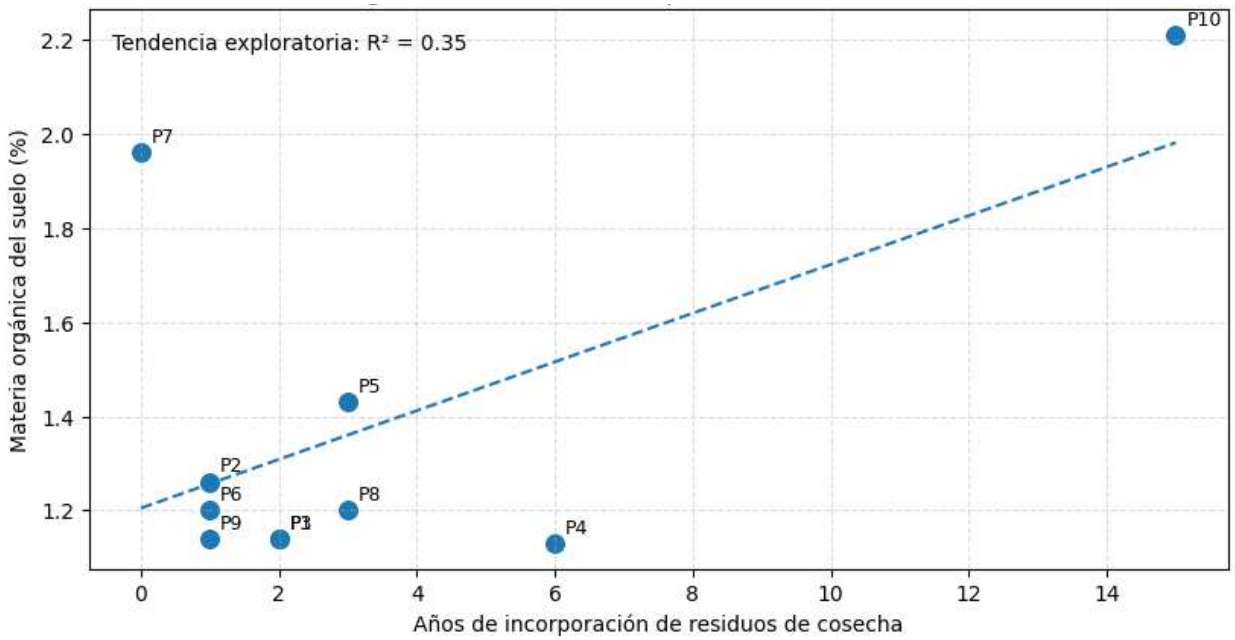


Figura 1.Materia orgánica del suelo e incorporación de residuos de cosecha
Fuente: Elaboración propia con datos de los análisis de suelos del ciclo productivo 2025.

La información de campo muestra que el mercado especializado actualmente solo reconoce el valor del maíz por su color y aún no se reconoce un valor agregado por la condición agroecológica del producto. En particular, el comprador especializado solicita la disminución del uso de agroquímicos, calidad superior del grano, limpieza, humedad adecuada y trazabilidad básica.

Desde la perspectiva de desarrollo rural, esto genera una tensión importante. Por un lado, los requisitos técnicos pueden excluir a productores que no cuentan con recursos, registros o acompañamiento suficiente. Por otro lado, esos mismos requisitos pueden convertirse en herramientas para demostrar el valor del sistema de maíces nativos de colores y se busca que se reconozca el valor agroecológico, mejorar el manejo del suelo y negociar precios superiores.

Por ello, la comercialización diferenciada debe entenderse como una estrategia de valorización agroecológica, no solo como venta de grano.

Cuadro 3. Canales comerciales y relación con la valorización agroecológica

Canal	Precio de referencia ($/kg)	Reconocimiento agroecológico

Intermediarios locales	6-8	Bajo o nulo
Comprador especializado	14-16	Bajo o nulo
Venta de semilla	35	Alto en ciertos casos
Ferias y eventos	Variable	Medio

Fuente: Elaboración propia con información de campo 2025-2026.

La propuesta se enfoca en identificar qué condiciones mínimas permiten que el maíz agroecológico sea reconocido por el mercado sin perder su vínculo con la agroecología. La ruta comercial se basa en cuatro decisiones: i) demostrar prácticas agroecológicas y condición del suelo; ii) separar el maíz por color y lote; iii) comunicar origen, manejo y calidad; y iv) elegir canales que reconozcan atributos y no solo volumen.

La Figura 2 evidencia una brecha importante entre los precios pagados por los distintos canales comerciales del maíz nativo. Los intermediarios locales pagan entre **$6 y $8/kg**, sin reconocer de manera explícita el manejo agroecológico del cultivo. En contraste, el comprador especializado paga entre **$14 y $16/kg**, mientras que la venta de semilla puede alcanzar **$35/kg** en ciertos casos. Sin embargo, el mayor precio no implica necesariamente que el mercado ya esté reconociendo plenamente el valor agroecológico del producto, pues el reconocimiento sigue concentrado principalmente en atributos visibles como el color, la calidad física y el uso específico del grano.

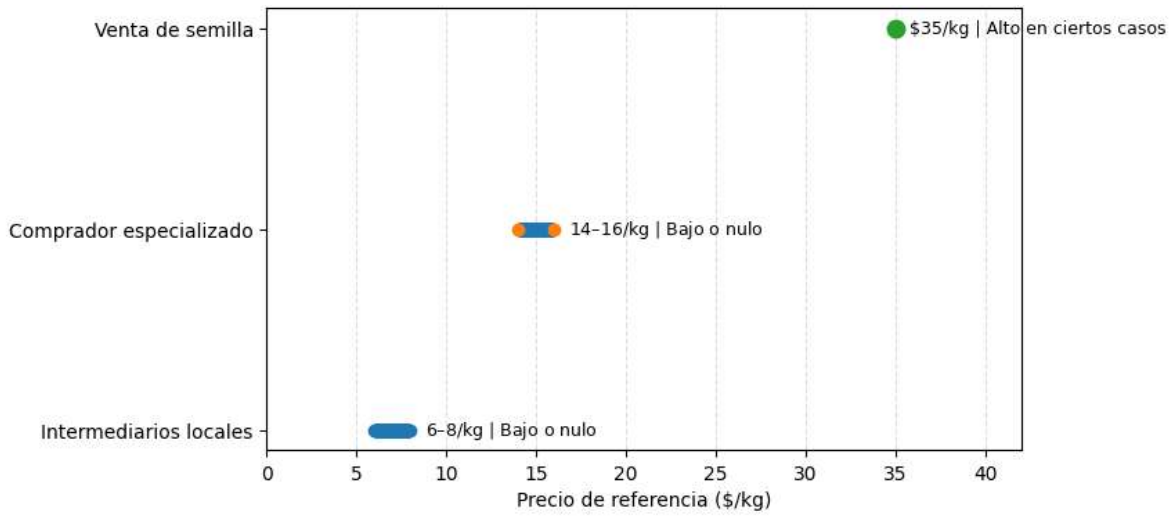


Figura 2. Brecha de precio y reconocimiento agroecológico por canal comercial.
Fuente: elaboración propia con información de campo 2025-2026.

La comercialización diferenciada, en este enfoque, no sustituye el proceso agroecológico. Al contrario, lo vuelve visible. El análisis de suelos permite documentar la situación inicial, orientar prácticas de mejora y respaldar la comunicación del producto. De esta manera, el comprador no recibe únicamente maíz de color, sino maíz con origen territorial, manejo agroecológico verificable y una narrativa respaldada por datos.

La principal implicación es que el precio diferenciado debe justificarse por atributos observables y verificables. El color del grano y la identidad cultural son relevantes, pero no

suficientes. Para insertarse en mercados especializados, los pequeños productores necesitan mostrar limpieza, humedad, trazabilidad, ausencia de agroquímicos, evidencia de manejo de suelo y cumplimiento en entrega. Esta combinación conecta agroecología, desarrollo rural y mercado.

Conclusiones

La organización de productores cuenta con una base territorial y biocultural relevante para posicionar maíces nativos de colores, pero enfrenta el reto de demostrar con evidencia técnica el valor de su sistema productivo agroecológico y los análisis de suelo muestran heterogeneidad entre productores y confirman la necesidad de manejar la agroecología con diagnóstico por parcela. La materia orgánica, el pH, el fósforo y la capacidad de intercambio catiónico pueden utilizarse como indicadores iniciales para orientar prácticas de manejo y documentar avances.

Mientras que la comercialización diferenciada del maíz agroecológico no debe basarse únicamente en discurso cultural o ambiental. Para obtener mejores precios, los productores deben convertir atributos agroecológicos en evidencia comercial: análisis de suelo, ausencia de agroquímicos, origen, calidad física, humedad, color y trazabilidad.

El canal convencional invisibiliza el valor agroecológico al pagar como grano genérico. En contraste, los compradores especializados pueden ofrecer precios superiores, pero exigen cumplimiento técnico y comercial. Por ello, el reto principal es articular saber campesino, medición del suelo y comunicación clara del valor agroecológico.

Literatura citada

- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. Sustainability, 9(3), 1-13. https://doi.org/10.3390/su9030349
- Hodges, R. J., Buzby, J. C., & Bennett, B. (2011). Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. The Journal of Agricultural Science, 149(S1), 37-45. https://doi.org/10.1017/S0021859610000936
- Li, S., & Kallas, Z. (2021). Meta-analysis of consumers' willingness to pay for sustainable food products. Appetite, 163, 105239. https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105239
- López-Torres, B. J., Rendón-Medel, R., & Camacho Villa, T. C. (2017). La comercialización de los maíces de especialidad en México: condiciones actuales y perspectivas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, (15), 3075-3088. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i15.427
- Roldán-Suárez, E., Rendón-Medel, R., Camacho-Villa, T. C., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Gestión de la interacción en procesos de innovación rural. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 19(1), 15-28.
- TAMOA. (2025). Página institucional / Maíces nativos. https://tamoa.mx/es/

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Sistema de producción diversificado como alternativa para la seguridad alimentaria en zonas semiáridas

Emmanuel Eduardo González Medina[1], Margarita Torres Aquino[1], Ernesto Peredo Rivera[1], Rogelio Carrillo González[2]

Resumen
La agricultura en regiones semiáridas enfrenta restricciones asociadas con la disponibilidad de agua, la variabilidad climática y la limitada productividad, lo que representa un desafío para la seguridad alimentaria de pequeños productores. El objetivo de este estudio fue evaluar la productividad de un sistema diversificado de cultivos mediante riego por goteo por gravedad y manejo agroecológico en el altiplano zacatecano. El sistema integró labranza reducida, fertilización de fondo, trampas con feromonas, aspersión de extractos vegetales, control manual de arvenses en el altiplano zacatecano. Se establecieron maíz híbrido A-7573 y criollo, frijol Pinto Saltillo, cilantro, cempasúchil y pasto Sudán. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, correlaciones y análisis de varianza (ANDEVA). Se observaron diferencias significativas entre los materiales y cultivos evaluados. El maíz híbrido A-7573 alcanzó un rendimiento en elote fresco de 19.7 t ha^{-1}, mientras que el criollo produjo 7.25 t ha^{-1}. El frijol registró un rendimiento de 2.7 t ha^{-1}, el pasto Sudán obtuvo un rendimiento de 14.65 t ha^{-1} forraje verde y 3.33 t ha^{-1} de materia seca, el cempasúchil 434,220 flores comerciales ha^{-1}, cilantro 22,400 manojos. En conjunto la integración de especies con diferentes funciones productivas favoreció la diversificación de productos y reduce la dependencia de un solo cultivo. Se concluye que la diversificación de cultivos bajo manejo agroecológico constituye una alternativa para promover sistemas productivos resilientes y sostenibles, contribuyendo a la seguridad alimentaria de pequeños productores ante escenarios de cambio climático.
Palabras clave: diversificación de cultivos, agroecología, seguridad alimentaria.

Abstract
Agriculture in semi-arid regions faces constraints associated with water availability, climate variability, and limited productivity, which represents a challenge for the food security of smallholder farmers. The objective of this study was to evaluate the productivity of a diversified crop system using gravity-fed drip irrigation and agroecological management in the Altiplano Zacatecano. The system integrated reduced tillage, basal fertilization, pheromone traps, application of plant extracts, and manual weed control in the Altiplano Zacatecano. Hybrid A-7573 and landrace maize, Pinto Saltillo bean, cilantro, marigold, and Sudan grass were established. Data were analyzed using descriptive statistics, correlations, and analysis of variance (ANOVA). Significant differences were observed among the materials and crops evaluated. Hybrid A-7573 maize reached a fresh green ear yield of 19.7 t ha^{-1}, whereas the landrace produced 7.25 t ha^{-1}. Bean recorded a yield of 2.7 t ha^{-1}, Sudan grass obtained a yield of 14.65 t ha^{-1} of green forage and 3.33 t ha^{-1} of dry matter, marigold 434,220 commercial flowers ha^{-1}, and cilantro 22,400 bunches. Overall, the integration of species with different productive functions favored product diversification and reduced dependence on a single crop. It is concluded that crop diversification under agroecological management constitutes an

[1] Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Salinas, San Luis Potosí, México. C. P. 7862

[2] Colegio de Postgraduados, Edafología, Campus Montecillo. México, México. C. P. 56264.

alternative to promote resilient and sustainable production systems, contributing to the food security of smallholder farmers under climate change scenarios.
Keywords: crop diversification, agroecology, food security.

Introducción

La agricultura constituye una actividad fundamental para la sociedad al proporcionar alimentos, fibras y diversos recursos esenciales para el desarrollo económico y social. Se prevé que para el 2050, la población mundial alcance 10,000 millones, lo que incrementará la demanda de alimentos y plantea el desafío para mantener una producción agrícola suficiente. En ese contexto, garantizar la seguridad alimentaria (disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad) requiere de implementar prácticas agrícolas sostenibles que aumenten la productividad y simultáneamente, la conservación de recursos naturales y los ecosistemas (FAO, 2025; Godfray *et al.,* 2010).

El incremento de la demanda de alimentos ocurre en un escenario de importantes desafíos ambientales y socioeconómicos, entre los que destacan la degradación del suelo, la disponibilidad limitada de agua y el acceso desigual a los medios de producción. Estas condiciones generan presiones sobre los sistemas agrícolas y limitan los niveles adecuados de productividad. Por ello, la sostenibilidad de estos sistemas constituye un componente fundamental en los desafíos asociados a la seguridad alimentaria (Foley *et al.,* 2011).

A esas condiciones se suma el cambio climático, considerado uno de los principales factores de presión sobre los sistemas agropecuarios. El aumento de la temperatura y las modificaciones de los patrones de precipitación, pueden alterar directamente al sistema agropecuario. Asimismo, fenómenos como las olas de calor intensas, las sequias prolongadas e inundaciones, pueden disminuir la productividad agrícola, incrementar los costes de producción y aumentar la vulnerabilidad de los productores, lo que agrava el problema de la seguridad alimentaria, particularmente a la población más vulnerable (Calicioglu *et al.,* 2019; Raympnd *et al.,* 2021).

Estas condiciones adquieren particular relevancia en las regiones semiáridas, donde se presentan restricciones importantes como limitada disponibilidad de agua y una variabilidad climática que, aunado con los efectos del cambio climático, afectan a la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios y la salud (O'Neill & Boyer 2020) al influir directamente en los recursos naturales como en los hídricos y edafológicos (Breyer *et al.,* 2018). En estas regiones, la dependencia de un número reducido de cultivos puede limitar el rendimiento y la variedad de productos obtenidos ocasionada por condiciones climáticas adversas, asimismo, aumenta la vulnerabilidad de recursos naturales, productiva y la fluctuación de precios en insumos y cosechas (Sunil *et al.,* 2026).

El estado de Zacatecas presenta un predominio de condiciones climáticas semiáridas, caracterizadas por una precipitación limitada con una marcada variabilidad temporal. Se han reportado rangos de temperatura de 6.5 a 29.6 °C. Además, alrededor del 89% de la superficie agrícola está bajo condiciones de temporal (Bautista-Capetillo *et al.,* 2016).

Bajo ese contexto, un reto actual es la gestión de sistemas agrícolas que puedan reducir el riesgo asociado a monocultivos en condiciones semiáridas y que a su vez promuevan la resiliencia del agroecosistema. La diversificación de cultivos se ha propuesto como una estrategia para favorecer un agroecosistema más saludable y resiliente. La inclusión de

esta práctica permite ampliar la disponibilidad de alimentos, mejorar la fertilidad y estructura del suelo, disminuir el ciclo de plagas y enfermedades y la dependencia de productos químicos, así como la reducción de riesgos económicos ligados a la producción y comercialización de cosechas (Sunil *et al.,* 2026).

A pesar de la importancia de esta estrategia, existe la necesidad de evaluar los sistemas diversificados bajo condiciones semiáridas, por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la productividad de un sistema diversificado de cultivos mediante riego por goteo por gravedad y manejo agroecológico en el altiplano zacatecano.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó dentro del predio "Los duraznos" durante el ciclo verano-otoño 2025, ubicado en la comunidad de San Antonio de las Nueces, Pinos Zacatecas, México, Se localiza entre las coordenadas geográficas 22.5294555 N y -101.58528705 W a una altitud de 2164 m.

Establecimiento del experimento

La preparación del terreno consistió en trazo del módulo, limpieza, barbecho, arado y surcado mecanizado. El módulo experimental fue establecido por un perímetro de 17.5×54 metros, lo que representó una extensión de 945 m^2. El área operativa fue definida mediante dos secciones divididas por un pasillo de servicio de 2 metros de ancho. Ambas secciones fueron comprendidas en un área de 17×25 metros cada una, con un área útil de 425 m^2 con 17 camas de cultivo con separación de 1 m entre estas.

Se preparó una fórmula de fertilización órganomineral 60N-60P_2O_5-60K_20 kg ha^{-1}, que consistió en la aplicación de sulfato de amonio, superfosfato de calcio simple y cloruro de potasio mezclado con 5 t ha^{-1} de estiércol de ovino cribado y seco como fuente orgánica. Los fertilizantes junto con el estiércol fueron mezclados y distribuidos de manera uniforme en el centro y a lo largo de las camas de cultivo a 20 cm de profundidad.

Posteriormente, se instaló un sistema de riego por goteo por gravedad. El sistema fue integrado mediante la construcción de una base de cemento y block de 3 × 1.5 × 1.2 m (largo × ancho × alto) para la colocación de dos depósitos de 750 L (uno por sección), con la finalidad de contener el agua y la solución nutritiva y su posterior aplicación al sistema. En cada sección, el sistema correspondió a un circuito cerrado con manguera ¾" y cintilla de riego de calibre 10 mil con emisores localizados cada 30 cm. En cada extremo de los surcos, se colocaron llaves de paso para la inserción de cintilla para el manejo de riego independiente. El Cuadro 1 se presentan los cultivos establecidos en el ciclo verano-otoño 2025.

Cuadro 1. Cultivos establecidos en el módulo diversificado ciclo verano-otoño 2025.

Cultivo	Método de siembra	Nombre científico	Fecha de siembra (2025)	Días hasta emergencia (DDE)	Distancia entre plantas (m)	Densidad (plantas ha^{-1})
Maíz	Directa	*Zea mayz L.*	03/07	9	0.15	66,667
Frijol	Directa	*Phaseolus vulgaris L.*	03/07	9	0.15	66,667
Cempasúchil	Directa	*Tagetes erecta L*	29/07	9	0.30	33,333

Cilantro	Chorrillo	*Coriandrum sativum L.*	04/07	10	--	--
Pasto Sudán	Chorrillo	*Sorghum × drummondii*	06/08	9	--	--

Manejo agronómico de los cultivos

Durante el periodo experimental se aplicó un volumen total de 27 m^3 de agua considerando la superficie útil. El volumen de agua se distribuyó proporcionalmente entre cada cultivo mediante riego por goteo donde a través de fertirriego (Cuadro 2), se suministraron urea, multi-NPK y ácido fosfórico. El control de arvenses se realizó manualmente. Para el manejo fitosanitario se realizaron aplicaciones de extractos vegetales de origen comercial, se aplicó BioCrack y aceite de neem, ambos a una concentración de 1 ml L^{-1} de agua, como parte del manejo preventivo y de control.

Cuadro 2. Distribución de agua de riego aplicada al sistema diversificado.

Cultivo	Superficie útil (m^2)	Agua de riego asignada (L)
Cempasúchil	250	8,710
Cilantro	25	871
Pasto Sudán	75	2,613
Maíz	225	7,839
Frijol	200	6,968
Total	**775**	**27,000**

Variables evaluadas

En los cultivos se determinaron variables morfológicas y productivas seleccionadas de acuerdo con las características de cada especie. En frijol, se evaluó número de vainas por planta, número de granos por vaina, etc. en cempasúchil se evaluaron variables asociadas con la floración, como el diámetro de las flores; en pasto sudan se determinó la producción de biomasa fresca y materia seca mediante la deshidratación de una submuestra hasta peso constante, mientras que para el cilantro se cuantificó la producción mediante el número de cortes y manojos obtenidos. En maíz se registraron variables relacionadas con el crecimiento y desarrollo, entre estas altura y número de hojas. La altura se tomó desde la base de la planta, a nivel del suelo (surco) hasta la estructura de mayor altura. El número de hojas, vainas y granos mediante conteo manual y el diámetro de flor utilizando un vernier. La biomasa fresca se obtuvo mediante pesaje directo con báscula. El maíz se evaluó a los 47, 54, 61, 68, 75 y 89 días después de la emergencia (DDE), mientras que el frijol, cilantro y cempasúchil se evaluaron al momento de su respectiva cosecha.

Análisis estadístico

Se realizó estadística descriptiva para los cultivos evaluados cuyos datos presentan media ± desviación estándar (DE). Las variables se sometieron a correlaciones de Pearson con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Se validaron los supuestos de normalidad y homogeneidad. Se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANDEVA-MR) para comparar el número de hojas y la altura de materiales. El rendimiento de maíz se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA). Las comparaciones entre medias se realizaron mediante la prueba post hoc de Tukey ($p \leq 0.01$). Estos resultados se presentan

como media ± error estándar (EE). Los datos fueron analizados mediante el programa Statistica 7.0 y las figuras descriptivas y correlaciones mediante RStudio, la figura de crecimiento de materiales mediante el programa SigmaPlot 10.0.

Resultados

Características morfológicas y componentes productivos de los cultivos

La altura de plantas en el cultivo de frijol al momento de corte presentó una media de 48.60 cm mientras que el número de vainas por planta mostró una media de 29.62. Por su parte, el peso total de granos por planta presentó una media de 50.18 g, con una desviación estándar de 25.43 la cual representó la variabilidad más alta. Por otro lado, el promedio de granos por vaina mostró una media de 5.25 granos, la desviación estándar de esta variable fue la más estable con un valor de 0.51. Las variables morfológicas para el cultivo de frijol se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Variables morfológicas del cultivo de frijol

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Altura de planta (cm)	48.60	32.00	80.00	12.42
Número de vainas	29.62	8.00	56.00	14.18
Promedio de grano/vaina	5.25	4.40	6.20	0.51
Peso total de granos/planta (g)	50.18	15.00	100.00	25.43

La flor de cempasúchil presentó una altura media de 75.60 cm y produjo un promedio de tallos de 8.37. Respecto a las flores totales la media se presentó en 25.45 y el diámetro de flor tuvo un promedio de 8.25 cm con un mínimo de 6.45 cm y 10.75 cm como máximo. La mayor variabilidad mostrada dentro de las variables evaluadas fue de las flores totales (DE 9.89), mientras que la menor variabilidad se reportó en el diámetro con una desviación estándar de 0.94 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables morfológicas de la flor de cempasúchil

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Altura (cm)	75.60	47.00	100.00	8.95
Tallos	8.37	1.00	27.00	5.12
Flores	25.45	4.00	45.00	9.89
Diámetro (cm)	8.26	6.45	10.75	0.94

Durante la etapa productiva del cultivo de cilantro se realizaron tres cortes. La producción promedio fue de 18.66 manojos por corte. En el primer corte se cosecharon 28, siendo este el valor máximo registrado, posteriormente la producción disminuyó hasta un mínimo de 10 manojos. La Figura 1 presenta el número de manojos y cortes respectivamente.



Figura 1. Cortes y número de manojos en el cultivo de cilantro.

El cultivo de pasto Sudán obtuvo una media 1.46 kg de forraje verde, con rangos mínimos de 1.18 kg y un máximo de 1.65 kg, la variabilidad fue baja entre las muestras con una DE 0.17.

Relación entre variables morfológicas y productivas

Al aplicar la correlación de Pearson con un nivel de significancia de $p < 0.05$ para las variables fenológicas del cultivo de frijol, se obtuvieron en su mayoría correlaciones positivas, siendo estadísticamente significativas todas las asociaciones, excepto la relación entre altura y granos por vaina. La correlación más alta se presentó entre el número de vainas y el peso total de los granos por planta ($r = 0.97$). Este resultado es fisiológicamente consistente, ya que un mayor número de vainas se traduce en un incremento proporcional en peso de los granos de frijol (Figura 2).

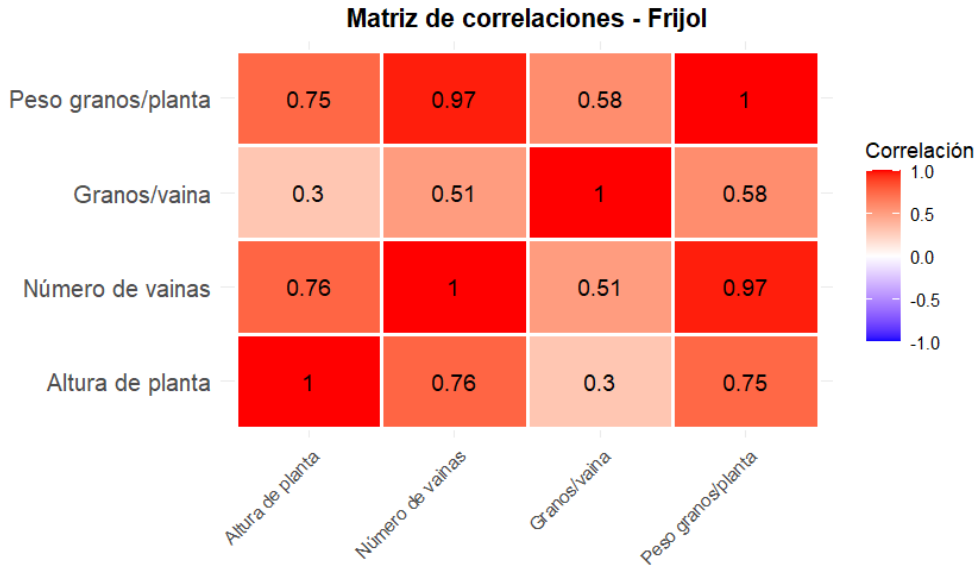


Figura 2. Correlación de Pearson para el cultivo de frijol. Los valores indican la fuerza y dirección de la relación. Colores con mayor intensidad presentan diferencia significativa.

Dentro de la matriz de correlaciones para las variables de flor de cempasúchil se observa una relación negativa ($p < 0.05$) entre altura de planta y el diámetro de flor, lo que indica que a menor altura se produce un menor diámetro de flor. En contraste, se presenta una

correlación positiva entre la altura y el número de flores ($p < 0.05$), lo que sugiere que a mayor altura la planta tiende a generar mayor cantidad de flores. La Figura 3 presenta los datos r de cada relación entre variables.

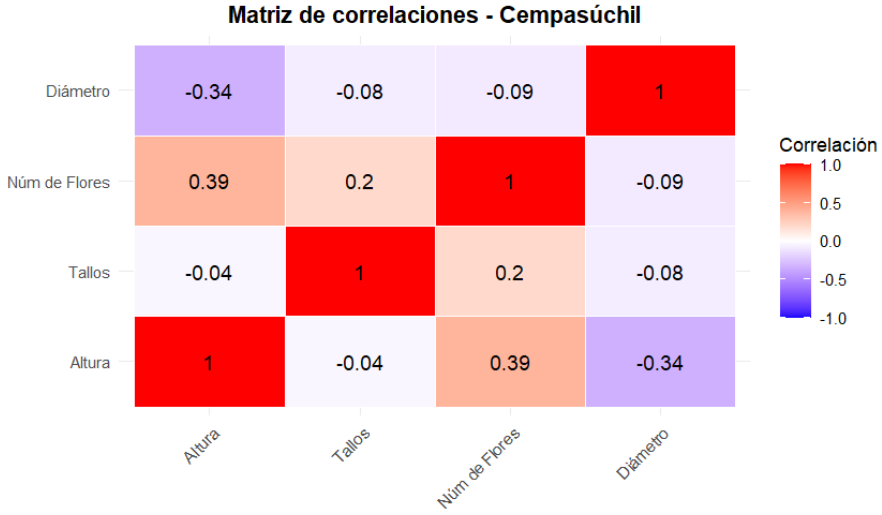


Figura 3. Correlación de Pearson para el cultivo de cempasúchil. Los valores indican la fuerza y dirección de la relación. Colores con mayor intensidad presentan diferencia significativa.

El cultivo de maíz presentó diferencias significativas con respecto al número de hojas al comparar la variedad criolla con el híbrido A-7573. En las dos primeras evaluaciones realizadas a los 47 y 54 Días después de la emergencia (DDE) no presentaron diferencias estadísticas. A partir de los 61 DDE, el híbrido mostró una mayor cantidad de hojas, alcanzando un total de 16.83 ± 0.26 hojas mientras que la variedad criolla finalizó con un total de 10.11 ± 0.36 hojas. Estas diferencias estadísticas se presentaron en cuatro de las seis evaluaciones realizadas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de hojas en dos materiales genéticos de maíz.

DDE^{+}	A-7573	Criollo
47	11.22 ± 0.24	11.44 ± 0.34
54	12.67 ± 0.19	12.22 ± 0.26
61	14.11 ± 0.14*	12.22 ± 0.20
68	15.00 ± 0.18*	11.67 ± 0.25
75	15.83 ± 0.20*	11.89 ± 0.28
89	16.83 ± 0.26*	10.11 ± 0.36

$^{+}$: Días después de la emergencia; *: significancia $p < 0.01$.

En cuanto al crecimiento, se observaron diferencias significativas entre materiales. La variedad criolla presentó un crecimiento de 118.38 ± 4.10 a 182.44 ± 5.93 cm, mientras que el híbrido A-7573 pasó de 86.08 ± 2.50 a 174.33 ± 4.58 cm. En cinco de las seis evaluaciones realizadas, la variedad criolla fue estadísticamente superior, sin embargo, en la última medición no se detectaron diferencias significativas entre materiales genéticos (Figura 4).

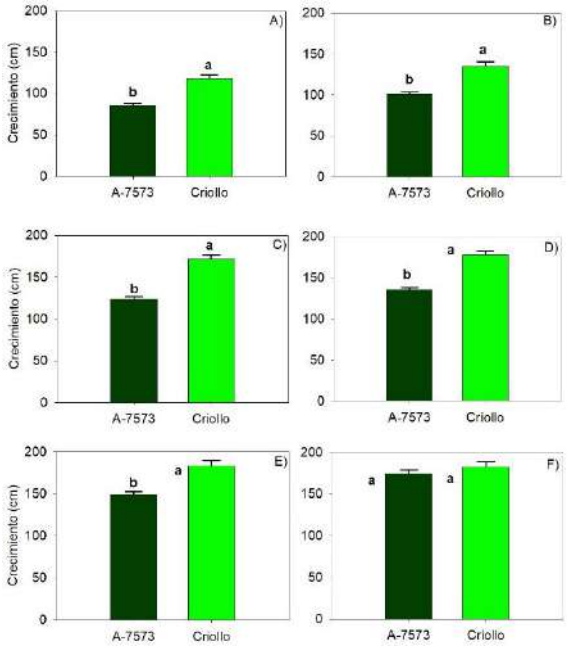


Figura 4. Crecimiento en altura de dos materiales genéticos de maíz. A) 47; B) 54; C) 61; D) 68; E) 75; F) 89 DDE. Los valores corresponden a media ± Error estándar. Letras distintas indican diferencias entre materiales.

Producción y rendimiento de los cultivos en sistema diversificado

El frijol presentó un rendimiento promedio de 270 g m^{-1}, equivalente a 2.7 t ha^{-1}. Bajo las condiciones del sistema de producción diversificado evaluado.

El cultivo de cempasúchil presentó un promedio de 72.37 flores m^{-1}, con un peso fresco promedio de 546.88 g m^{-1} de flor. A partir de estos valores, se estimó una producción de 5.47 t ha^{-1} de peso fresco y 723,700 flores ha^{-1}. Con fines de estimación del volumen de flor comercializable, se tomó el 60% de la producción total, lo que correspondió a un rendimiento de 434,220 flores ha^{-1}.

En el cultivo de cilantro, la producción se determinó mediante el número de manojos obtenidos. Se registraron 56 manojos equivalentes a 2.24 manojos m^{-1}. Al extrapolar este valor a una superficie de una hectárea, el rendimiento estimado fue de 22,400 manojos ha^{-1}.

El pasto Sudán presentó un rendimiento promedio de 1.465 kg m^{-1} equivalente a 14.65 t ha^{-1} de materia fresca. En términos de materia seca, el rendimiento promedio fue de 333 g m^{-1}, lo que corresponde a 3.33 t ha^{-1}. Estos valores reflejan la capacidad productiva del cultivo bajo las condiciones del sistema diversificado evaluado.

El peso fresco de elote presentó diferencias significativas entre materiales evaluados. El híbrido A-7573 presentó un rendimiento promedio de 1970 ± 118.72 g m^{-1}, equivalente a 19.7 t ha^{-1}, mientras que la variedad criolla alcanzó un rendimiento de 7.25 t ha^{-1}. La prueba de Tukey confirmó diferencias significativas entre ambos materiales ($p < 0.01$), con un rendimiento de elote fresco significativamente mayor en el híbrido A-7573.

Además de la producción destinada potencialmente para el consumo de alimentos, los componentes del sistema diversificado permitieron generar productos con la posibilidad de comercialización. A partir de los rendimientos obtenidos, se estimó el ingreso bruto potencial para una superficie de 0.25 ha. Dichas estimaciones permitieron identificar la

contribución potencial de los diferentes componentes del sistema diversificado (Cuadro 6).

Cuadro. Estimación del ingreso bruto potencial de los componentes del sistema de producción diversificado.

Cultivo	Indicador de rendimiento	Rendimiento	Precio de venta*	Ingreso bruto estimado (0.25 ha^{-1}) (MXN)	Dimensión de la seguridad alimentaria
Maíz A-7573 (elote)	Elote fresco	19.7 t ha^{-1}	$5.48 pieza	$26,989	Acceso y disponibilidad
Maíz criollo (elote)	Elote fresco	7.25 t ha^{-1}	$5.48 pieza	$9,932.50	Acceso y disponibilidad
Frijol pinto saltillo	Grano	2.7 t ha^{-1}	$16.25 kg	$10,968.75	Acceso y disponibilidad
Cilantro	Manojos	22,400 manojos ha^{-1}	$5 por manojo	$28,000	Acceso económico
Cempasúchil	Flores (docenas)	434,220 flores ha^{-1} (36,000 docenas ha^{-1})	$25 por docena	$226,156	Acceso económico
Pasto Sudán	Forraje (materia seca)	14.65 t ha^{-1} biomasa fresca (3.33 t ha^{-1} MS)	$5.68 kg	$20,803	Acceso y Disponibilidad

*Basado en precio rural.

Discusión

La correlación observada en el cultivo de frijol (*P. vulgaris*) permite considerar las variables morfológicas como punto importante en el desarrollo del cultivo. La relación de vainas y el peso de granos presentó una fuerte tendencia positiva (r = 0.97) lo cual coincide con lo reportado por Hernández-Martínez *et al.* (2026) quienes encontraron correlaciones semejantes en frijol Pinto Saltillo con manejo a diferentes porcentajes de humedad y diversas densidades de siembra. Estos autores mencionan que el peso de vaina presentó una relación estrecha con el rendimiento (r = 0.98). Estos resultados refuerzan la interpretación de que la formación de vainas influye directamente el rendimiento de grano.

El rendimiento en el presente trabajo para frijol fue de 2.7 t ha^{-1}, al comparar rendimientos en la zona del altiplano potosino-zacatecano se presentan rangos bajo riego por goteo de 1.1 t ha^{-1} (Hernández-Martínez *et al.,* 2026), otros autores (Rosales-Serna *et al.,* 2021) reportan un rendimiento de frijol Pinto Saltillo de 3.34 t ha^{-1} en Durango, México, bajo un riego de 400 mm durante el ciclo productivo, lo cual contrasta con lo obtenido en este trabajo, sin embargo, el uso de agua aplicado en esta investigación fue menor. En Zacatecas y Aguascalientes Osuna-Ceja *et al.* (2012), al evaluar frijol Pinto Saltillo a temporal, en dos ciclos (monocultivo), de años distintos (2010 y 2011) obtuvieron rendimientos de 0.38 a 1.9 t ha^{-1}. Esto difiere de lo obtenido en este trabajo ya que bajo un manejo agroecológico y riego por goteo bajo gravedad se obtuvieron 2.7 t ha^{-1}.

La flor de cempasúchil (*Tagetes erecta* L.) presentó correlaciones negativas entre altura de planta y diámetro de flor, lo que sugiere que individuos más altos tienden a producir flores de menor tamaño, posiblemente como mecanismo fisiológico para reducir el riesgo

de acame asociado al mayor peso floral. Este resultado contrasta con lo reportado por Thakur y Kaur (2023), quienes al evaluar distintos genotipos de cempasúchil encontraron una fuerte asociación en altura de planta con diámetro de flor, sin embargo, los diámetros presentados están por debajo de los obtenidos en nuestro trabajo (8.26 cm). Por otro lado, la correlación positiva entre número de flores y la altura de planta (r = 0.39) coincide con lo descrito por Usha *et al.* (2014) con un r = 0.59, quienes refieren a plantas vigorosas tienden a generar mayor proliferación floral, lo que indirectamente favorece la capacidad de polinización y producción comercial.

El rendimiento de flor de cempasúchil en esta investigación presentó 5.47 t ha^{-1} en peso fresco bajo el manejo establecido. Autores como Prakash *et al.* (2026) al utilizar (*Tagetes erecta* L.) cv. Pusa Narangi Gainda bajo una aplicación de fertilización combinada de 130:90:100 NPK, estiércol de corral y biofertilizantes (*Azospirillum* y PSB) obtuvieron un rendimiento de 14.47 t ha^{-1} de flores frescas, este resultado contrasta con el obtenido en nuestro trabajo, posiblemente derivado de la fertilización integrada con dosis químicas altas, biofertilizantes y fertilizantes orgánicos en la región de India.

La disminución de la producción de cilantro (*Coriandrum sativum*) se redujo por cada corte sucesivo que pasó de 28 a 10 en su última cosecha. Este comportamiento sugiere que hay una menor recuperación para el rebrote del cultivo posterior al aprovechamiento. Esta información se relaciona con lo presentado por Singh *et al.* (2017) quienes al probar cuatro genotipos de cilantro (DH-5, DH-36, DH-228 y DH-246) y tratamientos con y sin cortes, resultó en disminución del rendimiento en los tratamientos que se efectuaron cortes. A pesar de la disminución de la producción, el cilantro representa una alternativa de interés económico dentro del sistema diversificado. Estudios han demostrado que el cultivo puede generar ingresos económicos, tal como lo describen Chaudhary *et al.* (2023) al probar asociaciones de cultivos como cilantro-nigella (*Nigella sativa* L.) – mungbean (*Vigna radiata* L.) en una zona semiárida de India.

El rendimiento de pasto Sudán dentro del sistema diversificado fue de 14.6 t ha^{-1} de materia fresca y 3.33 t ha^{-1} de materia seca, esto evidencia una producción considerable mediante las condiciones de manejo del sistema diversificado. La producción de este forraje puede estar influenciada por el manejo, tal como proponen Li *et al.* (2023) bajo las condiciones de su experimento, sugieren que el manejo mediante cortes aumenta la productividad. En nuestro estudio, el rendimiento presentado formó parte de un sistema diversificado y no de monocultivo, bajo esa premisa, el rendimiento de 3.33 t ha^{-1} de materia seca representa una contribución a la alimentación de hatos animales como forma alterna de seguridad alimentaria.

El mayor número de hojas obtenido por el maíz (*Zea mayz* L.) A-7573 (16.83 ± 0.26) frente a la variedad criolla posiblemente se deba a que el híbrido exhibe un periodo vegetativo más lento que la variedad criolla, mismo que está asociado a una mayor emisión de hojas lo que permite obtener una mayor intercepción de radiación solar, esto coincide con lo descrito por Santos *et al.* (2024) quienes al utilizar los híbridos Impacto, DK-390 y S-536 obtuvieron 14.30 ± 0.20, 15.00 ± 0.20 y 14.50 ± 0.20 hojas respectivamente, bajo manejo de temporal en Yucatán, México. En la misma investigación presentan los valores de tres maíces locales: Elotillo, Chimbo y San Pableño, donde reportan valores de número de hojas 14.00 ± 0.20; 13.40 ± 0.20; 15.10 ± 0.20, respectivamente bajo mismo manejo, cuyos valores difieren a lo reportado en nuestro trabajo con 10.11 ± 0.36 hojas mediante el sistema diversificado. Mismos autores

presentan para las alturas en híbridos Impacto, DK-390 y S-536 las alturas de 209.10 ± 3.8, 208.90 ± 4.4 y 210.70 ± 3.8 cm, respectivamente, esto difiere a lo observado en este trabajo con valor de 174.33 ± 4.58 cm para el A-7573. Por otro lado, para la variedad criolla se encontró una altura máxima de 182.44 ± 5.93 cm, lo cual es similar a lo reportado para el maíz Elotillo 160.00 ± 2.90 cm.

El rendimiento de elote A-7573 obtuvo una producción de 19.7 t ha^{-1} mientras que el material criollo de 7.25 t ha^{-1}. El rendimiento de A-7573 fue superior a lo reportado por Aguirre-Rivera *et al.* (2016) al evaluar cinco cultivares tradicionales y cuatro mejorados, en dos sistemas de producción (tradicional e intensivo) con distintas densidades de población y diferentes dosis de fertilización en comunidades de Rioverde, San Luis Potosí, un registro de rendimiento para A-7573 de 16.10 t ha^{-1} de elote, siendo superior el rendimiento obtenido en nuestro trabajo (19.7 t ha^{-1}). Por otro lado, respecto al rendimiento de elote en la variedad criolla de nuestra investigación (7.25 t ha^{-1}), se encuentra dentro del intervalo de producción registrado en los cultivares tradicionales del mismo estudio (Gabino, Prisciliano, Chón, Hipólito y Luis) de 6 a 9.9 t ha^{-1} de elote.

La estimación del ingreso bruto potencial de los cultivos producidos en el sistema diversificado mostró que sus diferentes componentes pueden generar valor económico mediante la obtención de productos para alimentos y para la comercialización. Este resultado coincide con Sánchez *et al.* (2022), quienes bajo un metaanálisis de 119 estudios, encontraron que los sistemas agrícolas diversificados pueden alcanzar ingresos brutos superiores a los monocultivos. Asimismo, Díaz-José *et al.* (2026) señalan que la diversificación no debe centrarse solo en los cultivos principales sino en el conjunto de subproductos aprovechables y su aporte. En este sentido los cultivos como frijol, maíz, cempasúchil, cilantro y pasto Sudán permitieron comprender su aporte potencial a la seguridad alimentaria.

En conjunto los cultivos dentro del sistema diversificado favorecieron potencialmente a distintas dimensiones de la seguridad alimentaria como lo fueron la disponibilidad y acceso tanto de alimentos como recursos económicos en las zonas semiáridas.

Conclusiones

El sistema diversificado demostró ser una alternativa viable para contribuir a la seguridad alimentaria en zonas semiáridas, al integrar distintos cultivos con diferentes funciones y productos como frijol, maíz, cilantro, pasto Sudán y cempasúchil. Esta diversidad permitió generar alimentos y productos con potencial de comercialización, constituyendo una estrategia para favorecer simultáneamente la disponibilidad de alimentos y la generación de ingresos.

Literatura citada

- Bautista-Capetillo, C., Carrillo, B., Picazo, G., & Júnez-Ferreira, H. (2016). *Drought assessment in Zacatecas, Mexico*. *Water, 8*(10), 416. https://doi.org/10.3390/w8100416
- Breyer, B., Zipper, C., & Qiu, J. (2018). Sociohydrological impacts of water conservation under anthropogenic drought in Austin, Texas (USA). *Water Resources Research, 54*(5), 3062–3080. https://doi.org/10.1029/2017WR021444
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., & Sims, R. (2019). The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability, 11*(1), 222. https://doi.org/10.3390/su11010222

- Chaudhary, N., Lal, S., Singh, R., Meena, M. D., Meena, S. S., Meena, R. D., Jangir, C. K., Bhardwaj, V., & Sharma, A. (2023). Intensified seed spices-based cropping systems for higher productivity, resource-use efficiency, soil fertility and profitability in arid and semi-arid regions of India. *PLOS ONE, 18*(10), e0292955. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292955
- Díaz-José, J., Limón-Rivera, R., Leyva-Ovalle, O. R., Sagarnaga-Villegas, L. M., Briones-Ruiz, G., Elizondo-Salas, A. C., García-Martínez, H., Castillo-Martínez, S. I., Andrés-Meza, P., Díaz-José, O., Guevara-Hernández, F., & Bellon, M. R. (2026). Reassessing the economic returns of diverse traditional agricultural systems for smallholder farmers: A case study of the milpa in Mexico. *Agricultural Systems, 237*, 104820. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2026.104820
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., ... Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature, 478(7369), 337–342. https://doi.org/10.1038/nature10452
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). FAO. FAO. https://www.fao.org
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., ... Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science, 327(5967), 812–818. https://doi.org/10.1126/science.1185383
- Hernández-Martínez, D. L., Gómez-González, A., Pimentel-López, J., Calzada-Lara, G., & Ramírez-Torres, M. T. (2026). Niveles de humedad y densidades sobre el rendimiento de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17(3), 527–540. https://doi.org/10.29312/remexca.v17i3.4081
- Li, T., Peng, L., Wang, H., Zhang, Y., Wang, Y., Cheng, Y., & Hou, F. (2023). Multiple cutting increases forage productivity and enhances legume pasture stability in a rainfed agroecosystem. *Annals of Agricultural Sciences, 68*(2), 126–136. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2023.12.002
- O'Neill, B. F., & Boyer, A.-L. (2020). Water conservation in desert cities: From the socioecological fix to gestures of endurance. *Ambiente & Sociedade, 23*(1), e2385. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190023r2vu2020
- Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., & Martínez-Gamiño, M. Á. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1389–1400. https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1345
- Prakash, S., Kumar, D., Kumar, A., Ram, R. M., Paul, B., Kaur, R., Kashyap, M., & Moirangthem, A. (2026). Integrated nutrient management enhances growth, floral productivity, postharvest quality, and economic returns in African marigold (*Tagetes erecta* L.) cv. Pusa Narangi Gainda. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology, 29*(9), 149–159. https://doi.org/10.9734/jabb/2026/v29i94293
- Raymond, A. B., Alpha, A., Ben-Ari, T., Daviron, B., Nesme, T., & Tétart, G. (2021). Systemic risk and food security: Emerging trends and future avenues for research. *Global Food Security, 29*, 100547. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100547
- Rosales-Serna, R., Flores-Gallardo, H., López-González, J. C., Rubiños-Panta, J. E., Ortiz-Sánchez, I. A., Flores-Magdaleno, H.., … Domínguez-Martínez, P. A. (2021). Fenología y productividad del agua en variedades mejoradas de frijol pinto cultivadas en Durango, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *44*(4), 511. https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.511

- Sánchez, A. C., Kamau, H. N., Grazioli, F., & Jones, S. K. (2022). Financial profitability of diversified farming systems: A global meta-analysis. *Ecological Economics, 201*, 107595. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107595
- Santos, Luis Filipe Conceição-dos, Ruíz-Sánchez, Esaú, Garruña-Hernández, René, & Andueza-Noh, Rubén Humberto. (2024). Growth and yield of tropical maize landraces and commercial genotypes in Yucatan, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *11*(2), e3674. Epub 23 de agosto de 2024.https://doi.org/10.19136/era.a11n2.3674
- Singh, P., S. Mor, V., Khan, M., & Kumar, S. (2017). Effect of Foliage Cuttings on Seed Yield and Quality of Coriander (Coriandrum sativum L.). *Advances in Research*, *10*(4), 1–9. https://doi.org/10.9734/AIR/2017/33354
- Sunil, A., Ritchie, G., Kelly, B., & et al. (2026). *Semi-arid crops and circular value chains for climate-resilient agriculture*. *NPJ Sustainable Agriculture, 4*(55), 1–10. https://doi.org/10.1038/s44264-026-00171-8
- Thakur, T., & Kaur, K. (2023). Evaluation of genotypes and correlation studies in Marigold (*Tagetes* spp.) for growth and yield attributes. *Environment Conservation Journal, 24*(1), 198–203. https://doi.org/10.36953/ECJ.10542285
- Usha Bharathi, T., Jawaharlal, M., Kannan, M., Manivannan, N., & Raveendran, M. (2014). Correlation and path analysis in African marigold (*Tagetes erecta* L.). *The Bioscan, 9*(4), 1673–1676.

Efecto de *Trichoderma* spp. En precosecha y del agua por plasma en el manejo poscosecha de *Botrytis cinerea* en fresa

Juan Pablo Zavala Mendoza[1], Nadia Landero Valenzuela[2] , José Antonio Flores Gonzalez[3], Gustavo Soria Argüello[4]

Resumen

La fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) es uno de los cultivos hortofrutícolas de mayor importancia económica; sin embargo, su alta susceptibilidad a enfermedades poscosecha, particularmente la pudrición gris causada por *Botrytis cinerea*, ocasiona pérdidas significativas y limita su comercialización. El experimento se desarrolló en dos etapas. En la fase de campo se evaluó el efecto de diferentes tratamientos con *Trichoderma* spp. sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de fresa establecidas en invernadero bajo un diseño de bloques completos al azar. Posteriormente, los frutos cosechados fueron aleatorizados para evaluar distintos tiempos de inmersión en agua activada por plasma (AAP), inoculados con *Botrytis cinerea* y almacenados bajo condiciones controladas para determinar la incidencia y severidad de la enfermedad. Los resultados mostraron que el tratamiento con cinco minutos de exposición al agua activada por plasma presentó la menor incidencia y severidad de *Botrytis cinerea*, retrasando el desarrollo de la enfermedad durante el almacenamiento. En campo, la altura de las plantas no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$), aunque *T. asperellum* registró los mayores valores promedio, mientras que el rendimiento tampoco mostró diferencias significativas. Se concluye que el agua activada por plasma constituye una alternativa promisoria para el manejo poscosecha de la pudrición gris en fresa y que la inoculación con *Trichoderma* spp., bajo las condiciones evaluadas, no modificó significativamente el crecimiento ni el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: agua activada por plasma, pudrición gris, poscosecha, fresa , control alternativo.

Abstract

The strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) is one of the most economically important fruit and vegetable crops; however, its high susceptibility to post-harvest diseases, particularly gray mold caused by *Botrytis cinerea*, results in significant losses and limits its marketability. The experiment was conducted in two stages. In the field phase, the effect of different treatments with Trichoderma spp. on the growth and yield of strawberry plants grown in a greenhouse was evaluated using a completely randomized block design. Subsequently, the harvested fruits were randomized to evaluate different immersion times in plasma-activated water (PAW), inoculated with *Botrytis cinerea* and stored under controlled conditions to determine the incidence and severity of the disease. The results showed that treatment with five minutes of exposure to plasma-activated water resulted in the lowest incidence and severity of *Botrytis cinerea*, delaying disease development during storage. In the field, plant height did not show significant differences among treatments ($P > 0.05$), although *T. asperellum* recorded the highest average values, while yield also showed no significant differences. It is concluded that plasma-activated water is a promising alternative for the postharvest management of gray mold in strawberries

[1] Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correo: juanpablozm30@outlook.com
[2] Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correo: nadialandero00@gmail.com
[3] Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Correo: jagf252001@gmail.com
[4] Centro de investigación de química aplicada, Saltillo, Coahuila, México. Correo: gustavo.soria@ciqa.edu.mx

and that inoculation with *Trichoderma spp*., under the conditions evaluated, did not significantly affect crop growth or yield.
Keywords: plasma-activated water, gray mold, postharvest, strawberry, alternative postharvest management.

Introducción

La fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) es uno de los cultivos hortofrutícolas de mayor importancia económica a nivel mundial debido a su elevado valor comercial, amplia aceptación por los consumidores y destacadas propiedades nutracéuticas. Su fruto constituye una fuente importante de vitamina C, compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas, metabolitos con reconocida actividad antioxidante y beneficios para la salud humana (Martínez-Cruz et al., 2011). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de fresa ha mostrado un crecimiento sostenido durante la última década impulsado por el incremento en la demanda de fruta fresca y productos procesados (*FAOSTAT*, 2025.). En México, este cultivo representa una de las principales berries de importancia económica, concentrándose la producción en estados como Michoacán, Baja California, Guanajuato y Jalisco, donde constituye una actividad estratégica para el mercado nacional y de exportación (*Dirección General Del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | Gob.Mx*, 2025.).

A pesar de su importancia económica, la fresa es considerada un fruto altamente perecedero debido a su elevada tasa respiratoria, contenido de humedad y delicada estructura epidérmica, características que favorecen pérdidas significativas durante el almacenamiento, transporte y comercialización (Zheng et al., 2022). Entre los principales factores responsables de estas pérdidas destacan las enfermedades poscosecha ocasionadas por hongos fitopatógenos, siendo la pudrición gris causada por *Botrytis cinerea* Pers. uno de los problemas fitosanitarios de mayor impacto económico a nivel mundial (Momtaz et al., 2025). Este patógeno posee la capacidad de infectar flores y frutos durante el desarrollo del cultivo, permaneciendo latente hasta que las condiciones de humedad y temperatura favorecen su desarrollo durante la poscosecha, ocasionando pérdidas que pueden superar el 50 % de la producción cuando no se implementan estrategias de manejo adecuadas (Weber & Petridis, 2023).

El manejo convencional de *B. cinerea* se basa principalmente en la aplicación preventiva y curativa de fungicidas sintéticos. Sin embargo, el uso continuo de estos productos ha favorecido la aparición de poblaciones resistentes, disminuyendo progresivamente su eficacia y limitando las opciones disponibles para el control del patógeno (Weber & Petridis, 2023). Adicionalmente, existe una creciente preocupación por la presencia de residuos químicos en los frutos, los riesgos ambientales derivados del uso intensivo de plaguicidas y las restricciones impuestas por los mercados de exportación, lo que ha impulsado el desarrollo de tecnologías alternativas más sostenibles para el manejo de enfermedades poscosecha (Lopes et al., 2014).

Entre las alternativas emergentes destaca el agua activada por plasma (AAP), una tecnología no térmica obtenida mediante la interacción entre una descarga de plasma frío y el agua. Durante este proceso se generan diversas especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ROS y RNS), como peróxido de hidrógeno, ozono, radicales hidroxilo, nitritos y nitratos, compuestos capaces de ejercer actividad antimicrobiana mediante la alteración de membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos de diversos microorganismos

fitopatógenos (Yang et al., 2023). Además de su efecto desinfectante, la AAP presenta la ventaja de no dejar residuos tóxicos sobre los alimentos y de degradarse en compuestos inocuos, características que la convierten en una alternativa compatible con sistemas de producción agrícola sostenibles (Lin et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de tecnologías basadas en plasma frío y agua activada por plasma contribuye a disminuir la incidencia de enfermedades poscosecha y a preservar atributos de calidad como firmeza, contenido de compuestos antioxidantes y vida útil en frutos frescos (Lin et al., 2024). Sin embargo, la información relacionada con su aplicación en frutos de fresa inoculados con *B. cinerea* aún es limitada, particularmente bajo las condiciones de producción y almacenamiento presentes en México, por lo que resulta necesario generar evidencia experimental que permita valorar su potencial como herramienta de manejo fitosanitario. Se planteó como hipótesis que la inoculación con *Trichoderma* spp. favorecería el desarrollo vegetativo del cultivo y que la aplicación de agua activada por plasma reduciría la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* durante el almacenamiento poscosecha, constituyendo una estrategia sostenible para el manejo de esta enfermedad. En este contexto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del agua activada por plasma sobre la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa durante el almacenamiento poscosecha, con la finalidad de generar información que contribuya al desarrollo de estrategias sostenibles para el manejo de la pudrición gris y a la reducción del uso de fungicidas sintéticos en este cultivo.

Materiales y métodos

Sitio experimental y material vegetal

El experimento se realizó durante el ciclo agrícola, entre febrero y julio 2026 en el departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25°21' N, 101°02' O; 1,742 m s.n.m.). El material vegetal utilizado correspondió a plantas de fresa (*Fragaria × ananassa* Duch.) variedad Albión, establecidas bajo condiciones de producción protegida, de acuerdo con el manejo agronómico convencional empleado en la unidad experimental. Las plantas se mantuvieron bajo un programa de fertilización, riego y manejo fitosanitario acorde con las recomendaciones técnicas para el cultivo.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, conformado por cinco tratamientos y cuatro bloques, para un total de 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo integrada por cinco plantas de fresa establecidas en macetas individuales, dando un total de 100 plantas evaluadas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de dos cepas de *Trichoderma spp. (Harzianum y Asperellum)* y un manejo convencional, distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque para minimizar la variabilidad asociada a las condiciones del invernadero.

Tabla 2 Descripción de tratamientos en campo

Tratamiento	Descripción
T1	*T. Harzianum* (riego con agua)
T2	*T. Asperellum* (riego con agua)
T3	Convencional
T4	*T. Harzianum* (riego con solución nutritiva)

T5	*T. Asperellum* (riego con solución nutritiva)

Fuente: Propia autoría

Manejo agronómico del cultivo

Las plantas fueron establecidas en bolsas de seis litros, con un sustrato compuesto de peat moss y vermiculita en una relación 70:30 repectivamente. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las labores culturales correspondientes, incluyendo fertirrigación, eliminación de estolones, control de malezas y monitoreo fitosanitario, procurando mantener condiciones homogéneas entre todas las unidades experimentales.

Como parte del manejo biológico del cultivo, las plantas recibieron las aplicaciones correspondientes de *Trichoderma spp.* conforme al esquema establecido para el ensayo en campo, con el propósito de favorecer el desarrollo vegetal y disminuir la presión de enfermedades radiculares durante el ciclo de producción. Las prácticas agronómicas fueron las mismas para todas las plantas utilizadas posteriormente en la evaluación poscosecha.

Obtención de frutos

Los frutos fueron cosechados manualmente en estado de madurez comercial, seleccionando únicamente aquellos que presentaron madurez uniforme, ausencia de daños mecánicos, deformaciones o síntomas visibles de enfermedades. Posteriormente fueron transportados al laboratorio en recipientes limpios para iniciar las evaluaciones poscosecha.

Preparación del inóculo de *Botrytis cinerea*

El aislamiento de *Botrytis cinerea* empleado en este estudio fue obtenido de frutos de fresa con síntomas característicos de pudrición gris y conservado en el laboratorio de Horticultura de la UAAAN. El hongo fue reactivado en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) e incubado a 28 ± 2 °C durante 8 días, hasta obtener un crecimiento abundante y producción de conidios.

La suspensión de conidios se preparó adicionando agua destilada estéril sobre las colonias y desprendiendo las esporas mediante raspado suave con una espátula estéril. Posteriormente, la suspensión fue filtrada para eliminar restos de micelio y ajustada a una concentración aproximada de 1×10^5–10^6 conidios mL^{-1} utilizando una cámara de Neubauer.

Preparación del agua activada por plasma

El agua activada por plasma (AAP) se obtuvo mediante el tratamiento de agua desionizada utilizando un reactor de plasma tipo jet operado a presión atmosférica. Para cada ensayo se colocó 1 L de agua desionizada en un cristalizador de vidrio con capacidad de 2 L.

El plasma fue generado mediante una fuente de alimentación de corriente alterna (AC) de alto voltaje operando a una frecuencia de 65 kHz. Como gas de trabajo se empleó aire comprimido seco con un flujo constante de 20 L min^{-1}, controlado mediante un flujómetro. La potencia de operación se fijó en 160 W durante todo el tratamiento.

El reactor de plasma tipo jet se colocó en configuración sumergida, con la boquilla orientada verticalmente hacia abajo e inmersa aproximadamente 10 mm por debajo de la superficie del agua. Esta disposición permitió que las especies reactivas generadas en la descarga fueran transferidas directamente al volumen del líquido, favoreciendo la formación de especies reactivas

de oxígeno y nitrógeno (ROS/RNS), así como la mezcla inducida por el propio flujo gaseoso, sin necesidad de agitación mecánica adicional.

El tratamiento se llevó a cabo durante 10 min en condiciones ambientales (≈25 °C). Durante este periodo, el plasma interactuó continuamente con el agua, promoviendo la formación de agua activada por plasma mediante la disolución y reacción de especies reactivas provenientes de la fase gaseosa.

Tratamientos poscosecha

Los frutos fueron distribuidos aleatoriamente en los tratamientos correspondientes al tiempo de exposición al agua activada por plasma. Cada tratamiento consistió en la inmersión de los frutos en AAP durante el tiempo establecido, mientras que el tratamiento testigo fue sumergido en agua destilada estéril.

Posteriormente, los frutos fueron inoculados con la suspensión de *B. cinerea* mediante la aplicación de 1000 µL sobre la superficie del fruto y colocados en cámaras húmedas con humedad relativa superior al 90 %, favoreciendo el desarrollo del patógeno durante el almacenamiento.
Los tratamientos evaluados fueron:

Tabla 3 Tiempo de los tratamientos poscosecha

Tratamiento	Tiempo de inmersión
T0	Testigo, agua destilada (1 min)
T1	Agua activada por plasma (1 min)
T2	Agua activada por plasma (3 min)
T3	Agua activada por plasma (5 min)
T5	Agua activada por plasma (10 min)

Fuente: Propia autoría

Condiciones de almacenamiento

Después de la inoculación, los frutos fueron almacenados en cámaras bajo condiciones controladas de temperatura (20 ± 2 °C) y humedad relativa (90 %) durante el periodo experimental. Durante el almacenamiento se realizaron evaluaciones periódicas para registrar el desarrollo de la enfermedad y la respuesta de los tratamientos con fotografías para analizarse posteriormente en la aplicación de ImageJ,

Variables evaluadas

La incidencia de la enfermedad se determinó como el porcentaje de frutos que presentaron síntomas visibles de pudrición gris respecto al número total de frutos evaluados en cada tratamiento.

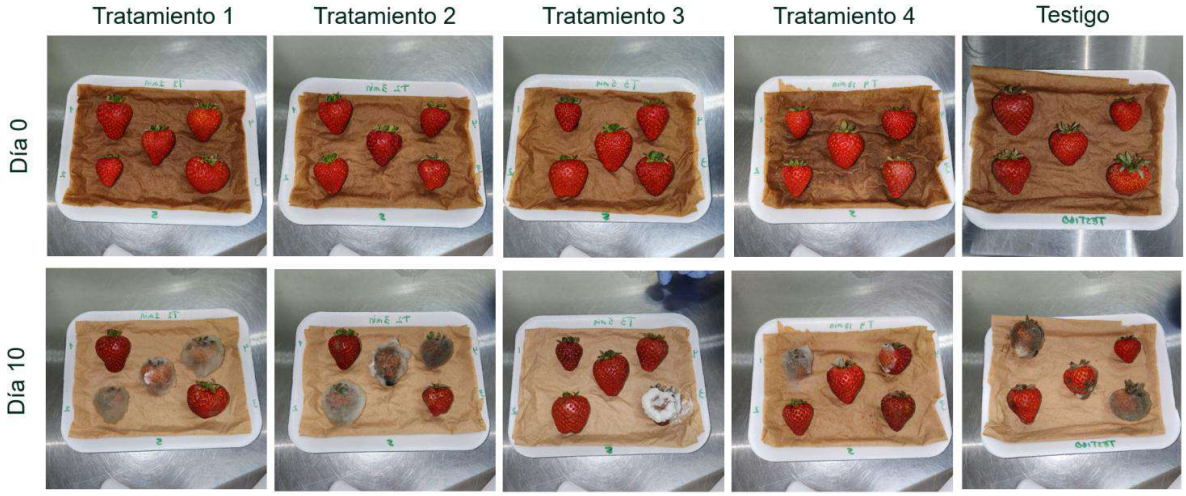
La severidad se estimó mediante una escala diagramática de daño propuesta por Gaitán y Mendez (2014), la cual clasifica el porcentaje de tejido afectado en diferentes categorías de infección. La severidad se expresó como porcentaje de tejido dañado por fruto, permitiendo comparar el avance de la enfermedad entre tratamientos. Se reportaron las variables Altura y Rendimiento de las plantas durante la fase de campo del experimento, con el objetivo de proporcionar una evaluación más precisa del estado fenotípico de los tratamientos aplicados.

Resultados y discusión

Como parte de la primera fase del estudio se evaluó el efecto de diferentes tiempos de inmersión en agua activada por plasma (AAP) sobre el desarrollo de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa durante el almacenamiento poscosecha. Esta evaluación tuvo como finalidad identificar el tiempo de exposición más eficiente para su implementación en las etapas posteriores del proyecto, donde el tratamiento seleccionado será integrado con las estrategias de manejo evaluadas en campo.

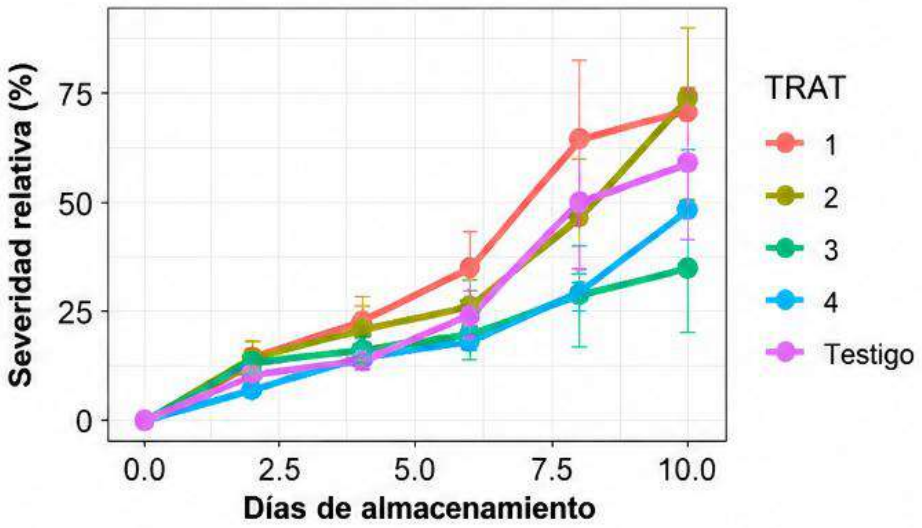
La evolución visual de la enfermedad mostró un incremento progresivo de los síntomas conforme avanzó el periodo de almacenamiento en todos los tratamientos; sin embargo, la velocidad de desarrollo del patógeno fue distinta dependiendo del tiempo de inmersión en AAP. Desde los primeros días de evaluación fue evidente una menor colonización del hongo en los frutos tratados con cinco minutos de exposición, mientras que el tratamiento testigo presentó un desarrollo acelerado del micelio y una mayor proporción de tejido afectado al finalizar el ensayo.

Figura 1. *Secuencia fotográfica del desarrollo de Botrytis cinerea en frutos de fresa sometidos a los diferentes tiempos de inmersión en agua activada por plasma (día 0 y día 10).*



La cuantificación de la severidad confirmó las observaciones visuales (Figura 2). Independientemente del tratamiento, la severidad aumentó durante el almacenamiento como consecuencia del carácter progresivo de la infección causada por *B. cinerea*. No obstante, el tratamiento correspondiente a cinco minutos de inmersión presentó consistentemente los menores valores de severidad durante todo el periodo experimental, indicando un efecto protector del agua activada por plasma sobre el desarrollo del patógeno.

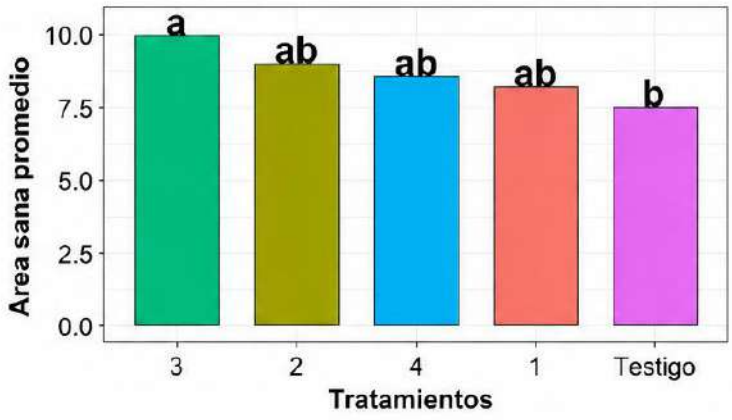
Figura 2. *Evolución de la severidad relativa de* Botrytis cinerea *durante el almacenamiento de frutos tratados con diferentes tiempos de inmersión en agua activada por plasma.*



.

Resultados similares fueron obtenidos al analizar el porcentaje de área sana del fruto (Figura 3). Los frutos tratados durante cinco minutos conservaron una mayor proporción de tejido sano respecto al resto de los tratamientos y al testigo, evidenciando una menor velocidad de deterioro durante el almacenamiento. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), el cual cumplió con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. El análisis mostró un efecto significativo del tiempo de evaluación ($p < 0.001$) y del tratamiento ($p = 0.0292$), mientras que la interacción entre ambos factores no fue significativa ($p = 0.9732$), lo que indica que la progresión del deterioro fue similar entre tratamientos. La comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) mostró que el tratamiento de cinco minutos fue superior al testigo y presentó una tendencia favorable respecto a los demás tiempos de inmersión, confirmando que la duración de la exposición constituye un factor determinante en la eficacia del agua activada por plasma.

Figura 3. *Comparación del área sana de frutos de fresa sometidos a diferentes tiempos de inmersión en AAP*



El efecto observado puede atribuirse a la acción de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno generadas durante la activación del agua, las cuales inducen daño oxidativo sobre la membrana celular y otros componentes estructurales del hongo, limitando su

crecimiento y capacidad de colonización. Lin et al., (2024) reportaron que el agua activada por plasma prolonga la vida útil de frutos de fresa al inhibir el crecimiento de microorganismos y reducir el deterioro poscosecha, resultados que coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

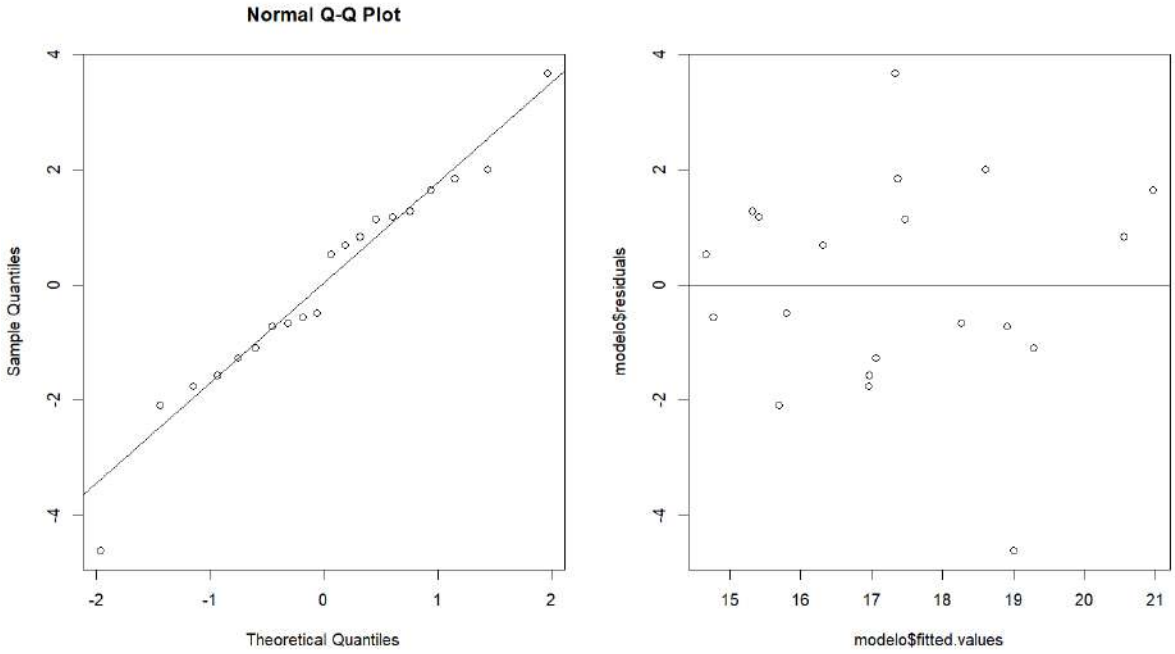
Con base en estos resultados, el tratamiento de cinco minutos fue seleccionado como el tiempo de exposición más adecuado para las siguientes etapas de la investigación, en las cuales será evaluado en conjunto con las estrategias de manejo implementadas durante la fase de producción en campo.

Desarrollo vegetativo de las plantas

Altura

Como parte del seguimiento del experimento establecido bajo condiciones de invernadero, se evaluó el desarrollo vegetativo de las plantas mediante la variable altura al finalizar el periodo de evaluación. Previamente al análisis estadístico se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo mediante pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas, y análisis de residuos. Los datos cumplieron con los supuestos del análisis de varianza, por lo que no fue necesario realizar transformaciones para su análisis.

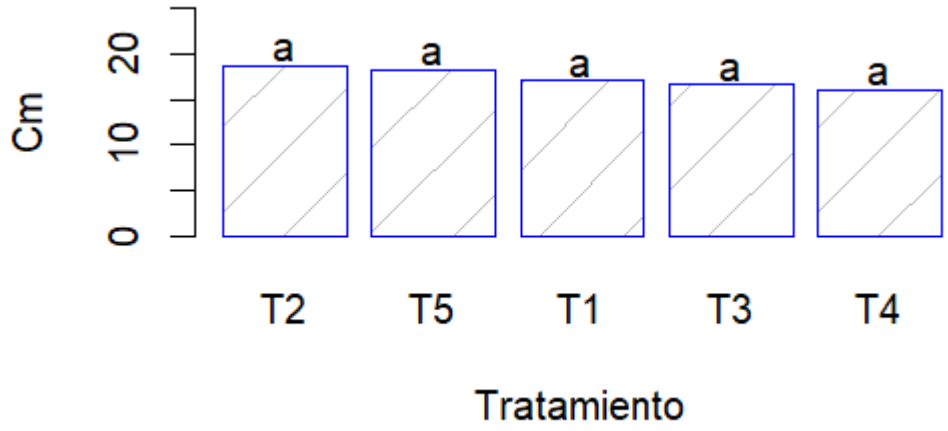
Figura 4. Validación de los supuestos del modelo estadístico para la variable altura.



El análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar no mostró diferencias significativas entre tratamientos para la variable altura de planta ($F = 0.954$; $p = 0.467$). Asimismo, el efecto de los bloques no fue significativo ($p = 0.097$), lo que indica que las condiciones experimentales fueron relativamente homogéneas durante el desarrollo del ensayo. La comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) mostró que todos los tratamientos pertenecieron al mismo grupo estadístico. No obstante, se observaron diferencias numéricas entre las medias, donde el tratamiento **T2** presentó la mayor altura promedio (18.7 cm), seguido por **T5** (18.3 cm), **T1** (17.0 cm), **T3** (16.7 cm) y **T4** (16.0 cm) (Figura 5).

Figura 5. Altura promedio de plantas de fresa bajo los diferentes tratamientos de manejo en campo

La ausencia de diferencias significativas en la altura de planta coincide con estudios que reportan que la respuesta de *Trichoderma* sobre el crecimiento vegetativo depende de diversos factores, entre ellos la especie o cepa utilizada, el genotipo del cultivo, las

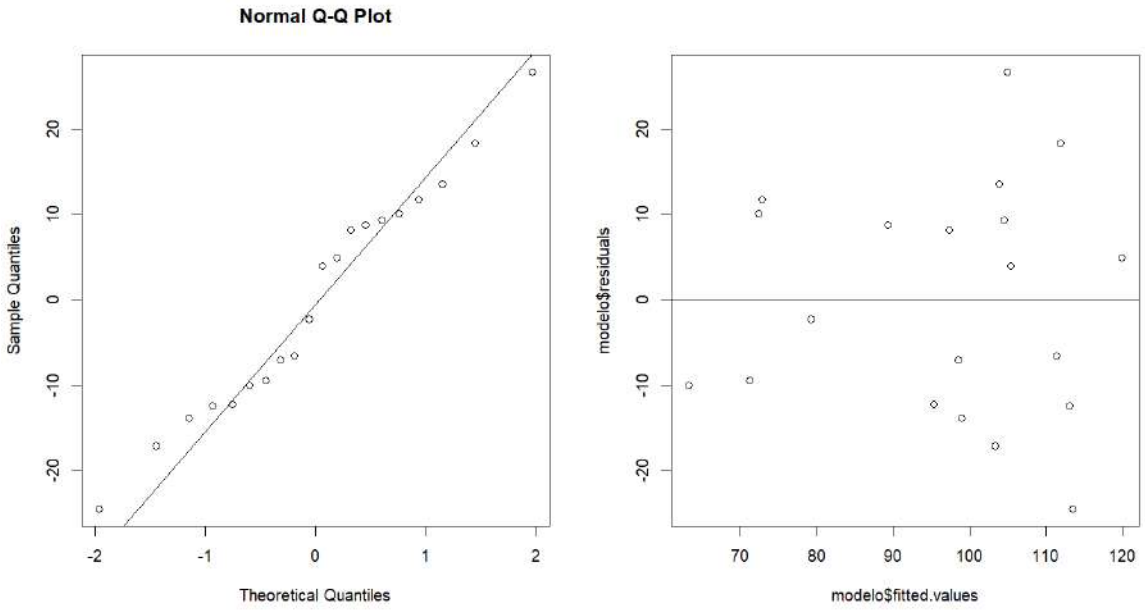


condiciones ambientales y el momento de evaluación (Lombardi et al., 2020). En diferentes cultivos se ha documentado que los efectos promotores del crecimiento no siempre se reflejan en incrementos de la altura de planta, sino que pueden manifestarse en variables fisiológicas, desarrollo radicular, absorción de nutrimentos o componentes del rendimiento, por lo que la evaluación conjunta de otras variables agronómicas resulta indispensable para interpretar la respuesta de las plantas al tratamiento.

Rendimiento de fruto

El rendimiento por planta fue evaluado al término del ciclo de producción utilizando el promedio de las unidades experimentales correspondientes a cada tratamiento. Previamente al análisis estadístico se verificó el cumplimiento de los supuestos del modelo mediante pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas y análisis de residuos. Los datos presentaron una distribución normal y cumplieron los supuestos del análisis de varianza, por lo que no fue necesario realizar transformaciones.

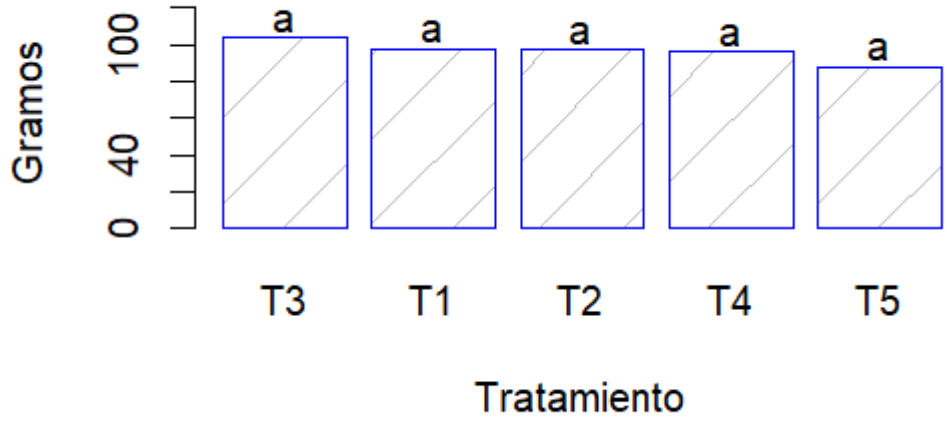
Figura 6. Validación de supuestos del modelo estadístico para la variable rendimiento



El análisis de varianza mostró que el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento no fue significativo (F = 0.459; p = 0.765). En contraste, el efecto de los bloques resultó significativo (p = 0.014), lo que indica que el diseño de bloques completos al azar permitió controlar parte de la variabilidad presente en las condiciones del invernadero.

La comparación de medias mediante la prueba de Tukey (α = 0.05) indicó que todos los tratamientos pertenecieron al mismo grupo estadístico. No obstante, se observaron diferencias numéricas entre las medias, siendo el tratamiento T3 el que presentó el mayor rendimiento promedio (103.95 g planta^{-1}), seguido por T1 (97.56 g planta^{-1}), T2 (97.11 g planta^{-1}), T4 (95.92 g planta^{-1}) y T5 (87.92 g planta^{-1}) (Figura 7).

Figura 7. Rendimiento promedio por planta de fresa bajo los diferentes tratamientos de manejo en campo



Los resultados obtenidos muestran que, bajo las condiciones evaluadas, las aplicaciones de *Trichoderma spp.* no produjeron diferencias significativas en el rendimiento de fruto. Este comportamiento coincide con estudios que señalan que la respuesta productiva a la inoculación con especies de *Trichoderma* depende de factores como la cepa empleada, el cultivar, las condiciones ambientales y el manejo agronómico, por lo que los efectos sobre el rendimiento pueden ser variables entre experimentos.

Aunque las aplicaciones de *Trichoderma spp.* no produjeron diferencias significativas en altura y rendimiento bajo las condiciones evaluadas, esta etapa permitió obtener frutos desarrollados bajo diferentes estrategias de manejo biológico, los cuales constituyeron la base experimental para la evaluación poscosecha. La selección del tiempo óptimo de exposición al agua activada por plasma representa un paso previo para futuras investigaciones dirigidas a evaluar posibles efectos complementarios entre el manejo biológico en precosecha y las tecnologías no térmicas aplicadas en poscosecha.

Conclusiones

Bajo las condiciones del presente estudio, las aplicaciones de *Trichoderma spp.* en precosecha no produjeron diferencias significativas en la altura de planta ni en el rendimiento de fresa; sin embargo, el tratamiento con cinco minutos de inmersión en agua activada por plasma fue el más eficaz para reducir la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* durante el almacenamiento poscosecha. En conjunto, estos resultados evidencian el potencial de integrar estrategias biológicas en precosecha con tecnologías no térmicas en poscosecha para el desarrollo de alternativas más sostenibles en el manejo de enfermedades de la fresa.

Referencias

- *Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx*. (2025.). Retrieved July 26, 2026, from https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap
- *FAOSTAT*. (2025.). Retrieved September 16, 2025, from https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL
- Gaitán, J. B. M., Ferrucho, R. L., & Herrera, J. G. Á. (2014). Efecto de dos cepas de Trichoderma en el control de Botrytis cinerea y la calidad del fruto en fresa (Fragaria sp.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *8*(1), 44–56. https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i1.2799
- Lin, X., Huang, S., Li, L., & Guo, J. (2024). Impact of plasma-activated water and cold plasma treatment on the firmness and antioxidant of postharvest fruits: a review. *Food Science and Biotechnology*, *34*(12), 2697–2706. https://doi.org/10.1007/S10068-024-01799-3
- Lombardi, N., Caira, S., Troise, A. D., Scaloni, A., Vitaglione, P., Vinale, F., Marra, R., Salzano, A. M., Lorito, M., & Woo, S. L. (2020). Trichoderma Applications on Strawberry Plants Modulate the Physiological Processes Positively Affecting Fruit Production and Quality. *Frontiers in Microbiology*, *11*(July), 1–17. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01364
- Lopes, U. P., Zambolim, L., Costa, H., Pereira, O. L., & Finger, F. L. (2014). Potassium silicate and chitosan application for gray mold management in strawberry during storage. *Crop Protection*, *63*(September 2014), 103–106. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.013
- Martínez-Cruz, N. del S., Arévalo-Niño, K., Verde-Star, M. J., Rivas-Morales, C., Oranday-Cárdenas, A., Adriana Núñez-González, M., Morales-Rubio, M. E., Nieves,

C. M. C. A., Socorro, D., & Cruz, M. (2011). Anthocyanins and anti free-radical activity of Rubus adenotrichus Schltdl (blackberry). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, *42*(4), 66–71.

- Momtaz, F., Hardy, G., & Bayliss, K. L. (2025). Fungal communities associated with postharvest strawberries in Western Australia. *Plant Pathology*, *74*(1), 210–219. https://doi.org/10.1111/ppa.14010
- Weber, R. W. S., & Petridis, A. (2023). Fungicide Resistance in Botrytis spp. and Regional Strategies for Its Management in Northern European Strawberry Production. *BioTech*, *12*(4). https://doi.org/10.3390/biotech12040064
- Yang, X., Zhang, C., Li, Q., & Cheng, J. (2023). *Physicochemical Properties of Plasma-Activated Water and Its*. Molecules 2023, 28, 2677. https://doi.org/10.3390/molecules28062677
- Zheng, T., Lv, J., Sadeghnezhad, E., Cheng, J., & Jia, H. (2022). Transcriptomic and metabolomic profiling of strawberry during postharvest cooling and heat storage. *Frontiers in Plant Science*, *13*(October), 1–18. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009747

Línea de Investigación

CAMBIO CLIMÁTICO Y RESILIENCIA COMUNITARIA

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

El programa de licenciatura en cultura física y su contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático en el municipio de Bejucal

Mercedes Lina Wong Torres[1]; Manuela Fidelina Tosté Lau[2]; Yanet Sánchez Vázquez[3]; Franciss Brown Smith[4]

Resumen

La actividad humana ha alterado prácticamente todos los rincones del planeta, con estas modificaciones a la naturaleza y los ecosistemas, se han incrementado los peligros e impactos hacia todo lo vivo. En el diagnóstico inicial realizado, tanto a docentes como a estudiantes de la Licenciatura Cultura Física del Centro Universitario Municipal (CUM), del municipio de Bejucal, provincia de Mayabeque, Cuba, se constató la necesidad de estrategias que medien en reconstruir la teoría desde la práctica, de manera responsable ante la mitigación y adaptación al Cambio Climático. Siendo el objetivo de la presente investigación implementar una estrategia que contribuya a la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura en Cultura Física lo cual admite articular armónicamente aspectos como la participación de estudiantes y docentes el progreso transversal de los contenidos de educación ambiental, y su contextualización o adaptación al año y la carrera, en beneficio de la comunidad. En la investigación-acción-participativa realizada fue predominantemente de métodos mixtos (cuantitativos y cualitativos); se emplearon métodos científicos tanto a nivel teórico como empírico, como resultado se muestra la estrategia que contribuye a la mitigación y adaptación al Cambio Climático, valorada por los especialistas. Se enriquecen los fundamentos teóricos y prácticos de la educación ambiental, desde lo cognitivo, valorativo y creativo, lo cual posibilita promover la actuación responsable de los ciudadanos hacia los demás componentes del medioambiente.

Palabras claves: Inclusión, capacitación, sensibilización, responsabilidad.

Summary

Human activity has altered virtually every corner of the planet, these modifications to nature and ecosystems have increased the dangers and impacts facing all living things. In the initial assessment conducted whit both faculty and students of the Physical Culture program at the Municipal University Center (CUM), in the municipality of Bejucal, Mayabeque, Cuba, the nned was confirmed for strategiesthat facilitate reconstructing theory from practice, in a manner resposible regarding climate change mitigation and adaptation. The objective of this research is to implement a strategy within the Physical Culture program that contributes to climate change mitigation and adaptation. This approach allows for the harmonious integration of elements such as student and faculty participation, the cross – curricular development of environmental education content and

[1] profesora Auxiliar y Master de la Universidad de la Habana, Calle L entre 25 y San Lázaro. Plaza, Cuba.mercedeslina1965@gmail.com
[2] profesora Titular y Doctora de la Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez, Calle Tapaste. Mayabeque, Cuba tfidelina40@gmail.com
[3] profesora Titular y Doctora de la Universidad de la Habana, Calle L entre 25 y San Lázaro, ysanchezv3010@gmail.com
[4] profesora Auxiliar y Doctora de la Universidad de Ciencias Pedagogicas Enrique Jose Varona , Calle 76 entre 72 y obelisco . Marianao. Cuba. francissbrownsmith@gmail.com

its contextualization or adaptation to the specific academic year and program, for the Benefit of the community. The participatory action research conducted was predominantly mixed – methods (quantitative – qualitative) in nature; scientific methods were employed at both theoretical and empirical, the result is a strategy ,that contributes to climate change mitigatión and adaptation . The theoretical and practical foundations of environmental education, grounded in cognition , valuing and creativity , have the potential to foster responsable citizen action regarding other components the environmental.
Keywords : Inclusion, training , raising awareness. responsibility.

Introducción

En el contexto internacional la convergencia de graves crisis, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la COVID-19, resaltan la necesidad de sensibilización y encauzar los caminos de la sociedad hacia un modelo socioeconómico que sea climáticamente neutro, resiliente y sostenible; lo que se ha denominado recuperación verde. Son imperativas las alianzas internacionales y con las entidades del Sistema de las Naciones Unidas, para satisfacer las necesidades de los países conforme estos avanzan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el Acuerdo de París y otros acuerdos ambientales cruciales. En Cuba se han establecido las principales Direcciones Estratégicas y las Acciones prioritarias que deberán ser atendidas territorial y sectorialmente, considerando su vínculo con el Macro programa de Recursos Naturales y Medio Ambiente, siendo el proyecto de la Política para el perfeccionamiento del sistema ambiental transversal a todas las direcciones estratégicas; con otras políticas, planes y programas del desarrollo económico y social, así como su contribución a los ODS y los acuerdos multilaterales ambientales. Respecto al tema climático será tratado según sistema de trabajo creado desde el 2017 el Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático, Tarea Vida (CITMA 2021-2025) (1).

El nuevo Programa Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible, contribuye al cumplimiento de la política a seguir en el proceso de educación ambiental y se encuentra alineado con la Constitución de la República de Cuba. El programa se alinea al principio de "Elevar la percepción y la consciente participación ciudadana respecto a los recursos naturales y los ecosistemas, la contaminación ambiental y el enfrentamiento al cambio climático". (CITMA 2023-2030 pág.2)

Son líneas priorizadas para el trabajo de educación ambiental los principales problemas ambientales del país, tal y como se formulan en la Estrategia Ambiental Nacional vigente. Constituyen además los 17 temas priorizados para el trabajo de la educación ambiental, se ajusta a la presente investigación el tema número 1: Afectaciones del cambio climático: En el tratamiento de la problemática ambiental deberá recibir especial atención este tema, enfatizando a partir del conocimiento de sus implicaciones para Cuba, en elevar el conocimiento y sensibilidad de los ciudadanos respecto a los imperativos de la adaptación y las oportunidades de la mitigación. Se debe favorecer el tratamiento de todo lo relativo al Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático y las potencialidades de promover acciones para el empoderamiento climático dirigidos a todos los grupos etarios.

(CITMA 2023-2030 pág. 7).

(1) La creación en 1994 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) impulsó la política y la gestión momento un fortalecimiento del marco institucional cubano, que impuso la necesidad de revisar los marcos estratégicos y regulatorios del país en materia de medio ambiente. Sobre esta base se desarrolló la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), cuyo primer ciclo se aprueba en 1997, siendo sucesivamente revisada en 2007, 2011 y 2016. Según se expresa en la vigente Ley 81 de Medio Ambiente, en el "Capítulo II. Conceptos básicos", la EAN es expresión de la política ambiental cubana, en la cual se plasman sus proyecciones y directrices principales. La Ley 81 de Medio Ambiente establece, en su Artículo 17, que corresponde la aprobación de este instrumento al Consejo de ministros o a su Comité Ejecutivo. Sin embargo, 2010, por un Acuerdo del Comité Ejecutivo del Consejo de ministros que facultó al CITMA para poner en vigor la EAN a través de una Resolución (40/2007). En las Bases del Plan de Desarrollo Económico y Social al 2030 (PNDES), Eje Recursos Naturales y Medio Ambiente, se declara a la Estrategia Ambiental Nacional como "base de la política ambiental cubana". sucesivos ciclos de la EAN aparecen: ESTRATEGIA AMBIENTAL NACIONAL | 2021-2025 5 Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (CITMA) Estrategia Ambiental Nacional (2 0 2 1 - 202 5)

En el diagnóstico inicial realizado, tanto a docentes como a estudiantes de la Licenciatura Cultura Física del Centro Universitario Municipal (CUM), del municipio de Bejucal, provincia de Mayabeque en Cuba, se comprobó una serie de insuficiencias como:

- Limitado conocimiento en educación ambiental por los profesores para incidir en el proceso docente teniendo en cuenta los ODS.
- Escasez de herramientas metodológicas que permitan al claustro contextualizar la gestión de riesgos ambientales desde la carrera Licenciatura en Cultura Física.
- Insuficiente aplicación de experiencias pedagógicas y resultados de investigaciones científicas que contribuyan a prever, mitigar o solucionar diferentes problemas de la realidad social.

Para descubrir las causas de las manifestaciones significativas de debilidades tanto docentes como estudiantes de la Licenciatura Cultura Física, se revisaron los documentos normativos y plan de estudio de la carrera que se cursa en el Centro Universitario Municipal(CUM) , documentos rectores del Instituto Nacional del Deportes , Educación Física y Recreación (INDER) , así como trabajos de curso y diplomas; el análisis de los mismos permitió realizar ciertas generalidades sobre las insuficiencias detectadas, se realiza la distribución de criterios para evaluar los indicadores de las dimensiones. Mostrándose en la tabla 1.

Distribución de criterios para evaluar los indicadores de las dimensiones.

Dimensiones	Indicadores	Alto	Medio	Bajo
	1.1 Conocimiento de los documentos que rigen la legalidad ambiental internacional y nacional.	Conoce los documentos que rigen la legalidad ambiental internacional y nacional.	Conoce algunos documentos que rigen la legalidad ambiental internacional y nacional.	No conoce ninguno.

1. Cognoscitiva	1.2 Conocimiento de las condiciones geográficas y características ambientales del municipio de Bejucal.	Tiene conocimiento de las condiciones geográficas y características ambientales del municipio de Bejucal.	Tiene un poco de conocimiento de las condiciones geográficas y características ambientales del municipio de Bejucal.	No tiene conocimiento.
	1.3 Conocimiento de la educación ambiental como proceso sistemático y permanente.	Tiene conocimiento de acerca de la educación ambiental como proceso sistemático y permanente.	Reconoce la educación ambiental, pero no hace alusión a que es un proceso sistemático y permanente.	No reconoce que la educación ambiental es un proceso.
2. Procedimental	2.1 Identificación de los problemas ambientales existentes en el municipio de Bejucal.	Observa e identifica los problemas ambientales existentes en el municipio de Bejucal.	Identifica los problemas ambientales existentes en el municipio de Bejucal.	No identifican los problemas ambientales del contexto.
	2.2 Planificación de acciones ambientales vinculadas a la Licenciatura Cultura Física.	Logra planificar acciones de educación ambiental vinculadas a la Licenciatura Cultura Física.	Solo en ocasiones planifican acciones de educación ambiental vinculadas a la Licenciatura Cultura Física.	No planifican acciones de educación ambiental
	2.3 Diseño de estrategia, proyectos ambientales para el municipio de Bejucal integrados a la Licenciatura Cultura Física.	Logran diseñar proyectos ambientales para el municipio de Bejucal integrados a la Licenciatura Cultura Física.	Solo en ocasiones diseñan proyectos ambientales para el municipio de Bejucal integrados a la Licenciatura Cultura Física.	No diseñan proyectos ambientales para el municipio de Bejucal.
3.Comportamental	3.1 Compromiso que manifiestan para el tratamiento contextualizado de educación ambiental en la Licenciatura Cultura Física.	Se muestra comprometido a incorporar la educación ambiental acorde a la realidad del contexto a la Licenciatura Cultura Física.	Se muestra Comprometido pero no está dispuesto a incorporar la educación ambiental acorde a la realidad del contexto.	No se muestra comprometido a incorporar la educación ambiental acorde a la realidad del contexto.
	3.2 Implicación que demuestre la solución desde la Licenciatura Cultura Física de los	Se siente implicados para participar en la solución de los	Algunas veces está dispuestos a participar en la solución de los problemas	No se implica para participar.

	problemas ambientales existentes en el municipio de Bejucal.	problemas ambientales desde la Licenciatura Cultura Física.	ambientales.	
	3.3 Participación en las acciones de, higienización en el municipio de Bejucal desde la relación de la Licenciatura Cultura Física y la educación ambiental.	Participa y efectúan acciones para la higienización en el municipio de Bejucal desde la relación de la Licenciatura Cultura Física y la educación ambiental. .	Solo en ocasiones participan en las acciones de higienización.	No participan
	3.4 Interés que manifiestan por recibir la capacitación para un mejor proceso docente.	Manifiesta interés por recibir la capacitación.	En determinadas ocasiones manifiestan interés por la capacitación.	No manifiestan interés

Tabla 1. Criterios para evaluar los indicadores de las dimensiones. Elaboración propia de las autoras.

Una vez tabulada la información obtenida, los resultados se muestran a continuación.

- Nivel de conocimiento que poseen los docentes y estudiantes acerca de los riesgos ambientales en el municipio de Bejucal (57%).
- Nivel de actuación de los docentes y estudiantes en la percepción de riesgo y mitigación ante el cambio climático (45%).
- Nivel de comportamiento en la comunidad ante la adaptación al cambio climático (65%).

Se evidencia que es necesidad reconstruir la teoría desde la práctica, de manera responsable. Siendo el objetivo de la presente investigación implementar una estrategia que contribuya a la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física lo cual admite articular armónicamente aspectos como la participación de estudiantes y docentes al progreso transversal de los contenidos de educación ambiental, y su contextualización en el CUM. Se toma un grupo de estudio de 7 docentes de la carrera Licenciatura en Cultura Física, 16 estudiantes de la Licenciatura en Cultura Física, 8 activistas deportivos, para un total de 31.

Conceptualizando en el contexto

Se asume como Educación ambiental al proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, orientada a que, en la adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos, habilidades, capacidades y actitudes y en la formación de valores, se armonicen las relaciones entre los seres humanos y de

ellos con el resto de la sociedad y la naturaleza, para propiciar la orientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible (Ley 81 del Medio Ambiente. 1997, CITMA).

Teniendo en cuenta el Glosario de términos del IPCC se entiende por Cambio climático a la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. (IPCC-2013, Glosario)
La adaptación al Cambio Climático es definida como las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de la sociedad y la susceptibilidad de los sistemas naturales, ante los efectos reales o esperados del cambio climático. (IPCC, 2001).19 dic. 2010

Considerándose la mitigación del Cambio Climático la acción que consiste en disminuir la intensidad del forzante radiactivo con el fin de reducir los efectos potenciales del calentamiento global; ahorro energético. La relación entre la mitigación y la adaptación actuar para minimizar los efectos del calentamiento global.

Estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física
Objetivo General: Promover la mitigación y adaptación al Cambio Climático mediante la formación integral, la investigación, la vinculación con la sociedad y la práctica de actividades físicas y deportiva sostenibles, contribuyendo al bienestar humano y la conservación del ambiente.

Objetivos Específicos:

- Incorporar la Educación Ambiental y la acción climática en actividades académicas y de extensión.
- Fortalecer la sensibilización ambiental de los docentes, estudiantes, miembros de la comunidad.
- Promover estilos de vida saludables que contribuyan a la reducción de la huella ambiental.
- Impulsar proyectos de investigación, trabajos de curso, tesis de año de la Licenciatura Cultura Física, relacionados con la actividad física, salud, sostenibilidad ambiental y el deporte.
- Desarrollar programas de prevención y adaptación frente a riesgos climáticos asociados a la actividad física y el deporte.

La estrategia constituye un plan a través del cual se aspira lograr un objetivo y compuesta de acciones que deben ser planificadas, secuenciales e interconectadas para que realmente contribuyan a la toma de decisiones y lograr resultados sostenibles , la estrategia permite relacionar y llevar a la práctica las políticas y objetivos generales trazados , de planear y conducir la solución a partir de acciones organizadas en fases o etapas a mediano y/o largo

plazo, de forma tal, que favorezcan la solución del problema identificado. La estrategia parte de analizar la situación expuesta y la correspondiente Agenda 2030 para su implementación, con el propósito de contextualizar fueron considerados los resultados del diagnóstico que permitió identificar las potencialidades e insuficiencias; ello proporcionó los argumentos para el diseño.

Etapas de planificación de la estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física

I Fase: Sensibilización

- ✓ Promover la movilidad sostenible (caminar, bicicletas, carriolas,)
- ✓ Reducir el uso de plásticos.
- ✓ Implementar campañas de reciclaje y la gestión adecuada de residuos en instalaciones deportivas y en la comunidad
- ✓ Fomentar uso eficiente de energía y agua en los gimnasios, canchas y centros deportivos.

II Fase: Capacitación

- ✓ Capacitar a docentes, activistas deportivos y estudiantes en la prevención de riesgos asociados a las olas de calor u otros eventos climáticos.
- ✓ Asesorar sobre la hidratación adecuada y protocolos de seguridad durante las actividades al aire libre.
- ✓ Incorporar contenidos sobre cambio climático, salud y actividad física en cursos, talleres o proyectos de extensión.
- ✓ Capacitar desde cursos, talleres sobre el reciclaje, reducción, reutilización.

III Fase: Ejecución

- ✓ Realización de eventos deportivos con criterios de sostenibilidad.
- ✓ Ajuste de los horarios de las clases de educación física, actividades deportivas ya sean educativas como comunitarias acorde al clima en ese contexto.
- ✓ Alianzas con Instituciones públicas y privadas para el desarrollo de las actividades ambientales.
- ✓ Participación en programas de reforestación y recuperación de espacios públicos.
- ✓ Elaboración de proyectos de investigación sobre actividad física, salud y cambio climático.
- ✓ Realización de caminatas ecológicas, ciclo paseos y jornadas deportivas con enfoque ambiental.
- ✓ Realización de tesis, trabajos de curso de los estudiantes de licenciatura Cultura Física.

IV Fase: Sistematización.

- ✓ Se prevé la aplicabilidad acorde a las características de cada comunidad del municipio de Bejucal, donde los licenciados de Cultura Física actuarán acorde a su lugar de residencia, verificando la constancia de las acciones acometidas.

La elaboración de las etapas de planificación de la estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física ha sido elaboración propia de las autoras en el transcurso de la investigación, como resultado de la misma (figura 1)

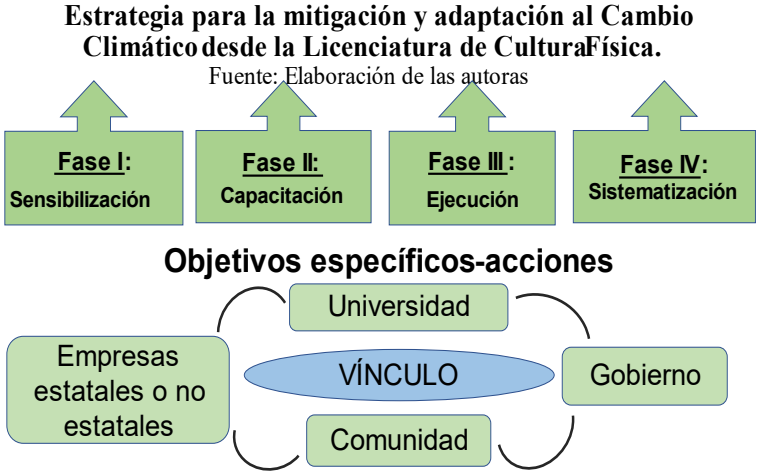


Figura 1. Etapas de la Planificación de la Estrategia

Métodos y técnicas empleadas

En la investigación-acción-participativa realizada con un enfoque cuantitativo y cualitativo; para el cumplimiento del objetivo planteado en el proceso de indagación, se asume la lógica que aporta el método dialéctico materialista, por constituir el sustento teórico de los restantes métodos.

Métodos del nivel teórico; histórico – lógico; análisis síntesis; enfoque de sistema. Método del nivel estadístico el análisis porcentual. Métodos del nivel empírico; observación participante; entrevista; encuesta; sistematización de experiencias; etnográfico; consulta a especialistas.

Resultados y discusión

La presente investigación acción participativa, es analizada por especialistas, los cuales se han demostrado desde los métodos y herramientas aplicadas con el enfoque cualitativo - cuantitativo, la relación entre la licenciatura Cultura Física y el enfrentamiento al Cambio Climático en el contexto de Bejucal se fundamenta en las políticas educativas de Cuba específicamente el Plan de Estado: Tarea Vida, esta vinculación se articula en tres ejes fundamentales:

- Inclusión de la Educación Ambiental en el currículo Universitario; los estudiantes de la Licenciatura Cultura Física aprenden acorde al currículo, entrenamiento, anatomía, deporte, pero se deben incorporar estrategias de gestión ambiental como parte de la formación integral, lo cual implica diseñar actividades físicas, recreativas, y deportivas que respeten los entornos naturales locales , adquirir conocimientos a través de la educación ambiental para emplear metodologías que logren mitigar la degradación de los suelos y cuidar las áreas verdes donde se practican ejercicios,

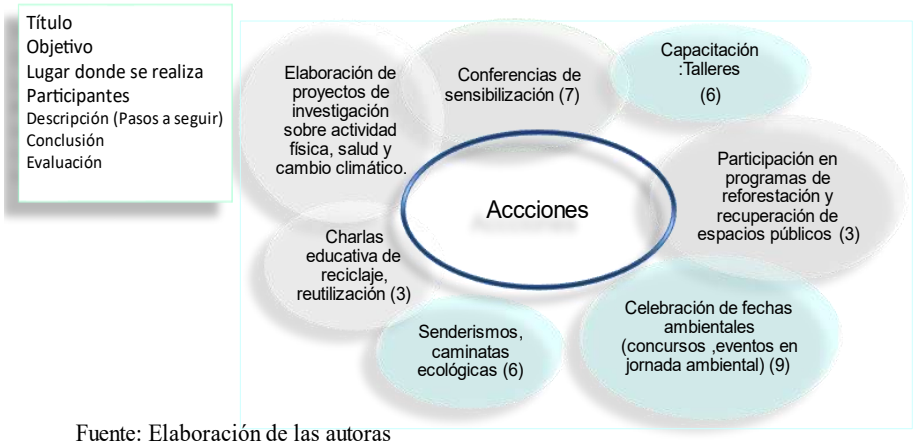
juegos de pelota, futbol, salto de valla y otros.

- Implementación de la Tarea Vida desde el deporte, se relaciona específicamente en la adaptación a horarios docentes de la educación física (enseñanza formal) y las actividades comunitarias planificadas (enseñanza no formal e informal), debido al aumento de las temperaturas y la radiación solar para proteger la salud de los presentes que están en la realización de los ejercicios, juegos evitando golpes de calor.

- Fomento de estilos de vida sostenibles y resiliencia comunitaria, los docentes y licenciados de Cultura Física actúan como agentes de cambio social en el municipio de Bejucal a través de eco deportes instalado en el municipio, promueve la recreación física y práctica de ejercicios al aire libre, combinado con las caminatas y recogidas de desechos sólidos no degradables logrando la sensibilización ambiental.

Las acciones llevadas a cabo en la estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física, elaboración propia de las autoras permitió el vínculo con la inclusión de la Educación Ambiental en el currículo Universitario; implementación de la Tarea Vida desde el deporte; fomento de estilos de vida sostenibles y resiliencia comunitaria (figura 2)

Acciones de la Estrategia parala mitigación y adaptación al Cambio Climáticodesde la Licenciatura de Cultura Física



Fuente: Elaboración de las autoras

Figura 2. Acciones de la Estrategia

A pesar de la ubicación geográfica de Bejucal, que es una zona interior (caracterizada por las Alturas de Bejucal), el Cambio Climático afecta sus acuíferos subterráneos, el suelo y la agricultura local, es ahí la labor de los docentes y activistas deportivos, promover la reforestación y el saneamiento ambiental durante las caminatas o acampadas pioneriles.

Una vez aplicada la estrategia se logró la capacitación de los docentes y la interacción de los

estudiantes de forma responsable, dando cumplimiento a los ODS, se logró concientizar a la comunidad en estilos de vida sostenibles ante la mitigación y adaptación al Cambio Climático. Es valorada la estrategia con la consulta de especialistas del tema, realizándose el diagnóstico final, desde los criterios reflejados en la tabla 1, obteniéndose los siguientes valores en el porcentaje:

- Nivel de conocimiento que poseen los docentes y estudiantes acerca de los riesgos ambientales en el municipio de Bejucal (90%).
- Nivel de actuación de los docentes y estudiantes en la percepción de riesgo y mitigación ante el cambio climático (88%).
- Nivel de comportamiento en la comunidad ante la adaptación al cambio climático (85%).

La pertinencia de la estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física se evidencia en los resultados mostrados donde las comunidades lo constatan, estar en armonía con la naturaleza, teniendo como protagonista y objetivo fundamental al ser humano, la educación enfrenta fuertes desafíos para marchar en sintonía con las transformaciones económicas y sociales. El perfeccionamiento del sector educacional reclama integrarse estrechamente con los planes de desarrollo del país para generar la formación profesional y los empleos que permitan alcanzar la sostenibilidad ante la mitigación y adaptación al Cambio Climático.

Conclusiones

La educación ambiental se ha convertido en una herramienta fundamental para abordar problemáticas sociales y ecológicas ante el Cambio Climático. La estrategia para la mitigación y adaptación al Cambio Climático desde la Licenciatura de Cultura Física, ha permitido enriquecer los fundamentos teóricos y prácticos de la educación ambiental, desde lo cognitivo, lo valorativo y lo creativo, lo cual posibilita promover la actuación responsable de los ciudadanos hacia los demás componentes del medioambiente. La Novedad Científica radica en la sistematización teórico-didáctica que articula explícitamente la educación ambiental con la Licenciatura Cultura Física, reconociendo la conservación ecológica como un factor indispensable de la resiliencia socio-territorial y la soberanía local.

El aporte práctico consiste en la estrategia metodológica concebida para los profesores que imparten docencia en la carrera Licenciatura Cultura Física del CUM de Bejucal, dotada de fases procedimentales, orientaciones didácticas y tareas docentes integradoras que permiten al claustro abordar las problemáticas ambientales sin distorsionar el programa analítico de la asignatura donde el cual no se limite al ejercicio físico de las clases, ni a un rendimiento deportivo, utiliza el ejercicio y la recreación como herramientas pedagógicas para que la comunidad comprenda, se adapte y mitigue los efectos del Cambio Climático en perfecta sintonía con las prioridades ambientales del pais.

Literatura Citada

- Colaboradores (2021). *Anuario, Bejucal. Oficinas Territoriales*, Bejucal, Mayabeque. Cuba.
- Brown, F. (2023). *La educación agroambiental en la escuela pedagógica.* [Tesis doctoral]. Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana, Cuba.
- Castillo Escalona, J. (2021) *La cultura ambiental como núcleo de la estrategia educativa de la disciplina Educación Física. Ciencia y Deporte,* 6(3),15-31. Cuba.
- Colaboradores, (2019) *Plan del INDER para el enfrentamiento al cambio climático.* Instituto Nacional del Deporte la Educación Física y la Recreación. La Habana, Cuba.
- León, S. (2013). *La formación de promotores ambientales comunitarios para actividad físico-deportiva.* [Tesis doctoral]. Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte Manuel Fajardo, La Habana, Cuba.
- Maya, A. (2015). *Hacia una Sociedad Ambiental.* Segunda edición. MAYDA. Bogotá: Editorial El Labrador y Tercer Mundo, Colombia.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2017). *Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba Tarea Vida*, La Habana. CITMATEL.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2023). *Programa nacional de educación ambiental para el desarrollo sostenible 2023 – 2030*, La Habana, Cuba.
- Ministerio de Educación Superior (2022*). Constitución de la República de Cuba*, La Habana. Cuba.
- Posso Pacheco, R. y colaboradores (2022) *Objetivo de desarrollo sostenible acción por el clima: un Aporte desde la Educación Física. Ciencia y Deporte*, 7(2),34-45
- Tosté L. (2025) *La educación ambiental en adultos mayores.* [Tesis doctoral] Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, La Habana.
- Álvarez, P; Vega, P (2009). Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental. Revista de Psicodidáctica. Volumen 14, número 2. España.
- Santos, A, A.; Díaz, P.; Lautín I, (2011). *La Investigación Acción Participativa: posibilidades de aplicación en el contexto actual de Cuba*. Revista Electrónica Luz. Holguín. Cuba. Año X. No. 2. 2011. II Época. ISSN 1814-151X.
- Requena, Y. (2018) *Investigación Acción Participativa y Educación Ambiental. Revista Scientific Artículo Arbitrado* . Registro nº: 295-14548 - pp. BA2016000002, ISSN: 2542-2987 - ISNI: 0000 0004 6045 0361. Bolívar.
- Leff, E. (2006). *Aventuras de la epistemología ambiental. De la articulación de las ciencias al diálogo de saberes, Siglo XXI.* Editores, México, 2006, Édition électronique URL: http://journals.openedition.org/polis/4786 ISSN: 0718-6568 Éditeur Centro de Investigación Sociedad y Políticas Públicas (CISPO).
- Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. (2021-2026). *VIII Congreso del PCC. La Habana, Cuba*. [Archivo PDF]: http://www. granma.cu/file/pdf/gaceta/01Folleto.Lineamientos
- Tosté L., Wong T. (2023) *Potenciar la Tarea Vida desde la Educación Superior municipalizada.* Revista Orbita Científica UCP Enrique José Varona. No 122 Vol.29 enero –marzo ISSN 1027-4472. Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Cuba.

- WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza). (s.f.). Obtenido de https://www.worldwildlife.org
- Wong, M. (2025) *Singularidades en la ruralidad latinoamericana. Apuntes epistemológicos desde una educación diversa, "Educación Rural"*, Centro de Latinoamericano de Estudios en Epistemología Pedagógica a través de su sello Editorial Nova Educare como parte del Sistema de Publicaciones ISBN: 978-92-95129-11-5. Publicado en: https://zenodo.org/records/16883554 DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.16883505 .
- Wong, M.; Brown, F.; Tosté, F. (2023) *Educación Ambiental: necesidad para la transformación social en la educación rural.* Revista: Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible, vol. 12(1):157-176 DOI:10.5377/PAyDS.Y12i1.17422. License. CCBY-NC4.0 Universidad de El Salvador. ISSN2305-1744- PAyDS El Salvador. https://www.catolica.edu.sv, El Salvador.
- Wong, M.; Tosté, F.; Brown, F.; Pérez, C. (2023) *Capacidad para integrar la educación ambiental como transformacion social*, Revista AMA, Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de ciencia, Tecnología y Medio Ambiente CITMA. Vol. 24. https://cU-id.com/1961/v24e05. Cuba.
- Asamblea Nacional del poder Popular (2023). *Ley No.150 Del Sistema Nacional de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente.* Gaceta Oficial, La Habana. Cuba.
- Barba, M. (2020) *La investigación-acción participativa desde la mirada de las maestras participantes en un proceso de formación permanente del profesorado sobre educación inclusiva* [Tesis doctoral] Universidad de Valladolid. España
- Balcazar, F, E. (2003) *Investigación acción participativa (IAP): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. Fundamentos en Humanidades*, vol. IV, núm. 7-8, pp. 59-77 Universidad Nacional de San Luis San Luis, Argentina.
- CITMA (2021), *Fomento de la Educación, la Capacitación y la Toma de Conciencia de la Agenda Centro de información Gestión y Educación Ambiental*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Tomado del capítulo 36: [Formato digital]. La Habana, Cuba.
- Organización de Naciones Unidas (2012). El futuro que queremos. Declaración Final de la Conferencia sobre Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro, Brasil. (En soporte digital)
- Organización de Naciones Unidas (2015). Agenda 2030. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Proyecto de documento final de la Cumbre de las Naciones Unidas. (En soporte digital)
- UNESCO (2018). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible. 70a Asamblea General de la ONU, Nueva York. Estados Unidos. https://es.unesco.org/sdgs

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Caracterización con enfoque participativo de los escenarios de riesgo por variabilidad climática y cambio climático en el corregimiento de Chiquí y vereda la Balsa, San Bernardo del Viento, Córdoba-Colombia

Marcela Bibiana Guerrero Rojas [1], Álvaro Luis Mercado Suárez[2], Miguel Ángel Díaz Salas[3]

Resumen

La caracterización de los escenarios de riesgo, asociados a la variabilidad climática y cambio climático en el corregimiento del Chiquí y vereda La Balsa en el municipio de San Bernardo del Viento, Córdoba en Colombia, permitió analizar cuáles han sido los detonantes de las afectaciones a las comunidades allí asentadas, en relación con el uso del suelo y las actividades antrópicas asociadas a sus medios de vida. La metodología aplicada fue de enfoque cualitativo con alcance descriptivo. En la recolección de la información se utilizaron talleres participativos, cartografía temática, diálogos locales y revisión de instrumentos de planeación territorial y recorridos por las zonas. Entre los hallazgos más relevantes se destacan que las inundaciones en el corregimiento no son solamente una consecuencia de origen local, sino que son la acumulación de agua proveniente desde diferentes zonas y que tiene su manifestación mayormente exacerbada en el corregimiento de Chiquí debido a que los suelos están compactados en concordancia con la creciente actividad ganadera. Así mismo, las intervenciones antrópicas adicionan caudal irregular a este cuerpo de agua, se reciben excesos de escorrentía, de otras zonas como el corregimiento de El Castillo. En las afectaciones sociales, se destacan los daños en las viviendas, las complicaciones de movilidad que trastocan la vida cotidiana y laboral y que viene incrementándose. No se evidencia delimitación de zona de ronda de los caños; pese a que en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), se hace una determinación de 30 metros de franja de retiro aledaños a los caños.

Palabras clave: Riesgo, variabilidad climática, cambio climático, inundaciones, detonantes.

Abstract

The characterization of risk scenarios associated with climate variability and climate change in the Chiquí district and La Balsa village in the municipality of San Bernardo del Viento, Córdoba, Colombia, allowed for an analysis of the triggers for the impacts on the communities settled there, in relation to land use and human activities associated with their livelihoods. The methodology applied was a qualitative approach with a descriptive scope. Data collection involved participatory workshops, thematic mapping, local dialogues, a review of territorial planning instruments, and site visits. Among the most relevant findings is that flooding in the district is not solely a local phenomenon, but rather the result of water accumulation from different areas, with the effects being particularly severe in the Chiquí district due to soil compaction resulting from increased livestock activity. Likewise, human intervention adds irregular flow to this body of water, and it receives excess runoff from other

[1] Escuela Superior de Administración Pública-ESAP Cra. 54 #59-248, Barranquilla, Atlántico, Colombia; marcela.guerrero@esap.edu.com
[2] Escuela Superior de Administración Pública-ESAP Cra. 54 #59-248, Barranquilla, Atlántico, Colombia; alvaro.mercado@esap.edu.com
[3] Universidad Manuela Bentran, Cra. 1 No. 60-00, Bogotá, Colombia; miguelangeldiazsalas70@gmail.com

areas, such as the El Castillo district. Among the social impacts, damage to homes and mobility disruptions that affect daily life and work, and which are increasing, are particularly noteworthy. There is no evidence of a defined buffer zone around the streams, even though the Basic Territorial Planning Plan (PBOT) establishes a 30-meter setback strip adjacent to them.
Keywords: Risk, climate variability, climate change, floods, triggers.

Introducción

El presente trabajo de investigación se basa en la caracterización de las condiciones de riesgo en escenarios de variabilidad climática y cambio climático en áreas seleccionadas del municipio de San Bernardo del Viento, departamento de Córdoba que corresponde a los corregimientos de Chiquí y vereda La Balsa. El corregimiento de Chiquí, es un centro poblado que se localiza a 6.4 km de la cabecera municipal de San Bernardo del Viento. Cuenta con una población de 1.206 habitantes. Para llegar hasta este corregimiento, se accede por vía terrestre desde el casco urbano ya sea por la carretera que conduce al municipio de Moñitos en un recorrido que dura aproximadamente 10 minutos hasta la vía de acceso que es una carretera destapada, con un tiempo total de 35 minutos, o por una carretera interna destapada que sale desde San Bernardo y tiene una longitud de 3 km aproximadamente y atraviesa un puente sobre el caño la Balsa (Puente Chiquí), pero solo pueden transitar motos en cuanto a vehículos y personas caminando; dicho recorrido dura a aproximadamente 15 minutos. A nivel de paisaje tiene una vegetación de bosque seco y manglar con una cobertura muy baja.

La segunda zona seleccionada corresponde a la vereda La Balsa, esta población se ubica a cinco (5) minutos en bus o 20 minutos a pie, desde la cabecera municipal de San Bernardo del Viento; pertenece al corregimiento El Paraíso-Camino Real (Sánchez-Páez *et al.* 1997) y hace parte de la Zona de Uso Sostenible, identificada en la caracterización, diagnóstico y zonificación de los manglares del Departamento de Córdoba, cuya potencialidad la hace susceptible de uso directo y sostenible, bajo un conjunto de reglas económicas, sociales y ecológicas que contemplan la conservación integral y funcional de los componentes de manglares, la productividad del ecosistema en términos de bienes y servicios, y las necesidades de la población (Ulloa *et al.* 2005).

El contexto territorial de las zonas seleccionadas para esta investigación se representa desde una macro unidad que es el Municipio de San Bernardo del Viento, que se caracteriza por ser una entidad territorial identificada por el bajo desempeño institucional, precariedad socioeconómica, pero al mismo tiempo dotado de destacados ecosistemas tales como: zonas costeras, caños, manglares adicional a lo anterior, este territorio junto con municipios contiguos vienen dinamizándose en materia de desarrollo de turismo de naturaleza.

El Plan de Desarrollo Municipal Todo por mi Pueblo 2023-2027 del municipio de San Bernardo del Viento, señala que este territorio se encuentra ubicado en la zona costera del departamento de Córdoba de la región Caribe de Colombia, se extiende a lo largo de 321.00 Km2 que comprenden el casco urbano y 17 corregimientos, que constituye el 18 % del territorio departamental (Alcaldía Municipal San Bernardo del Viento, 2023). De acuerdo con información disponible en Terridata DNP (2026), este ente territorial cuenta con una

población de 41.755 habitante, se desataca por ser altamente rural con un 75,8% y solo el 24, 2% se ubica en la zona urbana. El territorio presenta 5298 predios rurales que representan el 56,5%, avaluados en $129.193 millones y 4.087 predios urbanos que aportan el 43,5%, avaluados en $44.854 millones.

El perfil económico del municipio destaca que el valor agregado que aporta esta entidad al departamento de Córdoba es de 1,1% al año 2023, lo cual lo coloca en un plano de baja importancia económica a nivel departamental. El PIB municipal asciende a 320 mil millones de pesos colombianos, siendo el sector terciario el de mayor contribución con 227 mil millones de pesos colombianos, seguido del sector primario con 74 mil millones de pesos colombianos y finalmente, el sector secundario con 19 mil millones de pesos colombianos. (DANE, 2026). A nivel de su actividad agrícola se destacan los cultivos transitorios, liderados por el arroz con 15.556 toneladas en 2025, además se produce yuca, berenjena, patilla y ñame; por su parte, en los cultivos permanente de mayor producción se encuentra el plátano con 100 toneladas a 2025. (Territata DNP, 2026)

El municipio de San Bernardo se encuentra en categoría 2 y recibe según información reportada por el Departamento Nacional de Planeación en el Sistema de información y consulta de distribuciones de recursos (SICODIS) $ 39.130.272.427,00 correspondientes a transferencias del Sistema General de Participación de la nación al año 2026 y estos recursos representan el 91.1% del total de ingresos percibidos, denotando alta dependencia de las transferencias. Por su parte, el resultado de los nuevos puntajes del Índice de Desempeño Fiscal es de 57,8 puntos para el año 2024, que se redujo en 1,91% frente al del año 2020, reflejándose la precariedad del ente territorial en materia de finanzas públicas que pueden limitar su capacidad de inversión en la gestión del riesgo

En lo pertinente al desempeño municipal se exhibe un resultado muy deficiente de 39.99 frente al 48,51 del departamento y 54,69 del nivel nacional. El mejor comportamiento municipal en este índice está en resultados con 64,88 y en contraste en gestión es del 41,45, lo cual plantea desafiantes retos para la administración municipal, especialmente en materia de movilización de recursos para ejercer mayor inversión con recursos propios y enfocar un mejor recaudo con los instrumentos del ordenamiento territorial y así mismo se puede impactar en la debil implementación de los instrumentos de planeación, ordenamiento y gestión del riesgo.

Como síntesis del desarrollo territorial sostenible de San Bernardo del Viento, se exponen los resultados del Índice de Desarrollo Sostenible Municipal que comprende una mirada a los avances de los municipios frente la Agenda 2030, evidenciándose que, desde 2022, el municipio desmejora en su desempeño, pasando del puesto 297 a 433 y 506 en los años 2023 y 2024 respectivamente. El IDSM para 2024 fue de 63.86 que refleja un nivel de cumplimiento medio frente a los ODS de la Agenda 2030. Los resultados más deficientes para el 2024 son en el ODS 17 (2,08), seguido por ODS 4 Educación de Calidad (47,66), OD6 Agua limpia y saneamiento (50,32) y ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico (57,84). A nivel nacional el IDSM es de 63,15, que corresponde a un desempeño medio. (ProPacífico, 2024)

A nivel geoambiental, es menester destacar que San Bernardo del Viento hace parte de la Unidad Ambiental Costera estuarina Río Sinú – UAC Golfo de Morrosquillo, dada la

presencia del sistema deltaico – estuarino del Río Sinú y por ende este municipio se traslapa con el Distrito de Manejo Integrado Cispatá, La Balsa y Tinajones, zona que comprende 27.171 hectáreas y cobija ecosistemas y recursos estratégicos como los manglares en la Bahía de Cispatá - La Balsa - Tinajones y los alrededores de San Bernardo del Viento, que destaca la presencia de aproximadamente 8.028 has de manglares. (Alcaldía Municipal San Bernardo del Viento, 2023)

Las condiciones geoambientales del área seleccionada en los corregimientos del Chiquí y la vereda La Balsa en el municipio de San Bernardo, ponen de relieve esta zona para continuar profundizando en el análisis de la fenomenología del cambio climático y la variabilidad climática a escala local, especialmente en territorios costeros que, al tiempo de la riqueza de ecosistemas de manglares, caños, la presencia de cuencas como El Río Sinú y sus afluentes, permiten entender como sus dinámicas entre las cuales se destacan: mayor desarrollo de la vocación turística, tradición de la actividad ganadera, acompañada de bajos niveles de desarrollo social, ponen de manifiesto condiciones de vulnerabilidad de estos territorios que exigen que los instrumentos de ordenamiento territorial y de gestión del riesgo se gestionen eficientemente para mitigar los impactos que estas condiciones deriven en las comunidades.

Finalmente, se destaca que este trabajo fue desarrollado bajo metodología de tipo cualitativo que privilegió la amplia participación de la comunidad asentada en ambas localidades, representado por autoridades municipales, autoridades ambientales, entre otras. El presente documento se divide en cuatro (4) secciones incluyendo esta introducción, seguido de la metodología que incluye los materias y métodos, luego se comparten los resultados y finalmente las conclusiones.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la presente investigación se adoptó el enfoque cualitativo con alcance descriptivo. Se utilizaron técnicas para la caracterización de las condiciones de riesgo en escenarios de variabilidad climática y cambio climático del área seleccionada del municipio de San Bernardo del Viento en los corregimientos de Chiquí y vereda La Balsa. Las técnicas utilizadas en el proceso de levantamiento de información para caracterizar los escenarios de riesgo que son relevantes para la población del Corregimiento de Chiquí, fueron de tipo cualitativo, ya que estas permitieron obtener información importante que facilita la toma de decisiones respecto de las intervenciones más adecuadas para la zona y con el fin de reducir los escenarios de riesgo que los afectan. Entre las técnicas cualitativas que fueron utilizadas están:

Cartografía temática: Con base en la información existente, se realizó mediante el apoyo de sistemas de información geográfica la interpretación de imágenes de las áreas a trabajar, donde se identificaron el tipo de cobertura y los ecosistemas presentes en el área seleccionada (Caño La Balsa y corregimiento de El Chiquí).

Revisión de instrumentos de planificación: se consultaron instrumentos pertinentes para el municipio, tales como el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, El Plan de Desarrollo Municipal y el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, estos instrumentos permitieron reconocer las limitantes del municipio, la baja capacidad de gestión frente a las

amenazas presentes y también las actuaciones que se han seguido para enfrentar las mismas y de igual manera, las características de territorio que lo hacen susceptible ante estos fenómenos, así como las dinámicas de ocupación del suelo, que lo hacen vulnerable ante los efectos de un clima cambiante y de los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Diálogos locales: esta técnica se utilizó para recopilar información de la percepción de los ecosistemas, los riesgos o amenazas por variabilidad climática del área de estudio en San Bernardo del Viento; estos se realizaron en reuniones con autoridades locales como: funcionarios de la alcaldía de San Bernardo (secretarios de turismo y planeación, y coordinador de gestión del riesgo), Corporación Autónoma Regional de los Valles del Río Sinú y del San Jorge-CVS y mangleros (personas dedicadas al aprovechamiento sostenible de la madera de manglar) los cuales aportaron información valiosa sobre sitios en riesgo dentro del municipio.

Talleres participativos: Específicamente, se realizaron tres (3) talleres en donde participaron diferentes actores, a saber: comunidad en general, Juntas de Acción Comunal, asociación de mangleros, asociaciones productivas, mujeres, alcaldía municipal (secretarios de planeación, desarrollo económico y agroindustrial, turismo y el coordinador de gestión del riesgo), Corporación Autónoma Regional de los Valles del Río Sinú y del San Jorge-CVS, y estudiantes del colegio de Chiquí.

Por su parte para la caracterización de amenazas y riesgos por variabilidad y cambio climáticos del área de estudio, se identificaron previamente los fenómenos amenazantes que de manera general afectan al municipio de San Bernardo del Viento, posteriormente, se realizó un taller dirigido a la comunidad de Chiquí, en dónde se utilizaron herramientas participativas, tales como líneas del tiempo (Foto No. 4) y cartografía social (Foto No.5), con el fin de que la comunidad expusiera las amenazas y los riesgos derivados de estas, que impactan en sus corregimientos y en sus medios de vida.

Resultados y discusión

Taller 1: Se realizó en la vereda la Balsa con la participación de 23 personas, entre ellos los secretarios de desarrollo económico y planeación de la alcaldía de San Bernardo del Viento, funcionarios del programa Vida Manglar y la Fundación Omacha, representantes de la Asociación de Mangleros de la Balsa (ASOMANGLEBAL) y miembros de la Junta de Acción Comunal de la Balsa y algunas personas del corregimiento de Chiquí. En este taller se abordaron conceptos básicos de gestión del riesgo y se realizaron líneas de tiempo para conocer los eventos de inundaciones y lugares afectados en varias décadas (1990, 2000, 2012 y 2022), también se hizo cartografía social para identificar los ecosistemas presentes y ubicar los sitios o lugares de inundación, donde se pudo conocer que la comunidad más afectada por este fenómeno es la comunidad del centro poblado de Chiquí (Foto No. 1)



Foto No. 1. Taller No. 1, realizado en la comunidad de la vereda La Balsa.

Taller 2: Este taller se realizó en la comunidad de Chiquí, al cual asistieron catorce (14) personas, con participación de la Junta de Acción Comunal y personas en general de la comunidad con conocimiento amplio del territorio. En este espacio los asistentes expusieron sus experiencias con los eventos de inundación ocurridos a través de líneas de tiempo y cartografía social.



Foto No. 2. Taller No. 2, realizado en la comunidad de Corregimiento Chiquí.

Taller 3: Este taller que también se realizó en la comunidad de Chiquí contó con la participación de aproximadamente 50 personas, se identificaron los escenarios de riesgo y con los insumos de las líneas de tiempo, se pudieron evidenciar cuáles fueron los años en que el fenómeno de inundación fue más fuerte y la comunidad expresó que la recurrencia de estas inundaciones, es cada vez más corta, prácticamente el período de retorno de las inundaciones, es de un año y esto es indicador una amenaza alta frente al fenómeno



Foto No. 3. Taller No 3, realizado en la comunidad de Chiquí

De igual manera, se adelantaron unos recorridos a los caños aferentes a caño La Balsa, en compañía de las comunidades afectadas del Corregimiento de Chiquí, allí se identificaron algunos caños artificiales construidos por los propietarios de las fincas y en general, por las comunidades aferentes a los caños, en este caso, aparece el caño el Indio, caño Tío Pío, Caño Correntoso, Trementino, Ciénaga El Charcón y Ciénaga Chambá. De igual manera, este recorrido se realizó considerando la cartografía del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio, se evidenció en este recorrido, que la cartografía del PBOT, no coincide con lo encontrado en el territorio y tal y cómo se mencionaba previamente, en la actualidad, existen caños que no estaban delimitados, para la época en que se elaboró el Plan de Ordenamiento Territorial (2001). En el recorrido, se evidenciaron cuerpos de agua y ciénagas, que finalmente conectan con la ciénaga el Charcón, que no se encontraban registradas en la cartografía del PBOT (Foto No.4)



Foto No. 4. Izquierda: Evidencia de residuos y obstáculos en los caños visitados. Derecha: Presencia de ganadería en los caños recorridos.

.

Para la caracterización de amenazas y riesgos en el área seleccionada, se identificaron previamente los fenómenos amenazantes que de manera general afectan al municipio de San Bernardo del Viento, posteriormente, se realizó un taller dirigido a la comunidad de Chiquí, en dónde se utilizaron herramientas participativas, tales como líneas del tiempo (Foto No. 5) y cartografía social (Foto No.6), con el fin de que la comunidad expusiera las amenazas y los riesgos derivados de estas, que impactan en sus corregimientos y en sus medios de vida.

En la línea del tiempo, la comunidad consolidó en diferentes décadas, la forma en que las inundaciones los habían afectado, en qué épocas se produjeron los mayores impactos y los detonantes de estas inundaciones y que según la comunidad, exacerban el impacto del fenómeno en su vida cotidiana y en la generación y sostenimiento de sus medios de vida y de producción, así mismo, estas líneas del tiempo permiten identificar cómo con el tiempo han ido cambiando las actividades económicas y productivas y el impacto que estas han tenido en el ecosistema y en el aumento de las inundaciones, en este caso el cultivo de arroz, que se adelanta en las orillas de los caños, aumenta la posibilidad de que la inundación afecte en mayor medida a la población.

En el mismo sentido, la cartografía social presentada por la comunidad permitió georreferenciar las zonas con mayor afectación para el corregimiento de Chiquí y en dónde estratégicamente se localizan las áreas de interés económico de las comunidades

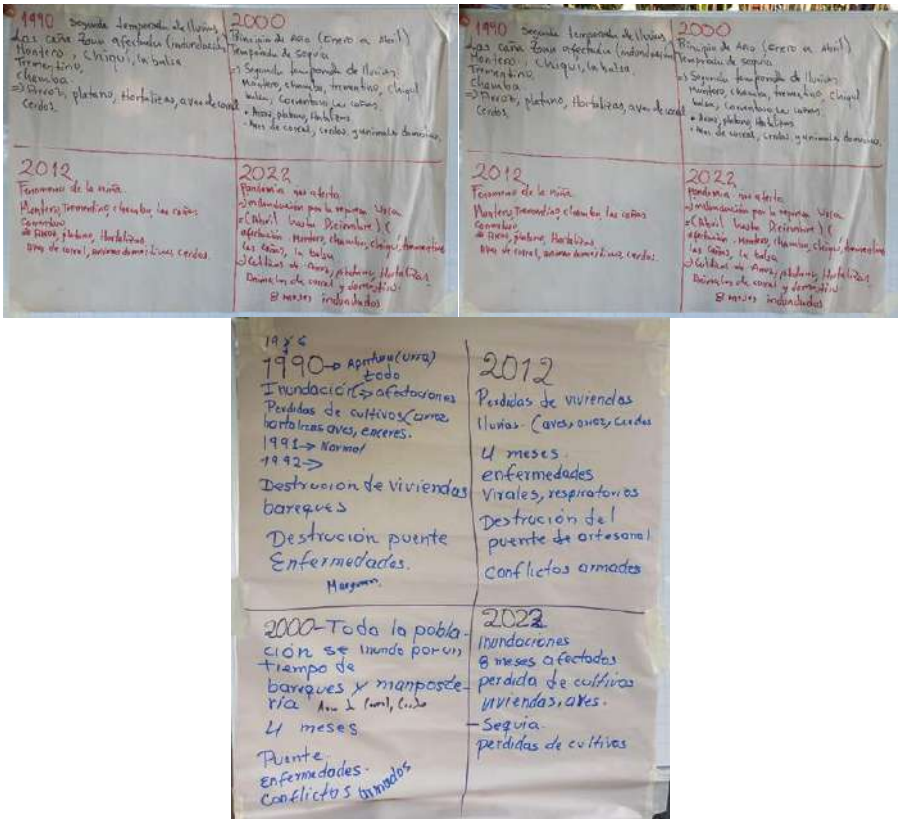


Foto No. 5. Línea del tiempo, con la identificación de las amenazas en el corregimiento de Chiquí.



Foto No. 6 Cartografía social para la identificación de inundaciones en el corregimiento de Chiquí

Posteriormente, en un primer taller realizado en el Corregimiento de Chiquí en las instalaciones de la Institución Educativa y con el objetivo de que el ejercicio fuera de fácil comprensión para la comunidad, se explicó la diferencia entre Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, así como un acercamiento a la definición de los detonantes que exacerban las amenazas, después de abordados estos temas, la comunidad a partir de unas preguntas

orientadoras, hizo una caracterización de los escenarios de riesgo, presentes en el Corregimiento de Chiquí.

Explicación del fenómeno amenazante asociado a la geografía del sector

La comunidad identificó su entorno y definió que en los alrededores del corregimiento de Chiquí, no se encontraban formaciones de ladera ni altas pendientes, los accidentes geográficos que resaltaron fueron los asociados a los caños, pantanos, canales, planicies, manglares ciénagas y en general zonas bajas inundables. Según el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres elaborado para el municipio de San Bernardo del Viento y específicamente para la localización del Corregimiento de Chiquí se observa que las geoformas predominantes son terrazas de varios niveles, cuerpos de agua y planos de inundación, esto asociado a las amenazas, se relaciona directamente con inundaciones lentas y se explica la naturaleza del fenómeno de inundación, asociado con las características geográficas y geomorfológicas.

Factores contribuyentes: Detonantes, que exacerban la magnitud del fenómeno

Entre los planteamientos de la comunidad de Chiquí y la Balsa, asociados a los detonantes que exacerban la magnitud de los fenómenos identificados inicialmente, tales como la inundación, sequías, huracanes (vendavales), erosión fluvial y salinidad, según las comunidades están detonados o se deben a las siguientes causas, a continuación, en la Tabla 1, se muestra la percepción de la comunidad:

PERCEPCIÓN COMUNIDAD
Deforestación
Sedimentación de caños
Influencia de operación de Urrá
Vías mal planificadas
Asentamientos humanos de origen informal
Destrucción del mangle

Tabla 4. Detonantes que exacerban los fenómenos amenazantes en el Corregimiento de Chiquí. (Fuente: Elaboración propia, 2024)

Tamaño del fenómeno: Magnitud, recursos e intensidad

Según las comunidades, el tamaño del fenómeno es bastante fuerte, dado que las inundaciones cada vez son más prolongadas y producen mayores afectaciones a la comunidad, del Corregimiento de Chiquí, se manifiesta que el aumento de las inundaciones ha ocasionado el fenómeno de intrusión salina que impacta en la disminución de los recursos pesqueros de agua dulce y de manera específica, el agotamiento de la Toloya, pez emblemático de la comunidad de Chiquí y que genera una dinámica participativa y comunitaria alrededor de la pesca y consumo de esta especie y que hace parte de las características culturales de este Corregimiento. La comunidad, también expresa en este ejercicio, que los recursos invertidos para la reducción y el manejo del impacto de estas inundaciones han sido escasos y sus formas y medios de vida, se han visto afectadas con mayor intensidad, desde el año 2000, de igual manera, en el año 2010, por efectos del

fenómeno de la Niña, el impacto en la comunidad se exacerbó y las inundaciones fueron prolongadas y fuertes.

¿Qué se puede dañar?

La comunidad expresa en su mayoría, que lo que se puede dañar son los cultivos (arroz, plátano y hortalizas), el ganado, las vías, el suelo al inundarse y saturarse, también manifiestan que hay pérdida parcial de flora y fauna, pérdida de oportunidades para la producción de carbono azul y muerte de peces nativos de la región.

¿Por qué se incrementan los daños?

Los daños se ven incrementados por las quemas, la humedad y las sequías. De igual manera, la comunidad expresa que los daños incrementan por la mano del hombre, la contaminación ambiental, la no canalización del Caño El Indio o Caño México y represamiento del río de las aguas soltadas por la hidroeléctrica Urrá y construcción de las carreteras de la camaronera. Así mismo, se indica que este tipo de fenómenos se presentan cada vez con mayor frecuencia e intensidad.

Antecedentes históricos

La comunidad manifiesta, que hace 30 años atrás no se presentaban inundaciones, no había sedimentación en los caños, existía más vegetación, aumentó la erosión y la incidencia de la hidroeléctrica de Urrá exacerbó las inundaciones. De igual manera, los pescadores construyeron jarillones y represaron algunos cuerpos de agua, según la población estos jarillones se construyen con el fin de disminuir las inundaciones y el objetivo final, es el de proteger sus cultivos, del impacto de la inundación. En el año 2010, se reportaron las inundaciones más complejas que han afectado al corregimiento de Chiquí, posteriormente, después de las inundaciones, se consolidó una fuerte sequía que también los afectó en gran medida.

¿Qué se ha hecho?

A través de los talleres realizados la comunidad expresa que no se ha hecho nada y algunos indican que las actuaciones que se han emprendido han afectado en mayor medida al ecosistema y que se han destruido las estructuras de regulación del ecosistema, también se mencionan programas de mejoramiento de vivienda y programas de apoyo social a la comunidad.

¿Qué se va a hacer?

La comunidad manifiesta que está en búsqueda de recursos para descolmatar los caños y que disminuyan las inundaciones, también se han emprendido acciones de reforestación de forma puntual. Así mismo, la comunidad considera que se deben hacer capacitaciones a los habitantes e implementar proyectos de canalización de caños y canales, así como construir jarillones alrededor de los caños, para contener la inundación.

Conclusiones frente a los escenarios de riesgo

El ejercicio de caracterización de escenarios de riesgo, aplicado por la comunidad tiene como objetivo que la comunidad manifieste su percepción frente a los escenarios de riesgo presentes en su territorio y que conteste cada una de las preguntas planteadas, entorno a los escenarios de riesgo; no obstante, en el territorio estudiado se evidenciaron algunos elementos y situaciones que no fueron manifestadas por la comunidad durante los talleres desarrollados, pero que igual son de carácter relevante en el análisis del Sistema Socio ecológico, desde el punto de vista de las amenazas y/o riesgos.

Los recorridos por el territorio, en los diferentes caños conectantes o afluentes del Caño La Balsa y que en algún momento reciben aguas del río Sinú, permiten concluir que las inundaciones en el corregimiento no son solamente una consecuencia de origen local, sino que son la acumulación de agua proveniente desde diferentes zonas y que tiene su manifestación mayormente exacerbada en el corregimiento de Chiquí por cuanto las pendientes son muy bajas y los suelos están compactados debido a la ampliación de zonas ganaderas o ampliación de potreros. De igual manera, se estableció que las intervenciones antrópicas que se han realizado en diferentes zonas aferentes al caño la Balsa, adicionan caudal irregular a este cuerpo de agua, que, en temporada de lluvias, no puede ser evacuado por las condiciones previamente descritas. De la misma manera y según lo expresa la comunidad y representantes de la alcaldía, desde el Corregimiento El Castillo, aferente al Corregimiento de Chiquí, también se reciben excesos de escorrentía, por cuanto el corregimiento de El Castillo en su topografía presenta mayores pendientes y descarga sus aguas por gravedad hacia el Corregimiento de Chiquí

En lo que respecta a las afectaciones para la comunidad, se advierten afectaciones a viviendas, la movilidad con el colapso del puente de Chiquí sobre el Caño la Balsa, lo cual incrementa los costos de desplazamiento de la población y la comunicación con la cabecera municipal de San Bernardo del Viento y también ocasiona accidentes que inclusive han terminado en fallecimientos, así mismo limita el relacionamiento físico de las personas, aumenta los problemas de salud, se interrumpen las jornadas escolares y se afectan los propietarios de grandes extensiones de tierra, por cuanto deben movilizar su ganado hacia zonas altas y pagar cantidades adicionales por los pastos para el alimento de este ganado.

En lo referente al incremento de los daños, la comunidad manifiesta algunas razones; no obstante, es importante anotar que la sedimentación en los cuerpos de agua y la compactación del suelo, exacerban las complejidades del fenómeno. En igual sentido, no hay delimitación de zona de ronda; pese a que en el PBOT se hace una determinación de 30 metros de franja de retiro aledaños a los caños, este señalamiento no ha generado la delimitación física ni la inscripción en folios de matrícula inmobiliaria sobre predios privados, lo cual ha ocasionado que la población y el ganado tengan acceso directo a los caños, generando las intervenciones antrópicas que se han descrito previamente en el documento.

Literatura citada

- Alcaldía de San Bernardo del Viento, 2023. Plan de Desarrollo Municipal Todo por mi Pueblo 2023-2027. Recuperado el 12 de julio de 2026 de: https://planeacionnacional-my.sharepoint.com/personal/planeacionterritorial_dnp_gov_co/_layouts/15/onedrive.aspx?viewid=6efc7202%2Dd6a1%2D4312%2Da3b4%2D670ae5ab3d41&id=%2Fpersonal%2Fplaneacionterritorial%5Fdnp%5Fgov%5Fco%2FDocuments%2FPDT%202024%2D2027%2F23%5FC%C3%B3rdoba%2F23675%5FSan%5FBernardo%2FPDM%20TODO%20POR%20MI%20PUEBLO%202024%20%2D%202027%20V%20final%2Epdf&parent=%2Fpersonal%2Fplaneacionterritorial%5Fdnp%5Fgov%5Fco%2FDocuments%2FPDT%202024%2D2027%2F23%5FC%C3%B3rdoba%2F23675%5FSan%5FBernardo
- Departamento Nacional de Estadística -DANE-, (2026). Cuentas Nacionales Departamentales: PIB por departamento/Valor agregado por municipio: serie 2011-2024. Recuperado el 12 de julio de 2026 provisionalhttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales
- Departamento Nacional de Planeación- Territata, (2026). Ficha territorial del municipio de San Bernardo del Viento. Recuperado el 12 de julio de 2026 https://territata.dnp.gov.co/assets/docs/fichas/Ficha_23675.pdf
- Departamento Nacional de Planeación-SICODIS. Presupuesto - Sistema General de Participaciones (SGP), (2026). Recuperado el 12 de julio de 2026 https://sicodis.dnp.gov.co/sgr-recaudo-directas
- Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y del San Jorge- CVS e Instituto de Investigaciones Marinas y Costera- INVEMAR. 2010. Plan de manejo del Distritito de Manejo Integrado (DMI) bahía de Cispatá-La Balsa-Tinajones y sectores aledaños del delta estuarino del río Sinú, departamento de Córdoba. Editores: Rojas, G. X. y P. Sierra-Correa. Serie de publicaciones especiales No 18 de INVEMAR. Santa Marta. 141 p.
- https://golfodemorrosquillo.com/sitios/san-bernardo-del-viento/cano-la-balsa
- Plan de Ordenamiento Territorial. 2001, alcaldía de San Bernardo del Viento
- ProPacífico, (2024). Índice de Desarrollo Sostenible Municipal Colombia 2024. Recuperado el 12 de julio de 2026 https://propacifico.org/wp-content/uploads/2024/11/informe-idsm-2024.pdf
- ProPacífico, (2024). Índice de Desarrollo Sostenible Municipal Colombia: Datos locales para metas globales, ficha ODS San Bernardo del Viento. Recuperado el 12 de julio de 2026 en https://propacifico.org/ods/
- Salcedo, D. 2011. Análisis de la acción colectiva en el uso y manejo del mangle en la zona de uso sostenible del sector estuarino de la bahía de Cispatá en el departamento de Córdoba. trabajo de grado para optar al título de magíster en desarrollo rural. Pontificia Universidad Javeriana. Maestría desarrollo rural. Bogotá.
- Ulloa, G.A., H. A. Tavera., C. L. Sierra y K. Berrocal. 2005. Plan de manejo integral de los manglares de la zona de uso sostenible de La Balsa y de la zona de recuperación de Tinajones departamento de Córdoba. Informe final. Corporación Autónoma Regional de los Valles Del Sinú y Del San Jorge-CVS, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal CONIF.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Construcción de resiliencia comunitaria frente al cambio climático mediante Adaptación basada en Ecosistemas: un estudio comparado entre México y El Salvador

Christian Cancela Nava[1], Marcia Lizeth Barrera de Calderón[2] y Danú Alberto Fabre Platas[3]

Resumen

El cambio climático intensifica vulnerabilidades socioambientales que adquieren expresiones diferenciadas según las características ecológicas, productivas y organizativas de cada territorio. En este contexto, la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) ofrece alternativas para fortalecer la capacidad adaptativa mediante el aprovechamiento sostenible de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, la implementación de estas medidas no genera automáticamente resiliencia comunitaria. El objetivo de este artículo es analizar comparativamente cómo las condiciones de vulnerabilidad territorial y los procesos de apropiación de medidas AbE incidieron en la construcción de capacidades diferenciadas de resiliencia frente al cambio climático en el Grupo Manos Mágicas, Veracruz, México, y Finca El Espino, San Salvador, El Salvador. La investigación adopta un enfoque cualitativo mediante un estudio de caso comparado sustentado en entrevistas semiestructuradas, observación, recorridos de campo y análisis documental. Los resultados muestran que las medidas implementadas respondieron a vulnerabilidades territoriales específicas y que su capacidad adaptativa estuvo mediada por procesos de aprendizaje, experimentación, articulación de saberes locales y conocimientos técnicos, organización y apropiación comunitaria. En Manos Mágicas, la resiliencia se vinculó principalmente con aprendizaje productivo, medios de vida y condiciones ecológicas del bosque mesófilo; en Finca El Espino adquirieron mayor relevancia la gestión del suelo y el agua, la experimentación agroecológica y la articulación institucional. Se concluye que la resiliencia comunitaria constituye una capacidad dinámica, relacional y territorialmente situada, cuya construcción depende de la articulación entre vulnerabilidad, medidas AbE, aprendizaje, apropiación y capacidades colectivas.

Palabras clave: Adaptación-basada-en-Ecosistemas; resiliencia-comunitaria; cambio-climático; capacidad-adaptativa; saberes-locales.

Abstract

Climate change intensifies socio-environmental vulnerabilities that manifest in distinct ways depending on the ecological, productive, and organizational characteristics of each territory. In this context, Ecosystem-based Adaptation (EbA) offers alternatives for strengthening adaptive capacity through the sustainable use of ecosystem services. However, the implementation of these measures does not automatically generate community resilience. This article presents a comparative analysis of how territorial vulnerability conditions and

[1] Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana en Dr. Castelazo Ayala, S/N, Col. Industrial Ánimas, C.P. 91190, Xalapa, Veracruz, México. ccancelacn@gmail.com
[2] Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador en Final Avenida Mártires Estudiantes del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador. marcia.barrera@ues.edu.sv
[3] Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores Económicos y Sociales de la Universidad Veracruzana en Dr. Castelazo Ayala, S/N, Col. Industrial Ánimas, C.P. 91190, Xalapa, Veracruz, México. dfabre@uv.mx

the processes of adopting EbA measures influenced the development of distinct resilience capacities in the face of climate change within the Manos Mágicas Group (Veracruz, Mexico) and Finca El Espino (San Salvador, El Salvador). The research employs a qualitative approach based on a comparative case study involving semi-structured interviews, observation, field visits, and document analysis. The results show that the implemented measures addressed specific territorial vulnerabilities and that adaptive capacity was shaped by processes of learning, experimentation, the integration of local and technical knowledge, organization, and community ownership. In Manos Mágicas, resilience was primarily linked to productive learning, livelihoods, and the ecological conditions of the cloud forest; at Finca El Espino, land and water management, agroecological experimentation, and institutional coordination were of greater importance. The study concludes that community resilience is a dynamic, relational, and territorially situated capacity, the development of which depends on the interplay between vulnerability, EbA measures, learning, ownership, and collective capacities.

Keywords: Ecosystem-based-adaptation; community-resilience; climate-change; adaptive-capacity; local-knowledge.

Introducción

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos para la sostenibilidad de los sistemas rurales y periurbanos de América Latina, donde sus efectos interactúan con procesos de desigualdad socioeconómica, transformación de los ecosistemas, expansión urbana y presión sobre los recursos naturales (IPCC, 2014). La vulnerabilidad resultante no depende únicamente de la intensidad de las amenazas climáticas, sino de las condiciones sociales, productivas y ambientales que determinan la exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta de cada territorio. Esta perspectiva resulta especialmente relevante donde los medios de vida dependen directamente de los servicios ecosistémicos, pues las modificaciones en los patrones de precipitación, disponibilidad de agua, estabilidad de los suelos y condiciones de producción pueden afectar simultáneamente las actividades económicas y las bases ecológicas que las sostienen (PNUD-SEMARNAT, 2013).

Frente a estos desafíos, la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) ha adquirido relevancia como una estrategia que utiliza la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para contribuir a la adaptación frente a los efectos adversos del cambio climático (Vignola et al., 2009). Dentro del marco más amplio de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), estas estrategias articulan la conservación, restauración y manejo sostenible de los ecosistemas con objetivos sociales y comprenden intervenciones como restauración ecológica, conservación de suelos, sistemas agroforestales, manejo hídrico, agricultura sostenible y fortalecimiento de medios de vida (Sowińska-Świerkosz & García, 2022). Su implementación, sin embargo, ocurre en territorios con vulnerabilidades, capacidades institucionales y conocimientos locales diferenciados.

Esta heterogeneidad plantea un problema central: la implementación de una medida AbE no equivale automáticamente a la construcción de capacidad adaptativa. Entre una intervención técnicamente pertinente y su incorporación efectiva a las estrategias comunitarias median procesos de aprendizaje, experimentación, participación y apropiación (McLean, 2015). La experiencia de CityAdapt muestra que algunas prácticas requirieron acompañamiento y capacitación mediante procesos de aprendizaje práctico y que la continuidad de las

intervenciones depende también de la corresponsabilidad de los actores locales durante su diseño, implementación y seguimiento. En consecuencia, comprender la adaptación exige desplazar parcialmente la atención desde las características técnicas de las medidas hacia los procesos sociales y territoriales mediante los cuales son incorporadas, modificadas y sostenidas por las comunidades (United Nations Environment Programme, 2024).

Desde esta perspectiva, la resiliencia comunitaria puede entenderse como un proceso territorialmente situado, construido mediante la interacción entre vulnerabilidad socioambiental, medidas de adaptación, saberes locales, aprendizaje y capacidades colectivas (Rosset & Martínez-Torres, 2016). Este enfoque permite superar una interpretación de la resiliencia como propiedad generada por la simple incorporación de infraestructura o tecnologías ambientales y dirigir el análisis hacia los mecanismos que convierten una intervención en recursos y capacidades susceptibles de ser movilizados frente a condiciones ambientales cambiantes.

El artículo aborda este problema mediante la comparación del Grupo Manos Mágicas, localizado en San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, México, y Finca El Espino, ubicada en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Ambos casos estuvieron vinculados con el proyecto regional *Construcción de resiliencia climática en sistemas urbanos a través de la Adaptación basada en Ecosistemas en América Latina y el Caribe*, desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente mediante CityAdapt (PNUMA, s.f.). Sin embargo, las intervenciones se desarrollaron en contextos socioambientales diferentes. En Xalapa-Tlalnelhuayocan convergen ecosistemas de montaña, actividades rurales y periurbanas y vulnerabilidades relacionadas con agua, erosión y fenómenos hidrometeorológicos. En la microcuenca del Arenal Monserrat, donde se localiza Finca El Espino, la presión urbana interactúa con riesgos hidrometeorológicos y con la conservación de sistemas agrícolas que cumplen funciones productivas y ecosistémicas. Esta diversidad proporciona condiciones pertinentes para examinar cómo un mismo marco regional de adaptación adquiere expresiones diferenciadas cuando interactúa con territorios y colectivos específicos.

El objetivo del artículo consiste en analizar comparativamente cómo las condiciones de vulnerabilidad territorial y los procesos comunitarios de apropiación de medidas de Adaptación basada en Ecosistemas incidieron en la construcción de capacidades diferenciadas de resiliencia frente al cambio climático en el Grupo Manos Mágicas y Finca El Espino. Para ello, se examinan las vulnerabilidades socioambientales de ambos territorios, las medidas implementadas y los procesos de aprendizaje, apropiación y construcción de capacidad adaptativa asociados con ellas.

La hipótesis sostiene que la construcción de resiliencia comunitaria frente al cambio climático no deriva automáticamente de la implementación de medidas AbE, sino de su articulación con vulnerabilidades territoriales específicas, saberes locales, procesos de aprendizaje y capacidades organizativas. En consecuencia, intervenciones inscritas en un mismo programa regional pueden contribuir a configuraciones diferenciadas de resiliencia cuando son apropiadas por comunidades insertas en contextos socioambientales distintos. La heterogeneidad de estas configuraciones no representa necesariamente una limitación de las estrategias de adaptación, sino una expresión de su carácter territorial.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo sustentado en un estudio de caso comparado, orientado a analizar cómo las condiciones de vulnerabilidad socioambiental y los procesos de apropiación de medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) incidieron en la construcción de capacidades comunitarias frente al cambio climático. Se seleccionaron el Grupo Manos Mágicas, localizado en San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, México, y Finca El Espino, ubicada en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador. Ambos casos participaron en el proyecto regional CityAdapt y compartieron, por tanto, un mismo marco institucional de intervención, pero presentan condiciones socioambientales, productivas y territoriales diferenciadas. Esta configuración permitió concentrar la comparación en las relaciones entre vulnerabilidad territorial, características de las medidas AbE y procesos comunitarios de apropiación.

La producción de información se desarrolló entre 2023 y 2025 mediante entrevistas semiestructuradas, observación participante, recorridos de campo, registro fotográfico y análisis documental. Para Manos Mágicas se realizaron cinco entrevistas a socias fundadoras e integrantes activas, además de una entrevista al coordinador nacional del proyecto PNUMA en México. Las visitas de campo permitieron observar las condiciones territoriales, actividades productivas, funcionamiento del módulo de hongos comestibles y dinámicas organizativas asociadas con su implementación. En Finca El Espino se realizaron cinco entrevistas virtuales con integrantes fundadores y miembros activos. Debido a las condiciones logísticas del trabajo internacional, este caso se complementó con documentación institucional, estudios técnicos e investigaciones sobre las intervenciones desarrolladas en la microcuenca del Arenal Monserrat y la Cooperativa El Espino.

El corpus documental incluyó los estudios de vulnerabilidad socioambiental de Xalapa-Tlalnelhuayocan y la microcuenca del Arenal Monserrat, guías de implementación, informes de resultados y lecciones aprendidas de CityAdapt y documentación técnica sobre las Soluciones basadas en la Naturaleza desarrolladas en ambos territorios. Para El Salvador se incorporaron además investigaciones sobre manejo de sedimentos, escorrentía, humedad y erosión del suelo en la Cooperativa El Espino. Estas fuentes permitieron reconstruir las condiciones previas de vulnerabilidad, caracterizar las intervenciones y contrastar sus procesos de implementación con la información obtenida mediante entrevistas y observación.

La triangulación distinguió tres niveles de evidencia: vulnerabilidad territorial diagnosticada, correspondiente a las condiciones socioambientales de exposición y sensibilidad frente a amenazas climáticas; medidas AbE implementadas, entendidas como intervenciones orientadas a reducir vulnerabilidades mediante funciones ecosistémicas; y procesos comunitarios de apropiación y construcción de capacidades, identificados a partir del aprendizaje, experimentación, organización, mantenimiento y articulación de las medidas con conocimientos y prácticas preexistentes. Esta diferenciación permitió evitar la atribución a los colectivos de resultados generales reportados por CityAdapt a escala territorial.

El análisis se realizó mediante una comparación temática organizada en cinco dimensiones: (1) vulnerabilidad socioambiental, referida a amenazas climáticas, sensibilidad social y condiciones ecosistémicas; (2) medidas AbE vinculadas con los problemas territoriales

identificados; (3) saberes locales, aprendizaje y apropiación, para analizar la interacción entre conocimiento técnico, experiencia comunitaria y experimentación; (4) capacidad adaptativa, examinada mediante capacidades técnicas, organizativas, de aprendizaje y territoriales; y (5) resiliencia comunitaria, entendida como la ampliación y reorganización de recursos y capacidades disponibles para responder a condiciones ambientales cambiantes.

La comparación no buscó medir ni jerarquizar cuantitativamente la resiliencia de los colectivos, sino identificar los mecanismos mediante los cuales vulnerabilidades territoriales, medidas AbE y procesos de apropiación se articularon en configuraciones diferenciadas de capacidad adaptativa. Los indicadores biofísicos y resultados cuantitativos reportados por CityAdapt se utilizaron únicamente cuando su escala permitió caracterizar los contextos o intervenciones, sin atribuir a Manos Mágicas o Finca El Espino resultados correspondientes al conjunto de los proyectos de Xalapa o San Salvador. La secuencia analítica resultante, vulnerabilidad territorial, medida AbE, aprendizaje y apropiación, capacidad adaptativa y resiliencia comunitaria, permitió examinar la adaptación como un proceso territorial mediado por conocimientos, prácticas y capacidades organizativas, y no como una relación lineal entre intervención tecnológica y resultado climático.

Resultados y discusión

Vulnerabilidades territoriales diferenciadas frente al cambio climático

El análisis comparado muestra que Manos Mágicas, en San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, y Finca El Espino, en el Área Metropolitana de San Salvador, se inscriben en territorios con vulnerabilidades climáticas y socioambientales diferenciadas. Esta distinción constituye el punto de partida para comprender las medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE), cuya pertinencia depende de las condiciones de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de cada contexto. Los estudios desarrollados por CityAdapt permiten identificar estas configuraciones territoriales y los principales factores que condicionan las necesidades de adaptación.

En Xalapa-Tlalnelhuayocan, la vulnerabilidad resulta de la interacción entre relieve montañoso, expansión urbana, transformación de los ecosistemas y exposición a fenómenos hidrometeorológicos. Entre los principales peligros se identifican derrumbes, deslizamientos, erosión e inundaciones, a los que se agregan modificaciones en los patrones de temperatura y precipitación con implicaciones sobre disponibilidad de agua, estabilidad de las laderas, sistemas productivos y servicios ecosistémicos. En Tlalnelhuayocan, estas condiciones adquieren especial relevancia por la relación entre actividades productivas y ecosistemas de montaña. El diagnóstico incorpora, además, la sensibilidad socioeconómica y servicios ecosistémicos asociados con la capacidad adaptativa, como provisión superficial de agua, retención de suelos y almacenamiento de carbono. La vulnerabilidad se configura así mediante la interacción entre procesos biofísicos, condiciones sociales y estado de los ecosistemas que sostienen los medios de vida.

Finca El Espino presenta una configuración diferente. Se localiza en la microcuenca del Arenal Monserrat, dentro de un espacio intensamente urbanizado del Área Metropolitana de San Salvador donde persisten coberturas vegetales, particularmente sistemas cafetaleros con funciones de recarga hídrica, conservación de suelos, regulación térmica y biodiversidad. La vulnerabilidad climática se relaciona con el aumento de la temperatura, la reducción y variabilidad de las precipitaciones y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos,

con repercusiones sobre producción agrícola, disponibilidad de agua, erosión, plagas y medios de vida. El diagnóstico identifica además inundaciones e incendios y reconoce al Ecoparque El Espino como un área particularmente vulnerable a estos últimos, en un contexto asociado con periodos prolongados de sequía y limitaciones en la disponibilidad hídrica.

En este territorio, la vulnerabilidad tampoco deriva de una amenaza aislada, sino de la convergencia entre variabilidad climática, disponibilidad de agua, erosión, conservación de los sistemas cafetaleros y presión urbana. La permanencia de estos sistemas resulta relevante porque cumplen simultáneamente funciones productivas y ecosistémicas, de manera que su deterioro puede afectar tanto los medios de vida como los servicios ambientales que contribuyen a moderar determinados riesgos climáticos.

La comparación evidencia dos configuraciones diferenciadas. En Xalapa-Tlalnelhuayocan, la vulnerabilidad se encuentra estrechamente asociada con los ecosistemas de montaña, la disponibilidad de agua, la erosión, la estabilidad de las laderas y la conservación de servicios ecosistémicos en un territorio articulado entre lo rural y lo urbano. En Arenal Monserrat, las presiones climáticas interactúan con una urbanización más intensa y con la conservación de sistemas cafetaleros que desempeñan funciones productivas, hidrológicas y ecológicas. En ambos casos, cambio climático, ecosistemas y medios de vida se encuentran estrechamente relacionados, pero los mecanismos concretos de vulnerabilidad son territorialmente específicos.

Este resultado permite establecer una primera implicación analítica: la adaptación no puede concebirse como la aplicación uniforme de soluciones frente a un fenómeno climático homogéneo. Las vulnerabilidades resultan de interacciones específicas entre clima, ecosistemas, actividades productivas y transformaciones territoriales. Por ello, las medidas AbE deben analizarse en función de los problemas socioambientales a los que pretenden responder y de las características de los territorios en los que son implementadas.

Medidas de Adaptación basada en Ecosistemas como respuestas territorialmente situadas

Las diferencias identificadas en las condiciones de vulnerabilidad permiten comprender por qué las medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) adquirieron características distintas en los casos analizados. Aunque ambas experiencias formaron parte de CityAdapt, las intervenciones respondieron a problemas socioambientales y funciones ecosistémicas específicos. Su pertinencia puede entenderse, por tanto, a partir de la relación entre amenazas climáticas, medios de vida y características ecológicas de cada territorio.

En Xalapa-Tlalnelhuayocan, CityAdapt implementó diversas Soluciones basadas en la Naturaleza relacionadas con conservación de suelos, agricultura sostenible, captación de agua, restauración y agroforestería de montaña, huertos resilientes y producción de hongos comestibles. Dentro de este conjunto se inscribe la experiencia de Manos Mágicas. El cultivo de hongos fue concebido como una medida orientada a fortalecer la autosuficiencia alimentaria y diversificar las actividades productivas de colectivos periurbanos. Su relación con el bosque mesófilo de montaña resulta relevante, pues la producción puede desarrollarse en solares o remanentes de acahual y generar incentivos para conservar las condiciones ecológicas del entorno. De esta manera, la medida articuló fortalecimiento de medios de vida,

producción alimentaria y conservación del hábitat. Este tipo de resultados han sido igualmente exitosos en estudios de América Latina y Sudáfrica (Roberts *et al.,* 2012; Richerzhagen *et al*., 2019).

En Manos Mágicas, esta articulación trascendió la instalación de infraestructura productiva. La intervención incorporó capacitación para la producción y generación de valor agregado, aprovechamiento de redes locales de consumo y una perspectiva de género e inclusión. Los materiales de CityAdapt documentan diez módulos de producción de hongos y recuperan la experiencia de integrantes del colectivo en Tlalnelhuayocan, vinculando la conservación del bosque con la continuidad de la actividad. La medida estableció así una relación funcional entre actividad productiva y condiciones ecosistémicas, característica central de su pertinencia adaptativa, Roberts *et al.* (2012) en Sudáfrica y Richerzhagen *et al.* (2019) en Colombia.

En Finca El Espino, las intervenciones respondieron principalmente a problemas de disponibilidad hídrica, escorrentía, erosión y sostenimiento de los sistemas agrícolas periurbanos. Entre las medidas implementadas se encuentran un huerto comunitario acompañado por cosecha de agua y riego por goteo, pozos de absorción y una parcela demostrativa que incorporó zanjas de infiltración, barreras de conservación, agricultura orgánica y asociaciones productivas de café y cacao. Estas intervenciones combinaron gestión del agua y del suelo con objetivos relacionados con producción agrícola y medios de vida.

Las zanjas de infiltración muestran particularmente esta correspondencia entre medida y vulnerabilidad. Su función consiste en captar temporalmente la escorrentía, favorecer la infiltración, conservar humedad disponible para los cultivos y disminuir procesos erosivos, por lo que responden a riesgos asociados con lluvias intensas, sequías y variaciones en los patrones de precipitación. Su implementación en El Espino ha sido objeto de evaluaciones sobre infiltración, retención de sedimentos y humedad del suelo, proporcionando evidencia para analizar el funcionamiento de estas medidas en sistemas cafetaleros. Los resultados hallados adquieren fuerza al ser contrastados con estudios similares para la región y el sur de África (Roberts *et al.,* 2012; Richerzhagen *et al*., 2019).

La parcela demostrativa incorporó además cacao fino de aroma asociado con café mediante prácticas agroecológicas. Esta experiencia permitió explorar el comportamiento del cacao por encima de los 900 metros sobre el nivel del mar bajo las condiciones ambientales del territorio. Más que representar una sustitución inmediata del café, la asociación puede interpretarse como una estrategia de experimentación productiva frente a condiciones ambientales cambiantes, orientada a explorar combinaciones capaces de mantener funciones productivas y ecológicas.

La comparación muestra que la territorialización de la AbE siguió rutas diferentes. En Manos Mágicas, la intervención analizada articuló producción alimentaria, medios de vida y condiciones ecológicas del bosque mesófilo mediante el cultivo de hongos. En Finca El Espino adquirieron mayor centralidad la gestión de agua y suelo, la reducción de escorrentía y erosión y la experimentación agroecológica en sistemas cafetaleros periurbanos. En ambos casos, las medidas combinaron funciones ecológicas y sociales, pero lo hicieron mediante respuestas diferenciadas a las vulnerabilidades de cada territorio.

Los resultados permiten sostener que la relevancia adaptativa de las medidas AbE no reside exclusivamente en sus características técnicas, sino en su correspondencia con las vulnerabilidades sobre las que pretenden intervenir. La producción de hongos, las zanjas de infiltración, los huertos y los sistemas agroecológicos constituyen respuestas distintas porque actúan sobre relaciones específicas entre ecosistemas, medios de vida y amenazas climáticas. La AbE aparece, así como un repertorio de prácticas cuya pertinencia depende de su adecuación ecológica y social al contexto. Sin embargo, esta correspondencia no explica por sí misma su continuidad: entre la implementación de una medida y su incorporación a las prácticas comunitarias median procesos de aprendizaje y apropiación (Roberts *et al.,* 2012; Richerzhagen *et al*., 2019), dimensión que se analiza a continuación.

Saberes locales, aprendizaje y apropiación comunitaria

La comparación entre Manos Mágicas y Finca El Espino muestra que la correspondencia entre las medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y las vulnerabilidades territoriales constituye una condición necesaria, pero insuficiente, para explicar la construcción de resiliencia. Entre la implementación de una intervención y su incorporación a las prácticas comunitarias median procesos de aprendizaje, experimentación y apropiación mediante los cuales los actores articulan conocimientos técnicos con experiencias previamente adquiridas y los adaptan a las condiciones de sus territorios (PNUMA, 2023). Los saberes locales no operan, desde esta perspectiva, como conocimientos estáticos contrapuestos a la innovación técnica, sino como recursos que intervienen en su interpretación, adaptación y continuidad.

En Manos Mágicas, este proceso resulta visible en la incorporación del cultivo de hongos comestibles. La medida introdujo conocimientos relacionados con preparación de sustratos, inoculación, control de humedad, cosecha y procesamiento dentro de un colectivo que contaba previamente con experiencias de producción agroalimentaria, transformación de productos derivados del maíz criollo, comercialización local y organización comunitaria. La guía técnica de CityAdapt (PNUMA, 2020) señala que la intervención buscó compartir saberes y crear capacidades para la producción y secado de hongos, fortaleciendo la autosuficiencia alimentaria y generando posibilidades posteriores de comercialización una vez dominadas las técnicas de cultivo.

La apropiación implicó, por tanto, algo más que adquirir una nueva técnica productiva. Los conocimientos introducidos se articularon con prácticas relacionadas con la producción de alimentos, el aprovechamiento de recursos locales y la organización del trabajo comunitario. La experimentación y circulación interna de conocimientos permitieron desarrollar progresivamente capacidades para operar la actividad e integrarla a las estrategias de sustento del colectivo. La documentación disponible identifica además el tiempo dedicado al aprendizaje y la reorganización interna entre los costos de la adopción inicial, lo que evidencia que la apropiación requirió un proceso organizativo y no una transferencia tecnológica inmediata.

En Finca El Espino, el aprendizaje se desarrolló alrededor de prácticas de agricultura, conservación de suelos y gestión del agua. Las zanjas de infiltración, barreras de conservación, huertos y sistemas de captación incorporaron conocimientos técnicos que debieron articularse con la experiencia agrícola acumulada por los integrantes de la cooperativa. La evidencia de CityAdapt El Salvador señala que algunas prácticas eran

inicialmente poco conocidas por los beneficiarios y requirieron capacitación y acompañamiento mediante una lógica de "aprender haciendo", en la que la aplicación práctica permitió observar resultados, corregir procedimientos y generar confianza en las intervenciones.

La dimensión experimental adquirió particular relevancia en El Espino. Las parcelas demostrativas y los dispositivos destinados a observar procesos de erosión, infiltración y humedad hicieron del territorio un espacio de aplicación y generación de conocimiento. La vinculación con instituciones académicas amplió esta dinámica mediante investigaciones sobre sedimentos, escorrentía, humedad y erosión en sistemas cafetaleros. El aprendizaje trascendió así la relación entre técnicos y beneficiarios y adquirió una dimensión relacional en la que participaron comunidad, instituciones ejecutoras y actores académicos.

La comparación evidencia que, en ninguno de los casos, la apropiación puede reducirse a la recepción pasiva de conocimientos externos. En Manos Mágicas, las técnicas para producir hongos se articularon con experiencias agroalimentarias, organización comunitaria y conocimientos territoriales previos. En Finca El Espino, las prácticas de conservación de suelo y manejo hídrico interactuaron con conocimientos agrícolas y procesos de experimentación. Aunque los contenidos del aprendizaje fueron diferentes, ambos casos muestran que la incorporación de las medidas dependió de la interacción entre conocimiento especializado y capacidades previamente existentes.

Los resultados permiten comprender esta relación como un proceso de aprendizaje situado. No se trata de asumir que las comunidades poseen previamente todas las respuestas necesarias para enfrentar el cambio climático ni que las soluciones proceden exclusivamente del conocimiento técnico. La adaptación se construye mediante la interacción entre ambos repertorios, a través de procesos en los que los actores experimentan, seleccionan y ajustan prácticas a sus condiciones territoriales. Esta interpretación resulta consistente con el enfoque participativo de CityAdapt, que incorpora capacitación, seguimiento y fortalecimiento de capacidades como componentes de la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza.

La apropiación comunitaria constituye, en consecuencia, un mecanismo intermedio entre la implementación de una medida AbE y la construcción de capacidad adaptativa. Una intervención territorialmente pertinente puede permanecer dependiente del acompañamiento externo si los actores no desarrollan conocimientos y capacidades para sostenerla. Cuando el aprendizaje permite integrarla a prácticas, conocimientos y formas de organización existentes, en cambio, la medida comienza a formar parte del repertorio comunitario de respuestas frente a condiciones ambientales cambiantes. El siguiente nivel de la comparación consiste, por tanto, en analizar cómo estos procesos de apropiación se traducen en capacidades colectivas de adaptación.

De la implementación de medidas AbE a la construcción de capacidad adaptativa

Los resultados permiten distinguir entre la implementación de una medida de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) y la construcción de capacidad adaptativa. Aunque ambas dimensiones se encuentran relacionadas, no son equivalentes. Disponer de infraestructura, conocimientos técnicos o nuevas prácticas constituye un recurso para la adaptación, pero no garantiza por sí mismo que una comunidad pueda movilizarlos de manera sostenida frente a

condiciones ambientales cambiantes. La capacidad adaptativa depende también de los procesos mediante los cuales esos recursos son apropiados, organizados e incorporados a las prácticas colectivas (PNUMA, 2023).

En Manos Mágicas, este tránsito se observa en la incorporación del cultivo de hongos comestibles. Su relevancia adaptativa no reside únicamente en los módulos productivos instalados, sino en los conocimientos adquiridos para operar la actividad, resolver dificultades y articularla con prácticas agroalimentarias y recursos disponibles en el territorio. La experiencia amplió así el repertorio productivo y de conocimientos del colectivo. La capacidad generada trasciende el dominio de una técnica específica, pues comprende la posibilidad de movilizar aprendizajes, reorganizar prácticas y utilizar recursos locales frente a condiciones cambiantes.

En Finca El Espino, la capacidad adaptativa se configuró principalmente alrededor de la gestión del agua y del suelo y de la experimentación agroecológica. La operación de huertos, sistemas de captación, zanjas de infiltración y otras prácticas de conservación requirió conocimientos y mecanismos organizativos para gestionar estos recursos bajo condiciones variables. A ello se sumaron procesos de seguimiento y generación de conocimiento sobre infiltración, humedad y erosión. La capacidad adaptativa adquirió así una dimensión experimental, en la medida en que las intervenciones fueron observadas y evaluadas bajo las condiciones particulares del territorio.

La comparación permite identificar cuatro componentes interrelacionados de la capacidad adaptativa. (1) La capacidad técnica comprende los conocimientos necesarios para implementar y mantener las medidas; (2) la capacidad organizativa corresponde a la coordinación del trabajo, distribución de responsabilidades y continuidad de las prácticas; (3) la capacidad de aprendizaje permite utilizar la experiencia para modificar procedimientos y responder a nuevas condiciones; y (4) la capacidad territorial remite al conocimiento de los recursos, limitaciones y funciones ecosistémicas que condicionan la pertinencia de las intervenciones. Esta diferenciación constituye una construcción analítica derivada de la comparación de los casos y no una tipología formulada por CityAdapt.

Estas capacidades poseen además una dimensión relacional. Su construcción no depende exclusivamente de los recursos internos de las comunidades, sino de las interacciones establecidas con instituciones técnicas, académicas y gubernamentales. La experiencia de CityAdapt incorpora capacitación, monitoreo y participación como componentes de la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza, mientras que en El Espino la vinculación con instituciones académicas amplió los procesos de experimentación y generación de conocimiento. La capacidad adaptativa puede entenderse, por tanto, como resultado de la articulación entre recursos comunitarios, conocimientos especializados, relaciones institucionales y características ecosistémicas.

Los alcances de esta interpretación deben delimitarse. La evidencia permite documentar prácticas, aprendizajes y formas de organización que ampliaron los recursos disponibles para responder a determinadas vulnerabilidades, pero no permite afirmar que estas hayan sido eliminadas ni establecer una relación lineal entre número de intervenciones y nivel de resiliencia. La viabilidad o desempeño de una medida particular tampoco demuestra, por sí misma, la existencia de resiliencia comunitaria en sentido amplio. Esta última requiere

analizar cómo las distintas capacidades pueden combinarse y movilizarse frente a condiciones ambientales cambiantes.

El principal hallazgo consiste, por tanto, en que la capacidad adaptativa se construye cuando los recursos proporcionados por las medidas AbE se transforman en capacidades socialmente apropiadas y territorialmente movilizables (PNUMA, 2023). La comparación muestra una secuencia que transita de la implementación hacia la apropiación y de esta hacia la construcción de capacidades técnicas, organizativas, de aprendizaje y territoriales. La manera específica en que estas capacidades se articulan permite explicar, finalmente, las configuraciones diferenciadas de resiliencia comunitaria observadas en los dos casos.

Configuraciones diferenciadas de resiliencia comunitaria

El recorrido comparativo desarrollado en los apartados anteriores permite sostener que la resiliencia comunitaria observada en Manos Mágicas y Finca El Espino no constituye un resultado directo ni uniforme de la implementación de medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Las diferencias identificadas en las vulnerabilidades territoriales, las medidas implementadas, los procesos de aprendizaje y las capacidades construidas muestran que la resiliencia adquiere configuraciones específicas según las relaciones que cada colectivo establece entre ecosistemas, medios de vida, conocimientos y formas de organización. En este sentido, más que un estado alcanzado mediante la incorporación de determinadas tecnologías, la resiliencia puede entenderse como un proceso mediante el cual las comunidades amplían y reorganizan sus capacidades para responder a condiciones ambientales cambiantes.

En Manos Mágicas, esta configuración se encuentra asociada principalmente con la articulación entre medios de vida, conocimientos productivos y conservación del entorno. La incorporación del cultivo de hongos comestibles amplió el repertorio de actividades del colectivo y generó conocimientos técnicos que se integraron a experiencias agroalimentarias previamente desarrolladas. La propia medida fue concebida por CityAdapt como una estrategia de medios de vida sostenibles para zonas periurbanas, orientada a fortalecer la autosuficiencia alimentaria y vinculada con la conservación del bosque mesófilo de montaña, debido a que la producción en solares o remanentes de acahual puede generar valor asociado al mantenimiento del bosque circundante.

Esta relación permite identificar una forma de resiliencia que no depende exclusivamente de la protección frente a una amenaza climática específica. En un territorio donde los cambios en los patrones de precipitación, la degradación de ecosistemas y las presiones derivadas de la expansión urbana afectan las condiciones ambientales y los medios de vida, la ampliación de conocimientos y opciones productivas incrementa los recursos disponibles para responder a escenarios de incertidumbre. Los diagnósticos de CityAdapt muestran precisamente que la capacidad adaptativa en Xalapa y su entorno rural está condicionada por factores socioeconómicos, capacidades técnicas y estado de los ecosistemas urbanos y periurbanos. La experiencia de Manos Mágicas se inserta, por tanto, en una estrategia territorial más amplia que combina conservación de suelos, agroforestería, captación de agua, huertos y fortalecimiento de medios de vida.

En Finca El Espino, la resiliencia adquiere una configuración distinta. Las medidas implementadas intervienen de manera más directa sobre las relaciones entre disponibilidad

hídrica, conservación de suelos, producción agrícola y seguridad alimentaria. El huerto comunitario resiliente, por ejemplo, fue concebido para responder simultáneamente a necesidades alimentarias y a condiciones de escasez de agua mediante riego por goteo, mientras que la estrategia agroecológica incorpora prácticas dirigidas a producir alimentos sin deteriorar las condiciones ambientales. A ello se suman las medidas de infiltración, conservación de suelos y experimentación en sistemas cafetaleros analizadas previamente.

La experiencia salvadoreña muestra además que la capacidad de respuesta trasciende la escala del colectivo y se articula con redes institucionales más amplias. CityAdapt promovió alianzas entre comunidades, universidades, gobiernos locales y actores privados para investigar, mantener y ampliar las medidas AbE. La parcela demostrativa del Ecoparque El Espino funcionó, en este sentido, no sólo como espacio de intervención, sino también como punto de articulación para procesos de investigación y colaboración entre actores. La construcción de resiliencia adquiere así una dimensión relacional, en la que la continuidad de las respuestas adaptativas depende tanto de las capacidades comunitarias como de su articulación con instituciones capaces de generar conocimiento, acompañamiento técnico y mecanismos de escalamiento.

La comparación evidencia que ambos colectivos construyen capacidades para enfrentar condiciones de vulnerabilidad, pero lo hacen mediante combinaciones diferentes de recursos y prácticas. En Manos Mágicas predomina una articulación entre aprendizaje productivo, cooperación, medios de vida y aprovechamiento de las condiciones ecológicas del bosque mesófilo. En Finca El Espino adquieren mayor centralidad la gestión del agua y del suelo, la seguridad alimentaria, la experimentación agroecológica y la articulación con actores institucionales. Estas diferencias no deben interpretarse como distintos grados de éxito, sino como configuraciones territorialmente diferenciadas de resiliencia, construidas frente a vulnerabilidades y oportunidades específicas.

Al mismo tiempo, ambos casos comparten mecanismos que permiten identificar una estructura común. En primer lugar, las intervenciones parten de vulnerabilidades socioambientales en las que los efectos del cambio climático interactúan con procesos territoriales preexistentes. En segundo lugar, las medidas AbE introducen recursos técnicos y ecológicos orientados a responder a esas condiciones. En tercer lugar, su incorporación requiere procesos de aprendizaje y apropiación mediante los cuales los actores desarrollan conocimientos para utilizarlas, mantenerlas y adaptarlas. Finalmente, estas capacidades amplían el repertorio comunitario de respuestas disponibles frente a escenarios de cambio. Esta secuencia coincide con la metodología de CityAdapt, que vincula la evaluación de vulnerabilidad con el diseño, implementación, monitoreo, capacitación y eventual réplica de las Soluciones basadas en la Naturaleza.

La evidencia también permite precisar los alcances del concepto de resiliencia empleado en este estudio. Los resultados no permiten sostener que las comunidades hayan superado las condiciones estructurales que producen su vulnerabilidad ni que puedan responder autónomamente a cualquier perturbación climática futura. Tampoco permiten establecer cuál de los dos colectivos posee un mayor nivel de resiliencia. Lo que sí muestran es la construcción de capacidades adicionales para gestionar recursos, movilizar conocimientos, reorganizar determinadas prácticas y sostener respuestas vinculadas con sus medios de vida. En consecuencia, la resiliencia comunitaria debe interpretarse aquí como una capacidad

dinámica y situada, susceptible de fortalecerse, modificarse o debilitarse conforme cambian las condiciones socioambientales y las relaciones institucionales que la sostienen.

Esta interpretación permite diferenciar la resiliencia de una concepción centrada exclusivamente en la recuperación posterior a una perturbación (PNUMA, 2023). En los casos estudiados, las medidas AbE también generan capacidades anticipatorias y transformaciones graduales en las prácticas comunitarias. Producir alimentos mediante sistemas adaptados a restricciones hídricas, conservar humedad y suelo, incorporar nuevos conocimientos productivos o fortalecer conexiones con actores técnicos amplía las posibilidades de actuación antes de que una perturbación alcance su máxima expresión. La adaptación adquiere así un carácter preventivo y acumulativo, en consonancia con el propósito de las evaluaciones de vulnerabilidad de identificar puntos críticos y orientar intervenciones destinadas a fortalecer la resiliencia de comunidades urbanas y periurbanas.

En conjunto, el análisis comparado permite proponer que la construcción de resiliencia comunitaria responde a una secuencia relacional en la que vulnerabilidad territorial, medidas AbE, aprendizaje, apropiación y capacidad adaptativa interactúan de manera acumulativa. Ninguno de estos componentes resulta suficiente de forma aislada. Una medida técnicamente adecuada puede tener efectos limitados si no se integra a las prácticas comunitarias; del mismo modo, la existencia de conocimientos y organización local puede resultar insuficiente cuando las comunidades carecen de recursos para enfrentar nuevas condiciones climáticas. La resiliencia emerge precisamente de la articulación entre estos componentes y de la posibilidad de movilizarlos frente a problemas territorialmente específicos.

El principal resultado de la comparación consiste, por tanto, en mostrar que una misma estrategia regional de adaptación puede contribuir a formas distintas de resiliencia comunitaria sin que ello constituya una contradicción en su diseño. La heterogeneidad de los resultados responde a la propia naturaleza territorial de la adaptación. Manos Mágicas y Finca El Espino muestran que las Soluciones basadas en la Naturaleza adquieren capacidad transformadora cuando dejan de operar únicamente como intervenciones externas y se incorporan a repertorios locales de conocimiento, organización y manejo de los ecosistemas. La resiliencia comunitaria aparece, así como una construcción social y territorial, antes que como una propiedad intrínseca de la tecnología implementada.

Este hallazgo proporciona el puente hacia las conclusiones del manuscrito: la eficacia social de la adaptación no debe evaluarse únicamente por la presencia o desempeño biofísico de una medida, sino también por las capacidades que las comunidades construyen para comprenderla, gestionarla, modificarla y articularla con sus medios de vida y territorios. Esta perspectiva permite reconocer a los actores locales no sólo como beneficiarios de las políticas climáticas, sino como participantes activos en la construcción de respuestas adaptativas territorialmente pertinentes.

Conclusiones

El análisis comparado del Grupo Manos Mágicas, en San Andrés Tlalnelhuayocan, Veracruz, y Finca El Espino, en San Salvador, permite concluir que la construcción de resiliencia comunitaria frente al cambio climático no constituye un efecto automático de la implementación de medidas de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Los resultados muestran que entre la introducción de una intervención y la generación de capacidades

adaptativas median condiciones territoriales, conocimientos, procesos de aprendizaje, formas de organización y mecanismos de apropiación comunitaria. En consecuencia, la adaptación debe comprenderse como un proceso social y territorialmente situado, antes que como el resultado exclusivo de la incorporación de tecnologías o infraestructura ambiental.

La comparación evidencia, en primer lugar, que las condiciones de vulnerabilidad presentan configuraciones diferenciadas. En Xalapa-Tlalnelhuayocan, los riesgos hidrometeorológicos, la erosión, las condiciones de disponibilidad de agua y las transformaciones asociadas con la expansión urbana interactúan con sistemas productivos rurales y periurbanos vinculados con los ecosistemas de montaña. En la microcuenca del Arenal Monserrat, la urbanización, la erosión, la disponibilidad hídrica y las amenazas asociadas con inundaciones e incendios convergen con la necesidad de conservar sistemas cafetaleros que cumplen simultáneamente funciones productivas, hidrológicas y ecológicas. Esta heterogeneidad confirma que la vulnerabilidad climática no puede analizarse independientemente de las condiciones sociales, productivas y ecosistémicas que caracterizan cada territorio.

En segundo lugar, los resultados muestran que las medidas AbE adquirieron características específicas en función de esas vulnerabilidades. En Manos Mágicas, la producción de hongos comestibles articuló la generación de medios de vida con conocimientos productivos y con las condiciones ecológicas del bosque mesófilo de montaña. En Finca El Espino, los huertos, las zanjas de infiltración, las barreras de conservación de suelos, la gestión hídrica y la experimentación agroecológica respondieron a problemas relacionados con escorrentía, erosión, disponibilidad de agua y sostenimiento de sistemas agrícolas periurbanos. Por ello, la AbE no aparece como un repertorio uniforme de soluciones replicables, sino como un conjunto de intervenciones cuya pertinencia depende de su correspondencia con las características socioambientales del territorio.

Un tercer hallazgo se relaciona con el papel desempeñado por los saberes locales y el aprendizaje. Los casos muestran que la implementación de las medidas requirió procesos mediante los cuales los conocimientos técnicos fueron interpretados, experimentados y articulados con experiencias previamente desarrolladas por los actores comunitarios. La evidencia analizada permite rechazar una interpretación basada en la transferencia unidireccional de tecnología. En su lugar, los resultados muestran procesos de aprendizaje situado en los que el acompañamiento técnico, la experimentación y los conocimientos acumulados por las comunidades interactúan para facilitar la apropiación de las intervenciones. La experiencia de CityAdapt, basada parcialmente en una lógica de aprender haciendo y en la participación de los actores locales durante diferentes etapas de las intervenciones, refuerza esta interpretación.

La principal implicación de estos resultados consiste en distinguir conceptualmente entre implementar una medida de adaptación y construir capacidad adaptativa. La infraestructura, las tecnologías y las prácticas introducidas proporcionan recursos para responder a determinadas vulnerabilidades, pero su permanencia y capacidad de movilización dependen de que los actores desarrollen conocimientos para utilizarlas, mantenerlas, modificarlas y articularlas con sus actividades y formas de organización. La comparación permitió identificar, en este sentido, capacidades técnicas, organizativas, de aprendizaje y territoriales que interactúan durante el proceso de apropiación. Estas dimensiones no constituyen

resultados independientes, sino componentes relacionados de una capacidad colectiva para responder a condiciones ambientales cambiantes.

La hipótesis planteada al inicio del estudio encuentra así respaldo en la evidencia comparada. La resiliencia comunitaria no deriva exclusivamente de las características técnicas de las medidas AbE, sino de la articulación entre vulnerabilidad territorial, intervención, saberes locales, aprendizaje, apropiación y capacidad adaptativa. Esta secuencia explica por qué experiencias inscritas en un mismo programa regional pueden producir configuraciones diferentes de resiliencia. En Manos Mágicas adquieren particular relevancia el aprendizaje productivo, los medios de vida, la cooperación y la relación con las condiciones ecológicas del bosque mesófilo. En Finca El Espino sobresalen la gestión de suelo y agua, la experimentación agroecológica, la seguridad alimentaria y la articulación con actores técnicos y académicos. Estas diferencias no expresan necesariamente grados distintos de éxito, sino formas territorialmente específicas de construir capacidades de respuesta.

Los hallazgos permiten, además, proponer una interpretación de la resiliencia comunitaria como capacidad dinámica, relacional y situada. Es dinámica porque puede fortalecerse, modificarse o debilitarse conforme cambian las condiciones ambientales y sociales; relacional porque depende de las conexiones entre comunidades, ecosistemas, instituciones y conocimientos; y situada porque las capacidades relevantes para enfrentar el cambio climático dependen de las vulnerabilidades particulares de cada territorio. Esta concepción evita reducir la resiliencia a la recuperación posterior a un evento extremo y permite incorporar también capacidades preventivas, de aprendizaje y adaptación progresiva.

Desde una perspectiva de política pública, los resultados sugieren que las estrategias de adaptación climática deberían trascender los modelos centrados exclusivamente en la transferencia de soluciones técnicas. La identificación participativa de vulnerabilidades, el reconocimiento de conocimientos locales, la capacitación, el acompañamiento, la experimentación y la articulación entre comunidades, gobiernos, instituciones académicas y actores técnicos constituyen componentes relevantes para favorecer la continuidad de las medidas. La experiencia documentada por CityAdapt muestra precisamente que la corresponsabilidad local y la construcción de alianzas forman parte de las condiciones necesarias para sostener y ampliar las intervenciones.

Finalmente, los alcances de estos resultados deben interpretarse atendiendo a las características del diseño de investigación. El estudio compara dos experiencias específicas y no pretende establecer relaciones causales generalizables ni medir cuantitativamente el nivel de resiliencia de los colectivos. Asimismo, parte de la información disponible corresponde a intervenciones realizadas a escala territorial dentro de los proyectos de Xalapa y San Salvador, por lo que se evitó atribuir a Manos Mágicas o Finca El Espino resultados que la documentación no permite individualizar. Futuras investigaciones podrían profundizar en el seguimiento longitudinal de las medidas, su permanencia después del acompañamiento institucional y la evolución de las capacidades comunitarias frente a nuevos eventos climáticos.

En conjunto, los casos de México y El Salvador muestran que la resiliencia no se instala, sino que se construye. Las medidas de Adaptación basada en Ecosistemas pueden proporcionar recursos materiales, ecológicos y técnicos para enfrentar el cambio climático, pero su

potencial depende de los procesos mediante los cuales las comunidades los incorporan a sus conocimientos, prácticas y formas de organización. Reconocer esta mediación social y territorial permite desplazar la atención desde la simple implementación de soluciones hacia la construcción de capacidades comunitarias duraderas, aspecto fundamental para diseñar estrategias de adaptación climática sensibles a la diversidad de los territorios latinoamericanos.

Referencias

- Angón Rodríguez, S., & García Coll, I. (2021). *Medidas de adaptación de Xalapa ante el cambio climático*. CityAdapt, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Fundación Salvadoreña de Desarrollo y Vivienda Mínima [FUNDASAL]. (2020). *Evaluación de vulnerabilidad socioambiental en la microcuenca del Arenal Monserrat*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2020). *Guía para el cultivo de hongos comestibles: Hongo seta y shiitake*. CityAdapt.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2022). *La Adaptación basada en Ecosistemas en la ciudad: Guía para la implementación de medidas en el Área Metropolitana de San Salvador*. CityAdapt.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2023). *Resultados y lecciones aprendidas: Proyecto CityAdapt El Salvador*. CityAdapt.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s. f.). *CityAdapt: Construcción de resiliencia climática de sistemas urbanos mediante la adaptación basada en ecosistemas*. CityAdapt. https://cityadapt.com/ consultado el 04 de septiembre de 2026.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2014). "Informe de Expertos Intergubernamental sobre el cambio climático 2014". PNUMA obtenido de http://www.ipcc.ch/assets/uploads_2018/02_SYR_AR5_FINAL_FULL_es.pdf consultado el 04 de septiembre de 2026.
- PNUD-SEMARNAT (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). "Informe de la situación del Medio Ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental" https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/pdf/Informe_2012.pdf consultado el 04 de septiembre de 2026.
- McLean, J. E. (2015). Beyond the pentagon prison of sustainable livelihood approaches and towards livelihood trajectories approaches: Towards livelihood approaches. *Asia Pacific Viewpoint*, *56*(3), 380–391. https://doi.org/10.1111/apv.12097
- Richerzhagen, C., Rodríguez de Francisco, J. C., Weinsheimer, F., Döhnert, A., Kleiner, L., Mayer, M., Morawietz, J., & Philipp, E. (2019). Ecosystem-based adaptation projects, more than just adaptation: Analysis of social benefits and costs in Colombia. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(21), Article 4248. https://doi.org/10.3390/ijerph16214248
- Roberts, D., Boon, R., Diederichs, N., Douwes, E., Govender, N., McInnes, A., McLean, C., O'Donoghue, S., & Spires, M. (2012). Exploring ecosystem-based adaptation in Durban, South Africa: "Learning-by-doing" at the local government coal face.

Environment and Urbanization, 24(1), 167–195. https://doi.org/10.1177/0956247811431412

- Rosset, P. M., & Martínez-Torres, M. E. (2016). Agroecology as territory in dispute: Between institutionality and social movements. *The Journal of Peasant Studies*, *43*(2), 451–475. https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1143843 consultado el 11 de noviembre de 2024.
- Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, *2*, 100009. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009
- United Nations Environment Programme. (2024, abril). Un enfoque de cuencas hidrográficas en la Adaptación basada en Ecosistemas. *Programme & Project Documentation*. https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/45306
- Vignola, R., Locatelli, B., Martinez, C., & Imbach, P. (2009). Ecosystem-based adaptation to climate change: What role for policy-makers, society and scientists? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *14*(8), 691–696. https://doi.org/10.1007/s11027-009-9193-6

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Diagnóstico de residuos sólidos urbanos en comunidades de la cuenca alta del Río Grande, Oaxaca

Apolonia Santana Altamirano[1], Ricardo Marcial Juárez[1], Miguel Ángel Curiel Olivera[1], Leonardo Vásquez González[1].

Resumen

El crecimiento poblacional incrementa la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), y una parte significativa de estos no recibe disposición adecuada, lo que provoca impactos ambientales y sociales que deterioran la calidad de vida. La gestión de estos residuos representa un desafío particular para los servidores públicos, responsables de coordinar las acciones en esta materia.

El presente estudio tuvo como objetivo diagnosticar la gestión y manejo de RSU en diez comunidades de la cuenca alta del Río Grande, en la Sierra Norte de Oaxaca. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003, y se realizaron recorridos de campo en los sitios de disposición final para analizar su infraestructura y operación. Las entrevistas abordaron tres ejes: gestión (rutas de recolección, limpieza, reglamento, parque vehicular y personal), manejo (generación y clasificación) y disposición final (infraestructura y tratamiento).

Los resultados revelan que el 30 % de las comunidades cuenta con relleno sanitario; sin embargo, solo el 10 % opera conforme a la normativa para rellenos tipo D. El 70 % restante utiliza sitios no controlados (tiraderos a cielo abierto), donde los residuos son cubiertos con suelo o incinerados, generando focos de contaminación.

Se concluye que, pese a los esfuerzos locales por mejorar la gestión, persisten deficiencias notables, especialmente en la disposición final, lo que subraya la urgencia de fortalecer la infraestructura y la capacitación técnica para garantizar un manejo ambientalmente adecuado y socialmente sostenible de los RSU en la región.

Palabras clave: Residuos sólidos urbanos, Gestión, Manejo, Sitio de disposición final.

Abstract

Population growth increases the generation of urban solid waste (USW), and a significant portion of this waste does not receive adequate disposal, causing environmental and social impacts that deteriorate quality of life. The management of these residues represents a particular challenge for public servants, who are responsible for coordinating actions in this matter.

The present study aimed to diagnose the management and handling of USW in ten communities of the upper Río Grande basin, in the Sierra Norte of Oaxaca. Semi-structured interviews based on NOM-083-SEMARNAT-2003 were applied, and field visits were conducted at final disposal sites to analyze their infrastructure and operation. The interviews

[1] Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, México.

addressed three axes: management (collection routes, street cleaning, regulations, vehicle fleet, and personnel), handling (generation and sorting), and final disposal (infrastructure and treatment).

Results reveal that 30 % of the communities have a sanitary landfill; however, only 10 % operate in compliance with the regulations for Type D landfills. The remaining 70 % use uncontrolled sites (open dumps), where waste is covered with soil or incinerated, generating pollution hotspots.

It is concluded that, despite local efforts to improve management, notable deficiencies persist, especially in final disposal, which underscores the urgency of strengthening infrastructure and technical training to ensure environmentally adequate and socially sustainable USW management in the region.

Keywords: Urban solid waste, Management, Handling, Final disposal site.

Introducción

La gestión de RSU representa un reto creciente a nivel global debido al aumento volumétrico, la heterogeneidad de su composición y los impactos socioambientales derivados de su inadecuado manejo. Mundialmente se generan 2,125,971 millones de toneladas de RSU (UNEP, 2024). En México, la generación per cápita es de 0.944 kg/hab/día, con una producción total de 120,128 ton/día, de las cuales se recolecta el 83.87% y solo 86,352.7 ton/día ingresan a sitios de disposición final; el aprovechamiento se limita a 173 centros de acopio que reciben 38,431 kg/día de reciclables (SEMARNAT, 2018).

En Oaxaca, la generación diaria alcanza 3,538 toneladas, de las cuales se recolectan 1,985 ton y se disponen 1,867.1 ton en sitios finales. Sin embargo, la mayoría de los aproximadamente 21,000 sitios de disposición existentes en más de 10,000 localidades son tiraderos a cielo abierto ubicados en cañadas, riberas o terrenos baldíos; incluso aquellos con infraestructura de relleno sanitario presentan operación deficiente, lo que provoca contaminación y conflictos sociales (SEMABIESO, 2023; SEMARNAT, 2018). Esta situación evidencia una gestión insuficiente y precaria, atribuible a la falta de planeación, la escasa operatividad de los proyectos existentes y la ausencia de seguimiento (Aguilar Fernández et al., 2020).

Aunque la Ley Orgánica Municipal de Oaxaca (H. Congreso del Estado de Oaxaca, s. f.) asigna a los ayuntamientos la responsabilidad de vigilar y disponer adecuadamente los residuos, y la Constitución garantiza el derecho a un medio ambiente sano, los municipios frecuentemente carecen de personal capacitado y recursos suficientes para ofrecer un servicio eficiente (Bernache, 2009). Esta brecha entre el marco normativo y la realidad operativa se acentúa en regiones de alta marginalidad como la Sierra Norte, donde el presupuesto limitado, la falta de capacitación técnica y la dispersión poblacional dificultan la implementación de sistemas adecuados.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo diagnosticar la gestión y manejo de RSU en comunidades de la cuenca alta del Río Grande, mediante entrevistas semiestructuradas y

visitas a sitios de disposición final, a fin de identificar deficiencias y proponer líneas de acción que mejoren la operación de los servicios en la región.

Materiales y Métodos

Investigación observacional, descriptiva y transversal, de enfoque mixto y alcance evaluativo, orientada al diagnóstico de la gestión y manejo de RSU en la cuenca alta del Río Grande, Oaxaca. Este estudio forma parte de la tesis de Santana-Altamirano A. (2025), y el trabajo de campo se realizó entre septiembre y diciembre de 2024 en 13 comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca, seleccionadas mediante muestreo no probabilístico por conveniencia con base en tamaño poblacional, accesibilidad y disposición a participar.

Se revisó el marco normativo (NOM-083-SEMARNAT-2003), datos censales del INEGI y estudios previos. Se gestionó la participación mediante oficios dirigidos a autoridades municipales.

Se diseñó y validó por juicio de expertos un cuestionario semiestructurado basado en criterios para sitios Tipo D (<50 ton/día), complementado con indicadores adicionales, organizado en tres ejes: gestión, manejo y disposición final.

Se aplicaron entrevistas presenciales (45–60 min) a funcionarios y encargados del servicio. Paralelamente, se inspeccionaron los sitios de disposición final mediante registro fotográfico, georreferenciación con GPS y observación directa de infraestructura y condiciones operativas.

La información se sistematizó en matrices por comunidad y eje temático. Los datos cualitativos se codificaron y los cuantitativos se analizaron con estadística descriptiva. Finalmente, se contrastaron los hallazgos con la NOM-083-SEMARNAT-2003 para determinar niveles de cumplimiento por sitio.

Resultados y discusión

Área de estudio

Con ayuda de los sistemas de información geográfica se delimitó la cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca. Inicialmente, se contemplaba realizar el diagnóstico de la gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos en las 13 comunidades que integran dicha parte de la cuenca; sin embargo, debido a diversos inconvenientes no fue posible tener acceso a todos los municipios y agencias, por lo cual, en el estudio, únicamente se contemplaron las 10 comunidades registradas en el cuadro 1.

Cuadro 1. Comunidades y habitantes en el estudio de RSU de la cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca.

Comunidad	Población Total (hab.)
Capulálpam de Méndez	1568
Guelatao de Juárez	657

Ixtlán de Juárez	3350
San Juan Chicomezuchil	278
San Miguel Amatlán	200
Santa Catarina Lachatao	183
Santa María Yavesia	434
Francisco I. Madero	354
San Andrés Yatuni	278
La Trinidad Ixtlán	754

En el mapa (Figura 1) se delimita el área urbana correspondiente a cada una de las comunidades comprendidas dentro de la zona de estudio. La información demográfica, obtenida a través de las fuentes oficiales del INEGI, permitió estimar el tamaño poblacional de cada localidad, lo cual resultó fundamental para establecer la clasificación de los sitios de disposición final conforme a los lineamientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003.

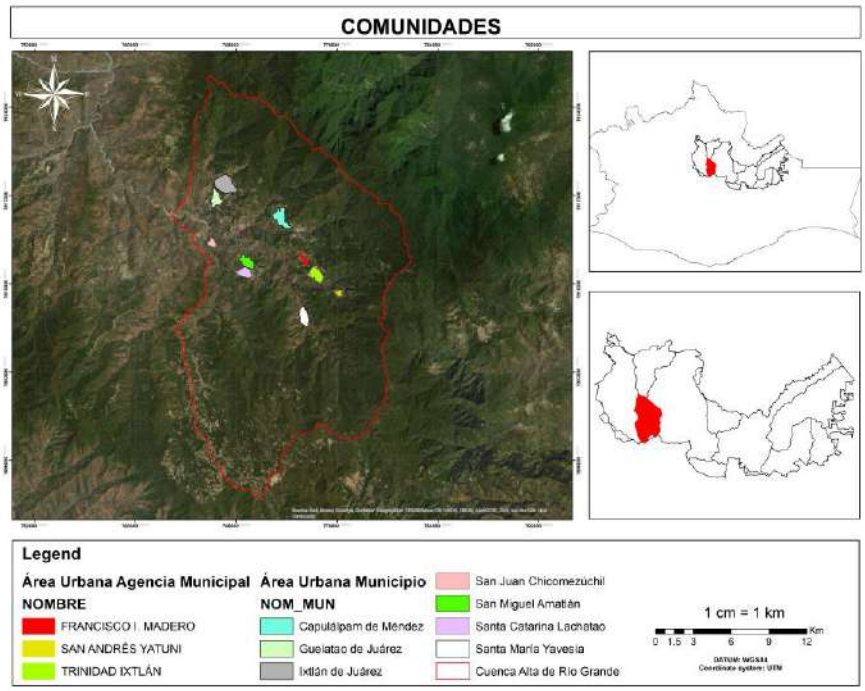


Figura 1. Mapa de Agencias Municipales y Municipios considerados en el estudio de RSU de cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca. Ilustración propia.

Gestión de residuos

La gestión RSU comprende el conjunto de operaciones y etapas encaminadas a dar a los residuos generados en las comunidades o ciudades el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental y sanitario. A continuación, se detallan las etapas clave que incluye este proceso:

Rutas de recolección y Limpieza de calles

El total de las comunidades evaluadas (100%) cuenta con una ruta de recolección formalmente definida. No obstante, la operación de este servicio presenta variaciones significativas entre localidades, ya que cada una implementa criterios y horarios particulares según sus capacidades administrativas y logísticas. En cuanto a la responsabilidad operativa, en el 80% de las comunidades la recolección y el transporte de los residuos están a cargo de los regidores de salud o educación, y en ocasiones del propio presidente municipal, lo que evidencia que estas funciones recaen principalmente en personal de elección popular sin formación técnica especializada. Únicamente en el 20% de los casos, dichas actividades son realizadas por personal contratado específicamente para tal fin por el ayuntamiento (Cuadro 2).

La limpieza de las calles constituye una actividad prioritaria para la totalidad de las comunidades estudiadas, al ser considerada un elemento esencial para prevenir problemas de contaminación ambiental y reducir los riesgos sanitarios asociados a la proliferación de vectores, como mosquitos portadores de enfermedades. En el 80% de las localidades, esta actividad se realiza mediante el sistema de tequios, una práctica comunitaria en la que los ciudadanos se organizan periódicamente para recolectar, con ayuda de escobas, arañas y costales, los residuos depositados en la vía pública. Este mecanismo, arraigado en la tradición comunal de la región, fomenta la participación ciudadana y fortalece el sentido de corresponsabilidad en el mantenimiento del entorno. En contraste, en el 20% restante de las comunidades, la limpieza de calles es una función asignada directamente al cabildo municipal.

Araiza et al. (2015), en su diagnóstico del manejo de residuos en Las Margaritas, Chiapas, documentaron que el barrido de calles y espacios públicos se lleva a cabo diariamente de forma manual, con una plantilla de nueve barrenderos y once jardineros para atender dicha labor. Si bien esta dinámica difiere sustancialmente de la observada en la Sierra Juárez, es importante señalar que las características demográficas y la magnitud de los asentamientos humanos no son equiparables. En las comunidades de esta región, la adopción del tequio no solo responde a limitaciones presupuestales, sino que también obedece a una cosmovisión que privilegia la participación colectiva y la construcción de un sentido de pertenencia y comunalidad en el cuidado del espacio público.

Cuadro 2. Encargados de rutas de recolección y limpieza de calles, frecuencia y costo de recolección, así como la existencia y cumplimiento de un reglamento en el estudio de RSU de la cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca.

	Criterios					
Comunidades	Encargados de las rutas de recolección y transporte	¿Quién realiza la limpieza de las calles?	Frecuencia de recolección	Costo del servicio	Cuentan con reglamento	Sancionan el incumplimiento del reglamento
Capulálpam de Méndez	Personal contratado	Topiles y ciudadanos	Todos los días	$ 15 base, increment a con el volumen	Si	Si
Guelatao de Juárez	Regidora y topiles	Ciudadanos	Cada 8 días	N/A	No	No

Ixtlán de Juárez	Personal contratado	Topiles	5 veces a la semana	Habitacional $6 Comercial $ 16	Si	Si
San Juan Chicomezuchil	El comité de Salud	Topiles	1 vez al mes	$ 60 por año	Si	Si
San Miguel Amatlán	Regidor de Educación y Salud	Persona de salud y regidor	Cada 8 días	N/A	No	No
Santa Catarina Lachatao	Síndico, mayor y topiles	Ciudadanos	15 días	$200 anual	Si	Si
Santa María Yavesia	Regidora y corporación	Ciudadanos	15 días	N/A	No	No
Francisco I. Madero	Comité de salud	Autoridad	15 días	N/A	No	No
San Andrés Yatuni	Comité de salud, presidente y secretario	Ciudadanos	15 días	N/A	Si	No
La Trinidad Ixtlán	Comité de salud	Ciudadanos	Cada 4 meses	$ 15 por costal	Si	No

Frecuencia de recolección y costo

La periodicidad de las rutas de recolección presenta una marcada heterogeneidad entre comunidades, determinada fundamentalmente por el tamaño poblacional y los patrones culturales de los habitantes. Se observan realidades contrastantes en la región: Capulálpam de Méndez cuenta con servicio diario; Ixtlán de Juárez opera cinco días a la semana con rotación por barrios; Guelatao de Juárez y San Miguel Amatlán tienen una frecuencia de cada ocho días; mientras que Santa Catarina Lachatao, Santa María Yavesia, Francisco I. Madero y San Andrés Yatuni registran intervalos de quince días (Cuadro 2). En el extremo opuesto, localidades como San Juan Chicomezuchil solo reciben el servicio una vez al mes, y en La Trinidad Ixtlán la cobertura se reduce a una ocasión cada cuatro meses, lo que evidencia serias carencias en la infraestructura y planeación municipal.

En este contexto, investigaciones previas refuerzan la problemática descrita. Del Carmen-Niño et al. (2019), en su estudio sobre participación y corresponsabilidad en el manejo de residuos sólidos urbanos en Xaltianguis, Guerrero, documentan que, si bien la recolección se programa semanalmente, en ciertas áreas del municipio se retrasa hasta quince días; además, el 48.6 % de la población encuestada manifestó carecer del servicio debido a que el vehículo recolector no transita por sus calles. Por su parte, Araiza et al. (2015) señalan que, en Las Margaritas, Chiapas, la cobertura a nivel de cabecera municipal alcanza el 81.61 %, pero desciende drásticamente al 21.48 % en el ámbito municipal. Dicha disparidad obedece a que el servicio es diario en el centro urbano, cada tres días en zonas aledañas a parques y jardines, semanal en la periferia de la cabecera, y quincenal en las cinco localidades rurales, generando constantes quejas y tensiones sociales.

Ambos estudios resultan de particular relevancia, pues exhiben similitudes notables con los hallazgos obtenidos en el diagnóstico participativo realizado en las diez comunidades objeto de análisis. Aunque en teoría la cobertura del servicio de recolección se concibe como universal, en la práctica se enfrenta a limitaciones operativas que se traducen en frecuencias insuficientes, acumulación de desechos, malos olores y proliferación de vectores sanitarios, factores que originan un creciente malestar ciudadano. Asimismo, se identificó que tales deficiencias tienen su origen, en gran medida, en una planeación inadecuada, carencia de personal calificado y recursos financieros insuficientes para la adquisición y mantenimiento de vehículos apropiados, lo que compromete la eficacia y sostenibilidad del sistema de gestión de residuos en la región.

La prestación del servicio de recolección de residuos sólidos conlleva, en diversas localidades, el cobro de una cuota moderada a los usuarios, la cual puede variar en función del volumen o tipo de desechos generados. Este esquema de contraprestación económica presenta una amplia gama de modalidades operativas entre los municipios analizados. En Capulálpam de Méndez, el servicio tiene un costo base de $15.00, mismo que se ajusta de acuerdo con la cantidad de residuos depositados por cada usuario. Por su parte, en Ixtlán de Juárez se aplica un sistema tarifario diferenciado, basado en la clasificación tipológica de los residuos entregados. En contraste, localidades como San Juan Chicomezuchil y Santa Catarina Lachatao han optado por un cobro anual, fijado en $60.00 y $200.00, respectivamente. En La Trinidad Ixtlán, la contribución se establece por unidad de volumen, solicitando un apoyo de $15.00 por cada costal de residuos. Cabe señalar que en las cinco comunidades restantes —Guelatao de Juárez, San Miguel Amatlán, Santa María Yavesia, Francisco I. Madero y San Andrés Yatuni— el servicio se proporciona sin ningún tipo de contraprestación económica directa por parte de la población.

Esta diversidad de esquemas contrasta significativamente con los hallazgos reportados por Juárez de la Rosa et al. (2023), quienes documentan que, en 569 de los 570 municipios que conforman el estado de Oaxaca, el servicio de recolección y disposición final de residuos sólidos urbanos se ofrece de manera gratuita para la ciudadanía. No obstante, los datos obtenidos en el presente diagnóstico revelan una realidad distinta, ya que en el 50 % de las comunidades participantes sí se solicita un apoyo económico a los habitantes para sufragar los costos operativos del servicio.

Resulta pertinente destacar que ambos estudios fueron realizados en la misma entidad federativa, por lo que las discrepancias observadas pueden atribuirse a múltiples factores, entre los que se incluyen diferencias metodológicas, criterios de muestreo, escalas de análisis, así como particularidades socioculturales y administrativas propias de cada municipio. Esta variabilidad subraya la necesidad de abordar el estudio del financiamiento de los servicios de saneamiento básico desde una perspectiva contextualizada, que reconozca las especificidades locales y evite generalizaciones que pudieran omitir la heterogeneidad existente en la gestión de residuos a nivel subregional.

Marco normativo y mecanismos de control

En cuanto al ámbito normativo, se identificó que el 60 % de las comunidades analizadas cuenta con un reglamento específico en materia de residuos sólidos urbanos dirigido a la ciudadanía. No obstante, en aquellas localidades donde no se dispone de este instrumento

formal, la operación del servicio se rige por criterios discrecionales establecidos por el personal encargado de la recolección. Tal es el caso de comunidades que condicionan la recepción de residuos al cumplimiento de ciertos requisitos, como la separación adecuada de los desechos o la limpieza previa de envases (por ejemplo, latas de alimentos), so pena de no recibir la carga. En contraste, existen localidades que, aun careciendo de un reglamento, admiten todo tipo de residuos sin exigir clasificación previa.

Es importante señalar que la sola existencia de un reglamento no garantiza *per se* un manejo adecuado de los residuos por parte de la población. Ante esta situación, algunas comunidades han implementado mecanismos complementarios de coerción y fomento a la corresponsabilidad, tales como la aplicación de sanciones económicas o la imposición de tequios —entendidos como jornadas comunales de limpieza vial— para aquellos ciudadanos que incurran en incumplimientos reiterados de las disposiciones normativas. Estas medidas reflejan la búsqueda de soluciones adaptadas a los contextos locales, donde la normatividad formal se articula con prácticas tradicionales de gobernanza comunitaria para asegurar la eficacia del sistema de gestión de residuos.

Personal encargado del manejo de residuos sólidos urbanos

El personal encargado de las actividades de recolección y manejo de residuos sólidos urbanos constituye un elemento fundamental para la operatividad del servicio. De acuerdo con la información recabada, se identificaron dos modelos de organización predominantes. En las comunidades de Capulálpam de Méndez e Ixtlán de Juárez, se cuenta con dos trabajadores contratados específicamente por el municipio para realizar la tarea de recolección de residuos, lo que les permite contar con personal fijo y, presumiblemente, con mayor experiencia en la labor. En contraste, en el 80 % de las comunidades, el personal dedicado a dicha actividad está conformado por las propias autoridades municipales, incluyendo regidores y miembros del cabildo municipal, lo que genera que el número de personas que participan en la recolección sea variable, aunque es común que se cuente con un grupo de entre dos y hasta ocho personas, dependiendo de la disponibilidad y las necesidades del momento.

Para realizar adecuadamente la recolección de los residuos sólidos urbanos y minimizar los riesgos asociados a esta actividad, el personal debe contar con herramientas y equipo de protección que faciliten la tarea y reduzcan la exposición a agentes biológicos, químicos y físicos presentes en los desechos. En este sentido, el 90 % de las comunidades afirma disponer de equipo de protección personal, que incluye guantes, cubrebocas y otros implementos básicos, con el propósito de prevenir accidentes y reducir riesgos durante la recolección. No obstante, en la mayoría de las localidades, este equipo no es utilizado de manera cotidiana, ya que los trabajadores manifiestan no estar acostumbrados a su uso y refieren que les genera incomodidad, lo que representa una situación de vulnerabilidad que debería ser atendida mediante campañas de sensibilización y capacitación sobre la importancia de la seguridad e higiene en el manejo de residuos.

Por otra parte, aunque la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004) establece las condiciones y reglas de operación que deben observarse en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, se detectó que en el 80 % de las comunidades se desconoce la existencia y contenido de dicha norma. Como consecuencia,

las actividades de recolección, transporte y disposición final de los residuos se realizan con base únicamente en las reglas, tradiciones y conocimientos transmitidos entre la población, sin ajustarse a los lineamientos técnicos y legales establecidos a nivel nacional. En este contexto, son los ciudadanos en conjunto con las autoridades municipales quienes deciden, de manera colectiva y comunitaria, cómo realizar la gestión de los residuos, lo que si bien refleja un ejercicio de participación social, también evidencia la ausencia de asesoría técnica y de cumplimiento normativo que garantice condiciones óptimas de operación y protección ambiental.

Parque vehicular y costos operativos para la recolección de residuos sólidos urbanos

Para garantizar una recolección eficiente, higiénica y oportuna de los residuos sólidos urbanos, resulta indispensable disponer de equipo vehicular especializado y de uso exclusivo. Sin embargo, los resultados obtenidos a través de las entrevistas realizadas a las autoridades municipales revelan una situación preocupante en cuanto al parque vehicular destinado a esta labor. Se identificó que únicamente el 40 % de las comunidades cuenta con camión compactador, mientras que el 60 % restante utiliza vehículos no especializados, tales como camionetas de tres toneladas, patrullas municipales o automotores particulares, los cuales carecen de las características técnicas necesarias para el manejo adecuado de los residuos, lo que compromete tanto la eficiencia del servicio como las condiciones sanitarias de la población.

Se identificó que las comunidades de Capulálpam de Méndez, Guelatao de Juárez, Ixtlán de Juárez y San Juan Chicomezuchil son las únicas que cuentan con camión compactador para la recolección de residuos. De acuerdo con la información proporcionada, el mantenimiento preventivo de estos vehículos se realiza con una periodicidad de cada seis meses, con un costo de $5,000 en tres de las comunidades mencionadas, a excepción de San Juan Chicomezuchil, donde el costo asciende a $600, lo que sugiere la necesidad de verificar el alcance y la calidad del servicio contratado para garantizar la operatividad y vida útil del equipo. Por otra parte, en las comunidades que no disponen de un vehículo exclusivo, la frecuencia de mantenimiento es variable, registrándose intervalos de cada 3, 6 o 12 meses, dependiendo del uso compartido del automotor, tal como se detalla en el Cuadro 3. En lo que respecta a los costos de mantenimiento en estas localidades, únicamente Francisco I. Madero y San Andrés Yatuni reportaron montos precisos, con $3,200 y $4,200 respectivamente; el resto de las comunidades manifestó desconocer el costo de esta actividad, lo que evidencia una debilidad significativa en el control financiero y administrativo de los gastos operativos.

Cuadro 3. Parque vehicular, costos operativos y personal para la recolección en el estudio de RSU de la cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca.

	Criterios					
Comunidades	Número de trabajadores que participan en la recolección	Monto del salario que recibe el personal	Tipo de camión usado para el transporte de los residuos	Frecuencia de mantenimiento del vehículo recolector	Costo del mantenimiento del camión	Costo del combustible consumido durante la recolección
Capulálpam de Méndez	2 personas	$3,000 quincenales	Compactador	Cada 6 meses	$5,000	$500

Guelatao de Juárez	6 personas	N/A	Compactador y Camioneta de 3 toneladas	Cada 6 meses	$5000	$850
Ixtlán de Juárez	3 personas	$7,000 mensuales	Compactador	Cada 6 o 12 meses	$5,000	$3,000
San Juan Chicomezuchil	8 personas	N/A	Compactador	Cada 6 meses	$6,000	$500
San Miguel Amatlán	4 personas	N/A	Patrulla	Cada 12 meses	N/A	N/A
Santa Catarina Lachatao	3 personas	N/A	Camioneta de 3/4	N/A	N/A	N/A
Santa María Yavesia	5 personas	N/A	Camioneta de 3 toneladas	N/A	N/A	N/A
Francisco I. Madero	4 personas	N/A	Camioneta de 3/4	Cada 6 meses	$3,200	$300
San Andrés Yatuni	2 personas	N/A	Camioneta de 3 toneladas	Cada 3 meses	$4,200	$500
La Trinidad Ixtlán	4 personas	N/A	Camioneta de 3 toneladas	Cada 6 meses	N/A	$500

Finalmente, en relación con el consumo de combustible, se observa una amplia variabilidad entre las comunidades (Cuadro 3). Ixtlán de Juárez reporta el gasto más elevado, con $3,000 semanales, mientras que Guelatao de Juárez destina $850 semanales para el funcionamiento tanto del camión recolector como de la camioneta de tres toneladas. Por su parte, Capulálpam de Méndez, San Juan Chicomezuchil, San Andrés Yatuni y La Trinidad Ixtlán coinciden en un consumo semanal de $500, en tanto que Francisco I. Madero registra un gasto de $300 por recorrido. No obstante, en las comunidades de San Miguel Amatlán, Santa Catarina Lachatao y Santa María Yavesia no se logró obtener información sobre el consumo de combustible, lo que constituye una limitación importante para el cálculo del costo real del servicio y para la planeación presupuestal adecuada. Esta carencia de datos refleja la urgencia de implementar mecanismos de registro y seguimiento que permitan optimizar los recursos y mejorar la toma de decisiones en materia de gestión de residuos sólidos urbanos.

Manejo de residuos

Generación de residuos sólidos urbanos

Como parte del diagnóstico, se indagó entre las autoridades municipales si las comunidades contaban con estudios de generación de residuos sólidos urbanos, herramienta fundamental para conocer la producción total de desechos, cuantificar los productos recolectados y disponer de elementos técnicos para la planeación y construcción de sitios de disposición final. Los resultados obtenidos evidencian una carencia significativa en esta materia, ya que el 80 % de las comunidades manifestó no contar con dicho estudio, mientras que el 20 % restante reconoció tenerlo, aunque desactualizado, lo que limita su utilidad práctica para la toma de decisiones. Ante la ausencia de datos precisos sobre la generación total de residuos, se optó por enfocarse en el volumen de residuos recolectados durante los recorridos habituales como un indicador aproximado de la producción local. No obstante, aunque en el Cuadro 4 de resultados se observen cifras similares entre las comunidades, la generación real no es homogénea, ya que está influenciada por múltiples factores, entre los que destacan el

número de habitantes, los patrones de consumo, las actividades económicas predominantes y, de manera particular, la frecuencia con que se presta el servicio de recolección.

Con el fin de contextualizar la información y contrastar la realidad de las comunidades estudiadas con otros ámbitos geográficos, se revisaron referencias bibliográficas que abordan la generación de residuos en diferentes regiones del país. Bernache (2012) determinó que 41 municipios de la región occidente de México producían un total de 11,170 toneladas de residuos, mientras que Del Carmen-Niño et al. (2019) encontraron que en Xaltianguis, Guerrero, se generan 2.8 toneladas diarias. Si bien ambos estudios comparten el mismo objetivo de cuantificar la producción de residuos sólidos urbanos, los datos son notablemente distintos, lo cual se explica por las diferencias poblacionales y las dinámicas económicas y de consumo propias de cada zona, ya que se trata de áreas urbanas con mayor densidad de habitantes y actividades productivas más diversificadas. En contraste, las comunidades involucradas en el presente trabajo presentan características rurales o semirrurales, con menor población y una estructura de consumo distinta, lo que hace que los datos de referencia no sean directamente aplicables. Además, la escasez de estudios de generación actualizados en estas localidades impide contar con cifras propias que permitan establecer comparaciones precisas y diseñar estrategias de gestión acordes a su realidad particular.

Cuadro 4. Generación, recipientes, clasificación y centro de acopio en el estudio de RSU de la cuenca alta del Río Grande, perteneciente a la Sierra Norte del estado de Oaxaca.

Comunidades	Criterios			
	Volumen de los residuos generados	Recipiente que usado para la entrega de los residuos al camión	Clasificación	Cuentan con centro de acopio
Capulálpam de Méndez	1 compactador	Costales y bolsas	tetrapak, vidrio, pet, cartón, archivo, lata chilera, lata	Si
Guelatao de Juárez	1 compactador y 3/4 de una camioneta de 3 toneladas	Bolsas de plástico, costales	cartón, pet, vidrio, latas, lata chilera, archivo, Tetrapak y basura general	Si
Ixtlán de Juárez	2 o 3 compactadores	Costales	plástico, vidrio, aluminio, lata chilera, orgánica y cartón	Si
San Juan Chicomezuchil	2 compactadores	Costales	pet, vidrio, lata chilera, hierro, basura general	Si
San Miguel Amatlán	1 patrulla	Costales y bolsas	vidrio, pet, pañales, bolsas de plástico, basura general	Si
Santa Catarina Lachatao	2 patrulla	Costales y botes	Aluminio, pet, lata chilera, orgánica y basura general	No
Santa María Yavesia	1 camioneta de 3 toneladas	Costales	N/A	No
Francisco I. Madero	4 patrulla	Costales	vidrio, plásticos, orgánica y basura general	No
San Andrés Yatuni	media camioneta de 3 toneladas	Costales y botes	hierro, vidrio, papel y basura general	No
La Trinidad Ixtlán	3/4 Camioneta de 3 toneladas	Costales	vidrio y latas	No

Volumen de vehículos: Compactador: 7-9 m^3; Camioneta de 3 toneladas: 12-15 m^3; patrulla: 1-1.2 m^3.

La limpieza de las calles de la comunidad es vital para evitar la propagación de plagas, malos olores y la contaminación del ambiente. En los municipios, se opta por ubicar contenedores en puntos clave para que los ciudadanos no arrojen sus residuos en las áreas públicas. Asimismo, para evitar el desperdicio de bolsas u otros materiales, las personas entregan sus residuos en costales o botes que se les devuelven después de depositar la basura en el vehículo recolector, lo que constituye una práctica que, aunque modesta, contribuye a la reducción de residuos plásticos y fomenta la reutilización de recipientes.

Clasificación de residuos sólidos urbanos

La generación de residuos es parte inherente de la dinámica de consumo de las comunidades, pero existen acciones que encaminan a la población a realizar una mejor gestión y manejo de los residuos. De acuerdo con los datos obtenidos, se encontró que el 90 % de las comunidades clasifica sus residuos, aunque solo el 50 % cuenta con centro de acopio y realiza la entrega de sus productos a empresas recicladoras, las cuales suelen viajar a la comunidad para recoger el material reciclable. Sin embargo, en ocasiones, cuando se trata de municipios donde la cantidad de residuos es pequeña, es la autoridad quien debe hacerse cargo de trasladarlos a la ciudad de Oaxaca, lo que genera un costo adicional para el municipio y desincentiva esta práctica.

Por otra parte, el 40 % de las comunidades también clasifica los residuos, aunque el objetivo no es el reciclaje, sino la separación de aquellos materiales como vidrio, latas o similares para enviarlos al basurero a cielo abierto, mientras que el resto de los residuos es incinerado directamente en las viviendas sin controlar los posibles efectos ambientales y sanitarios de dicha actividad. Así mismo, el 10 % de las comunidades afirma que la clasificación no es de su interés, ya que al final los residuos se juntan para ser incinerados en el tiradero a cielo abierto, argumentando que clasificar y entregar los residuos a un punto de reciclaje representa un reto, debido a que la comunidad no está dispuesta a realizar acciones que permitan mejorar las condiciones actuales de la gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos. Además, afirman que llevar los reciclables a la ciudad de Oaxaca no es una opción viable, ya que les genera gastos y las experiencias previas al intentar realizar dicha actividad no han sido gratas.

Juárez de la Rosa et al. (2023) mencionan que uno de los principales problemas que se pueden encontrar en el área estudiada (Oaxaca) es la poca participación de los ciudadanos para separar los residuos, ya que en su investigación determinó que solo el 7 % de los 570 municipios reporta tener una participación mayor al 60 % de sus habitantes, y que son esos mismos municipios los que cuentan con centro de acopio. Dichos datos difieren de los obtenidos en el presente diagnóstico, pues se encontró que el 90 % de las comunidades realiza algún tipo de clasificación y que existe una disposición favorable por parte de los ciudadanos; no obstante, en la mayoría de las localidades, clasificar no significa necesariamente que los materiales se destinen al reciclaje. Por lo cual, es necesario que los municipios trabajen en la gestión de los residuos que pueden ser reciclados para reducir la cantidad de basura que llega a los tiraderos a cielo abierto.

Dentro de la clasificación que realizan las comunidades, se encuentran los residuos catalogados como peligrosos, que son todos aquellos que derivan casi en su totalidad de

hospitales o casas de salud. Dichos residuos no son entregados al camión recolector, ya que en municipios como Ixtlán de Juárez, donde cuentan con hospitales, los residuos son entregados a empresas especializadas en el manejo de este tipo de desechos, mientras que en comunidades pequeñas las casas de salud buscan diferentes alternativas que permiten reducir o anular los riesgos que puedan derivar de los residuos peligrosos, lo que refleja una preocupación por la salud pública y el medio ambiente, aunque con limitaciones técnicas y de infraestructura.

A manera de comparación, Bedolla Solano et al. (2024), en su recorrido por el sitio de disposición final, encontraron que en la basura depositada había una mezcla de diferentes residuos, en los cuales se podían identificar residuos de manejo especial y peligrosos, lo que indicaba que en el municipio no se realizaba separación de residuos. Esta misma situación ocurre en las comunidades analizadas para el presente trabajo, en cuyos tiraderos a cielo abierto es común encontrar todo tipo de desechos; sin embargo, los materiales clasificados como peligrosos, que son principalmente agujas, medicamentos y otros desechos sanitarios, no son llevados al sitio de disposición final para evitar riesgos, y su manejo es realizado exclusivamente por el personal de salud, lo que constituye una práctica adecuada, aunque aislada, dentro de un panorama general que requiere de mayores esfuerzos en materia de gestión integral de residuos.

Disposición final

La gestión de los RSU y de manejo especial constituye un desafío ambiental y de salud pública de primer orden. En México, la regulación principal que rige la disposición final de estos residuos es la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual clasifica los sitios de disposición final en tres categorías: relleno sanitario, sitio controlado y sitio no controlado.

Las visitas de campo realizadas a los sitios de disposición final revelaron una brecha significativa entre las prácticas actuales y los requisitos normativos. Si bien el 30% de las comunidades cuentan con infraestructura denominada "relleno sanitario", una evaluación más detallada indica que únicamente el 10% de estas operaciones cumple con la mayoría de los lineamientos operativos y de infraestructura establecidos en la norma. Asimismo, en el 20% de los rellenos sanitarios se realiza un manejo inadecuado, generando problemáticas como dispersión de residuos, malos olores y proliferación de fauna nociva (aves carroñeras, roedores, insectos).

En estricto apego a las definiciones de la NOM-083, el 70% de los sitios se clasifican como no controlados. No obstante, dentro de esta categoría se observan matices importantes: existen sitios que, a pesar de carecer de infraestructura y barrera impermeabilizante, implementan acciones como el recubrimiento de residuos con capas de suelo, lo que mitiga parcialmente problemas como olores, dispersión y presencia de fauna.

Esta problemática no es exclusiva del área de estudio, Osorio Hernández et al. (2022) documentaron hallazgos similares en el municipio de Chicoloapan, Estado de México, donde el diagnóstico del manejo de RSU evidenció que los residuos son depositados en tiraderos a cielo abierto.

En el área de estudio, todos los sitios se clasifican como Tipo D, dado que las comunidades no superan las 50 toneladas diarias de residuos generados, lo cual es consistente con su baja densidad poblacional. Respecto a la ubicación, el 100% de los sitios cumple con la distancia mínima requerida respecto a zonas urbanas; sin embargo, el 10% incumple con la distancia de 500 metros que debe existir entre el sitio y cuerpos de agua, lo que representa un riesgo directo de contaminación de fuentes hídricas.

En cuanto a infraestructura, los resultados del diagnóstico revelan un panorama de cumplimiento parcial y heterogéneo entre los sitios de disposición final evaluados. El 50% de los sitios cuenta con cerca perimetral, elemento básico para controlar el acceso y evitar la dispersión de residuos; sin embargo, solo el 30% dispone de caseta de vigilancia y control de acceso, lo que indica deficiencias en los mecanismos de supervisión y seguridad operativa. Por otra parte, la cobertura de residuos con suelo, práctica fundamental para minimizar olores, dispersión de residuos y proliferación de fauna nociva, solo se realiza en el 20% de los sitios, y aun en estos casos el cumplimiento es parcial, ya que no se ajusta a las especificaciones técnicas de la NOM-083-SEMARNAT-2003. En consecuencia, la mayoría de los sitios operan con infraestructura insuficiente, lo que incrementa los riesgos ambientales y sanitarios asociados a la disposición final inadecuada de los residuos.

Estos resultados son consistentes con el estudio de Bernache (2012) sobre el riesgo de contaminación por disposición final de residuos en la región occidente de México. Dicho estudio, realizado en 41 municipios, encontró que solo el 17% contaba con malla perimetral y el 61% carecía de geomembrana o barrera impermeabilizante.

Prácticas de Tratamiento de Residuos

El diagnóstico reveló que el 50% de las comunidades incinera sus residuos en tiraderos a cielo abierto. Aún más preocupante es que en el 20% de las comunidades esta práctica se realiza directamente en los hogares, mientras que en el 30% los residuos son transportados al sitio no controlado para su incineración.

Por otro lado, la fracción orgánica de los residuos recibe un tratamiento diferenciado. En el 100% de las comunidades, los residuos orgánicos son gestionados mediante composta casera, incorporación directa a terrenos de cultivo o uso como alimento para animales. No obstante, en aquellas comunidades donde el espacio es limitado, los residuos orgánicos se entregan al servicio de recolección y se depositan en el sitio de disposición final.

Comparativamente, Bernache (2012) encontró que, en los 41 municipios analizados, el 91.4% de los residuos se entierra, el 8% se recicla y solo el 0.6% se incinera en tiraderos a cielo abierto. El estudio en la Sierra Juárez muestra una tasa de incineración significativamente mayor, lo que indica una problemática más aguda en la región. De manera similar, Del Carmen-Niño et al. (2019) observaron en Xaltianguis, Guerrero, que aproximadamente un tercio de los residuos es incinerado en tiraderos a cielo abierto, calles y en el interior de los hogares.

Conclusiones

El diagnóstico realizado evidencia una marcada discrepancia entre la percepción comunitaria y la realidad ambiental y operativa de los sitios de disposición final en el área de estudio. Si

bien el 80% del personal entrevistado manifestó no identificar conflictos socioambientales derivados de la gestión de residuos y sostuvo que sus comunidades se mantienen limpias, esta apreciación contrasta de manera contundente con la evidencia empírica recabada durante las visitas de campo. La perspectiva comunitaria omite problemáticas críticas que requieren atención inmediata: la quema de residuos en hogares y tiraderos a cielo abierto contribuye directamente a la contaminación atmosférica; la proximidad de los sitios de disposición a cuerpos de agua, sumada a la ausencia de barreras impermeabilizantes, los convierte en focos de contaminación hídrica; muchos tiraderos han operado durante años generando lixiviados con metales pesados y contaminantes persistentes en el suelo; y las deficiencias operativas, evidenciadas por la presencia de fauna nociva, encharcamientos y dispersión de residuos, facilitan la propagación de enfermedades.

En conjunto, la gestión de los sitios de disposición final en el área de estudio se caracteriza por una brecha significativa entre los requisitos normativos establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 y la realidad operativa. La dependencia predominante de sitios no controlados (70% de los casos) y la práctica generalizada de incineración de residuos (50% de las comunidades) representan riesgos graves para el ambiente y la salud humana, situación que se agrava por la falta de infraestructura adecuada y el incumplimiento de especificaciones técnicas básicas.

La percepción de limpieza manifestada por los representantes comunitarios contrasta de manera evidente con los impactos ambientales observables y las deficiencias técnicas documentadas, lo que subraya la urgencia de implementar un conjunto de medidas estructurales y educativas. En este sentido, se requiere fortalecer la planeación y gestión de residuos a nivel municipal y comunitario mediante enfoques participativos que involucren activamente a la población; fortalecer la aplicación de la normatividad a través de mecanismos de supervisión y seguimiento efectivos que aseguren el cumplimiento de la NOM-083; invertir en infraestructura adecuada, priorizando la construcción de rellenos sanitarios que cumplan con las especificaciones normativas, incluyendo barreras impermeabilizantes y sistemas de captación de lixiviados; implementar programas de educación ambiental que sensibilicen a la población sobre los riesgos de la quema de residuos y promuevan prácticas de separación, reciclaje y compostaje; y realizar estudios de caracterización de residuos y evaluación de riesgos para identificar la presencia de contaminantes emergentes y metales pesados en los sitios de disposición.

Literatura citada

- Aguilar Fernández, M., Álvarez Sánchez, T., & Álvarez Cedillo, J. A. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos en Oaxaca, México, desde el enfoque sistemático. *Trayectorias: revista de ciencias sociales de la Universidad Nacional de Nuevo León*, *22*(51), 85-108.
- Araiza Aguilar, J. A., López Arguello, C. del S., & Ramírez Solís, N. del R. (2015). Manejo de residuos sólidos urbano: Caso de estudio Las Margaritas, Chiapas. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 299-311.
- Bedolla Solano, R., Bedolla Solano, J. J., & Miranda Esteban, A. (2024). Análisis de la problemática socioambiental de residuos sólidos urbanos con habitantes de la comunidad

de Las Vigas en la Costa Chica de Guerrero, México. *Acta universitaria*, *34*. https://doi.org/10.15174/au.2024.4001

- Bernache, P. G. (2009, junio). Los basureros y comunidades contaminadas. *La Jornada*. https://www.jornada.com.mx/2009/06/01/eco-j.html
- Bernache Pérez, G. (2012). Riesgo de contaminación por disposición final de residuos: Un estudio de la región centro occidente de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *28*, 99-107.
- Del Carmen-Niño, V., Rodríguez Herrera, A. L., Juárez-López, A. L., Sampedro-Rosas, M. L., Reyes-Umaña, M., & Silva-Gómez, S. E. (2019). La importancia de la participación y corresponsabilidad en el manejo de los residuos sólidos urbanos. *Acta universitaria*, *29*. https://doi.org/10.15174/au.2019.2166
- H. Congreso del Estado de Oaxaca. (s. f.). *Ley Orgánica Municipal del Estado de Oaxaca*.
- Juárez de la Rosa, J. A., Medina Martínez, H., Taboada González, P., Aguilar Virgen, Q., & Márquez Benavides, L. (2023). Gobernanza ambiental en la gestión de residuos sólidos de los municipios en Oaxaca, México. *Acta universitaria*, *33*. https://doi.org/10.15174/au.2023.3704
- Osorio-Hernández, V. O., Bautista, B. N. M., & Huerta-Paniagua, R. A. (2022). Diagnóstico del manejo de residuos sólidos urbanos: Estudio de caso del municipio de Chicoloapan, estado de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(4), 3715-3727. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2880
- Santa Altamirano, A. (2025). *Diagnóstico de la gestión y manejo de Residuos Sólidos Urbanos en comunidades de la cuenca alta de Río Grande* [Tesis, Licenciatura]. UNSIJ.
- SEMABIESO. (2023). *Resumen Ejecutivo del Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en el Estado de Oaxaca*. https://www.oaxaca.gob.mx/medioambiente/wp-content/uploads/sites/59/2025/06/Resumen-Ejecutivo-PEPGIRSUME-2023.pdf
- SEMARNAT. (2004). *NOM-083-SEMARNAT-2003: Especificaciones de Protección Ambiental para la Selección del Sitio, Diseño, Construcción, Operación, Monitoreo, Clausura y Obras Complementarias de un Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial*. vLex. https://vlex.com.mx/vid/sitio-monitoreo-complementarias-solidos-39526267
- SEMARNAT. (2018). *Informe del Medio Ambiente*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Reservorios de carbono azul en manglares del pacífico y golfo de México

Eliseo Hernández-Hernández[1]; Giovanni Ávila-Flores[2]; Eduardo Valdés-Velarde[1]*; Imelda Vargas Abasolo[3]

Resumen

Los manglares son ecosistemas estratégicos para el almacenamiento de carbono azul y la mitigación del cambio climático. Este trabajo comparó los reservorios de carbono en manglares de Baja California Sur, Nayarit, Veracruz y Tabasco, considerando condiciones de conservación, geoformas y especies dominantes. Se integraron estudios realizados entre 2011 y 2025, en los que se cuantificó el carbono del suelo a distintas profundidades y, en algunos casos, la biomasa arbórea, mediante métodos estandarizados y estimaciones alométricas. Los resultados evidenciaron una amplia variabilidad regional. En Bahía de La Paz, el promedio de carbono del suelo fue de 84 Mg C ha^{-1}, con el máximo en Estero El Gato (210.73 Mg C ha^{-1}). En Nayarit, los reservorios fueron mayores en geoformas de Isla y en sitios conservados, destacando Arenitas con 508.38 Mg C ha^{-1}. En Veracruz, los mayores valores correspondieron a sitios bajo conservación y manejo silvícola, con aproximadamente 197 Mg C ha^{-1}. En Tabasco, los manglares dominados por *Rhizophora mangle* alcanzaron 364.40 Mg C ha^{-1}, mientras que el promedio regional fue de 307 Mg C ha^{-1}. Las diferencias se asociaron principalmente con la profundidad del suelo, conservación, composición florística y condiciones hidrológicas. En conclusión, los manglares conservados y con suelos profundos presentan mayor capacidad de almacenamiento, mientras que los manglares de Baja California Sur muestran menores reservas promedio.

Palabras clave: Captura y almacenamiento de carbono; Baja California Sur; Nayarit; Veracruz; Tabasco.

Abstract

Mangroves are strategic ecosystems for blue carbon storage and climate change mitigation. This study compared carbon pools in mangroves across Baja California Sur, Nayarit, Veracruz, and Tabasco, taking into account conservation status, landforms, and dominant species. It integrated studies conducted between 2011 and 2025 that quantified soil carbon at various depths—and, in some cases, tree biomass—using standardized methods and allometric estimations. The results revealed significant regional variability. In Bahía de La Paz, the average soil carbon was 84 Mg C ha^{-1}, with the highest value recorded at Estero El Gato (210.73 Mg C ha^{-1}). In Nayarit, carbon pools were larger in island landforms and conserved sites, notably at Arenitas (508.38 Mg C ha^{-1}). In Veracruz, the highest values were found in sites subject to conservation and silvicultural management, averaging approximately 197 Mg C ha^{-1}. In Tabasco, mangroves dominated by *Rhizophora mangle* reached 364.40 Mg C ha^{-1}, while the regional average was 307 Mg C ha^{-1}. These differences were primarily associated with soil depth, conservation status, floristic composition, and hydrological conditions. In conclusion, conserved mangroves with deep soils exhibit greater storage capacity, whereas mangroves in Baja California Sur show lower average carbon reserves.

Keywords: Carbon capture and storage; Baja California Sur; Nayarit; Veracruz; Tabasco.[1]

[1]Departamento de Fitotecnia, UACh. **valdevela@gmail.com*
[2]Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras, UABCS.
3Departamento de Economía, UACh.

Introducción

Los manglares representan uno de los ecosistemas con mayor capacidad de almacenamiento de carbono por unidad de superficie, constituyendo reservorios estratégicos de carbono azul a nivel global. En el contexto del cambio climático, su conservación y manejo sostenible adquieren relevancia por su contribución a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. Estudios recientes destacan que los ecosistemas costeros pueden almacenar grandes cantidades de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo, especialmente en perfiles profundos (Macreadie et al., 2021; Sanderman et al., 2023). En México, los manglares del Pacífico y del Golfo presentan condiciones ambientales contrastantes que influyen en su capacidad de almacenamiento. El objetivo del presente trabajo fue analizar y comparar los reservorios de carbono azul en manglares de Baja California Sur, Nayarit, Veracruz y Tabasco, considerando distintas condiciones de conservación, geoformas y dominancia de especies.

Materiales y métodos

Se integraron resultados de estudios realizados entre 2011 y 2025 en manglares de Bahía de La Paz, Baja California Sur; Marismas Nacionales, Nayarit; El Tarachi, Veracruz; y Paraíso, Tabasco. En Baja California Sur se evaluaron seis sitios de manglar árido, determinando el carbono del suelo hasta 100 cm de profundidad mediante muestreo sistemático. En Nayarit se consideraron dos investigaciones: la primera (2011) cuantificó carbono del suelo a 20 cm en diferentes geoformas; la segunda (2024) evaluó biomasa arbórea y carbono del suelo a 100 cm en sitios bajo distintas condiciones de conservación. En Veracruz (2022) se estimaron reservorios en biomasa arbórea y suelo a 50 cm bajo cuatro condiciones de manejo. En Tabasco (2018) se analizaron manglares dominados por *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*, evaluando nueve compartimentos de carbono. En todos los casos se emplearon métodos estándar de determinación de carbono orgánico y estimaciones alométricas para biomasa.

Resultados y discusión

En Bahía de La Paz, el mayor reservorio de carbono en suelo se registró en Estero El Gato (210.73 Mg C ha^{-1}), mientras que los menores valores se observaron en Pichilingue UABCS (15.46 Mg C ha^{-1}) y Pichilingue Brujas (18.29 Mg C ha^{-1}), con un promedio regional de 84 Mg C ha^{-1}. En Marismas Nacionales (2011), la geoforma isla presentó mayores reservorios (125.90 Mg C ha^{-1}) que la barra (57.90 Mg C ha^{-1}). En 2024, el sitio Arenitas alcanzó 508.38 Mg C ha^{-1}, superando a Pericos (108.96 Mg C ha^{-1}) y San Miguelito (111.55 Mg C ha^{-1}). En Veracruz, los valores más altos correspondieron a condiciones de conservación (197.03 Mg C ha^{-1}) y manejo silvícola (196.46 Mg C ha^{-1}), mientras que la recuperación mostró el menor valor (142.56 Mg C ha^{-1}). En Tabasco, los manglares dominados por *R. mangle* alcanzaron 364.40 Mg C ha^{-1} y los dominados por *A. germinans* 255.50 Mg C ha^{-1}, con un promedio regional de 307 Mg C ha^{-1} (Figura 1).

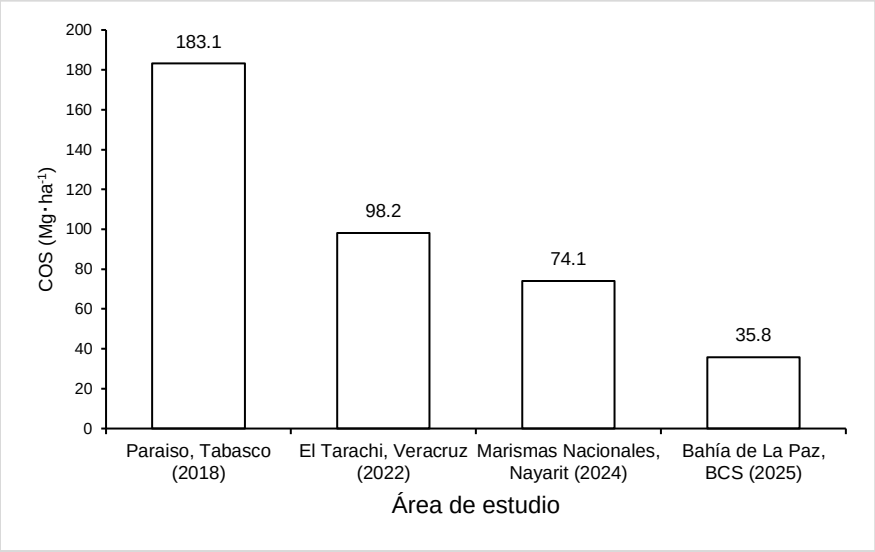


Figura 1. Contenido de carbono orgánico del suelo (0 a 30 cm de profundidad) observado en manglares del Golfo de México y el Pacífico.

Las diferencias observadas se relacionan con profundidad de muestreo, estado de conservación, composición florística y condiciones hidrológicas. Coincidiendo con lo señalado por Howard et al. (2022) y Sanderman et al. (2023), los suelos profundos y los sitios conservados tienden a concentrar mayores reservas de carbono. La variabilidad entre regiones resalta la influencia de factores climáticos y geomorfológicos en la dinámica del carbono azul.

Conclusiones

Los manglares evaluados muestran una amplia variabilidad en sus reservorios de carbono azul. Los mayores almacenamientos se registraron en Paraíso, Tabasco, y en sitios conservados o con suelos profundos en Nayarit y Veracruz. En contraste, los manglares áridos de Baja California Sur presentaron los valores promedio más bajos. Los resultados confirman que la condición de conservación, la profundidad del suelo y la dominancia de especies influyen significativamente en la magnitud de los reservorios de carbono.

Literatura citada

Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., McLeod, E., Pidgeon, E., y Simpson, S. (2022). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. Frontiers in Marine Science, 9, 847517. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.847517

Macreadie, P. I., Anton, A., Raven, J. A., Beaumont, N., Connolly, R. M., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Kuwae, T., Lavery, P. S., Lovelock, C. E., Smale, D. A., Apostolaki, E. T., Atwood, T. B., Baldock, J., Bianchi, T. S., Chmura, G. L., Eyre, B. D., Fourqurean, J. W., ... Duarte, C. M. (2021). The future of blue carbon science. Nature Reviews Earth & Environment, 2, 826–839. https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-2

Sanderman, J., Hengl, T., Fiske, G. J., Solvik, K., Adame, M. F., Benson, L., Bukoski, J. J., Carnell, P., Cifuentes-Jara, M., Donato, D. C., Duncan, C., Eid, E. M., Ermgassen, P., Lewis, C. J. E., Macreadie, P. I., Silliman, B. R., & Lovelock, C. E. (2023). A global map of mangrove soil carbon stocks. Global Change Biology, 29, 1450–1465. https://doi.org/10.1111/gcb.16594

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Cavitación para valorizar plátano sobremadurado: correspondencia entre fisiología climatérica, procesamiento no térmico y disposición de productores en Caldas, Colombia

Alejandra Patiño-Marín[1]; Miguel Andrés Meñaca-Puentes[2]; Marcela Tabares-Tabares[3]; Luisa Fernanda Ramírez Serna[4]

Resumen

Las frutas y verduras registran las mayores pérdidas entre los grupos de alimentos, y las especies climatéricas dominan la producción tropical. Durante la maduración poscosecha el almidón se convierte en azúcares, el tejido se ablanda y la vida útil se reduce; el producto sale del mercado en fresco y se acumula como excedente que conserva valor transformable. La conversión de ese excedente en alimentos depende de la tecnología de procesamiento: el tratamiento térmico estabiliza el producto y degrada los compuestos termolábiles que sustentan su valor nutricional. Este trabajo analiza la correspondencia entre el estado fisicoquímico del plátano Dominico Hartón sobremadurado y la ventana de operación de la cavitación hidrodinámica y acústica como ruta de procesamiento no térmico, y caracteriza las condiciones de adopción en una asociación de productores. Se aplicó un diagnóstico participativo y una encuesta estructurada a los 20 asociados de AGROPEBEL (Belalcázar, Caldas) y se integró literatura sobre cavitación en musáceas. Los productores destinan el excedente a usos de baja transformación, descartan una parte, priorizan productos de base pulpa y declaran disposición a capacitarse sin conocimiento previo de los alimentos funcionales. La literatura registra que la cavitación retiene vitamina C y polifenoles que el tratamiento térmico degrada, y que su limitación de textura se concentra en matrices con fibra insoluble. El estado climatérico avanzado reduce la fibra insoluble y aumenta los sólidos solubles, condiciones que coinciden con la ventana de la cavitación. El estado de maduración funciona así como criterio para encaminar el excedente: la fruta sobremadurada hacia procesamiento no térmico que conserva compuestos, y la fruta menos madura hacia rutas de almidón. Leer la maduración como criterio de decisión convierte la pérdida en valor nutricional en lugar de destruirlo con calor, y es aplicable a las regiones productoras de frutas climatéricas.

Palabras clave: cavitación hidrodinámica; plátano sobremadurado; fruta climatérica; procesamiento no térmico; bioeconomía circular.

Abstract

Fruits and vegetables show the highest losses among food groups, and climacteric species dominate tropical production. During postharvest ripening, starch is converted into sugars, tissue softens and shelf life shortens; the product leaves the fresh market and accumulates as a surplus that retains transformable value. Converting this surplus into food depends on the

[1] Fundación Soy Mujer en la Ciencia, Manizales, Caldas, Colombia, direccion@soymujerenlaciencia.com
[2] Centro de investigación, innovación, desarrollo y transferencia de tecnología (CI2DT2) - Universidad de Caldas, Colombia. miguel.menaca@ucaldas.edu.co
[3] Fundación Soy Mujer en la Ciencia, Manizales, Caldas, Colombia, direccion@soymujerenlaciencia.com
[4] Fundación Soy Mujer en la Ciencia, Manizales, Caldas, Colombia, direccion@soymujerenlaciencia.com

processing technology: thermal treatment stabilizes the product and degrades the thermolabile compounds that underpin its nutritional value. This work analyzes the correspondence between the physicochemical state of overripe Dominico Hartón plantain and the operating window of hydrodynamic and acoustic cavitation as a non-thermal processing route, and characterizes adoption conditions in a producer association. A participatory assessment and a structured survey were applied to the 20 members of AGROPEBEL (Belalcázar, Caldas), together with literature on cavitation in Musaceae. Producers direct the surplus to low-transformation uses, discard a fraction, prioritize pulp-based products, and report willingness to train without prior knowledge of functional foods. The literature records that cavitation retains vitamin C and polyphenols that thermal treatment degrades, and that its texture limitation concentrates in insoluble-fiber matrices. Advanced climacteric ripening lowers insoluble fiber and raises soluble solids, conditions that coincide with the cavitation window. Ripening stage thus works as a criterion to route the surplus: overripe fruit toward non-thermal processing that preserves compounds, and less-ripe fruit toward starch routes. Reading ripening as a decision criterion turns loss into nutritional value instead of destroying it with heat, and applies to regions that produce climacteric fruits.
Keywords: hydrodynamic cavitation; overripe plantain; climacteric fruit; non-thermal processing; circular bioeconomy.

1. Introducción

Las frutas y verduras registran las mayores pérdidas entre los grupos de alimentos. Cerca de un tercio de los alimentos producidos para consumo humano se pierde o desperdicia, unos 1.300 millones de toneladas al año (FAO, 2019); en Colombia la cifra alcanza 9,76 millones de toneladas anuales, el 34 % de la oferta disponible, y las frutas y verduras aportan alrededor del 62 % de ese total (DNP, 2016). Estas corrientes de biomasa conservan compuestos que pueden reincorporarse a cadenas de valor mediante transformación, planteamiento que organiza la bioeconomía circular (Yaashikaa et al., 2022; Wagh et al., 2024).

Las especies climatéricas dominan la producción frutícola tropical y concentran una parte de estas pérdidas. Tras la cosecha, la maduración impulsada por etileno hidroliza el almidón en azúcares, ablanda el tejido y eleva los sólidos solubles; la fruta pierde las condiciones para la venta en fresco y se acumula como excedente. El plátano sigue este patrón. La sobremaduración se trata como causa de la pérdida; este trabajo examina si el mismo estado que retira la fruta del mercado la habilita como materia prima para una ruta de procesamiento que conserva su valor nutricional.

El resultado de la transformación depende de la tecnología de estabilización. El tratamiento térmico asegura inocuidad y vida útil, y reduce la vitamina C entre 50 y 70 % junto con parte de los compuestos fenólicos (Quintero-Quiroz et al., 2026); un producto orientado a atributos funcionales requiere rutas que retengan esos compuestos. La cavitación es un proceso de base mecánica que opera sin elevar la temperatura del producto. La formación, el crecimiento y el colapso de microburbujas generan presiones locales, microchorros y esfuerzos de corte que rompen paredes celulares, homogeneizan, inactivan enzimas y microorganismos y liberan compuestos; el fenómeno se induce por caída de presión en el flujo (cavitación

hidrodinámica) o por ultrasonido (cavitación acústica) (Arya et al., 2023; Zoglopiti et al., 2025).

La correspondencia entre una tecnología y una materia prima no determina su incorporación. La adopción de tecnologías agrícolas depende de los conocimientos, la disposición y la organización de los productores, y de condiciones económicas e institucionales (Dibbern et al., 2024; Papadopoulou et al., 2024). El objetivo de este trabajo es analizar la correspondencia entre el estado fisicoquímico del plátano Dominico Hartón sobremadurado y la ventana de operación de la cavitación, y caracterizar las condiciones de adopción en la asociación AGROPEBEL, con el fin de derivar un criterio de selección de la ruta de valorización de excedentes climatéricos.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño, contexto y participantes

Se realizó un estudio descriptivo con enfoque mixto entre abril y junio de 2026, en la primera etapa del proyecto de transferencia tecnológica de procesos no convencionales para la producción de alimentos funcionales a partir de musáceas Dominico Hartón sobremaduradas en Caldas. El trabajo se desarrolló en Belalcázar (Caldas, Colombia) con la Asociación de Productores Agropecuarios de Belalcázar (AGROPEBEL). La población fue el conjunto de 20 asociados vinculados al proceso; se trabajó con su totalidad, sin muestreo.

2.2. Instrumentos y análisis

La recolección combinó una actividad participativa de sensibilización, organizada en cinco estaciones temáticas, y una encuesta estructurada aplicada a los 20 asociados, con preguntas cerradas y abiertas sobre prácticas de aprovechamiento, frecuencia de pérdidas, conocimiento y valoración de atributos funcionales, productos de interés, beneficios esperados, disposición a capacitarse y participación juvenil. Los datos cuantitativos se analizaron con estadística descriptiva; en las preguntas de respuesta múltiple cada alternativa se contabilizó de forma independiente, por lo que la suma supera el 100 %. La información cualitativa se organizó por categorías temáticas. La interpretación de la pertinencia de la cavitación se apoyó en una revisión de la literatura sobre su aplicación en musáceas. Por su carácter diagnóstico, la etapa no incluyó determinaciones experimentales de proceso.

3. Resultados y discusión

3.1. Aprovechamiento actual y magnitud de las pérdidas

El plátano sobremadurado se destina a usos de baja transformación (Cuadro 1). Predominan la alimentación animal y el consumo familiar, y más de la mitad de los productores reconoce que una parte se descarta; una fracción menor lo emplea como abono o lo vende a menor precio. La frecuencia percibida se concentra en la categoría ocasional, no en la de pérdidas permanentes. Existe una corriente de materia prima descartada cuyo volumen no se cuantifica en esta etapa y que define el punto de partida para la valorización (Yaashikaa et al., 2022).

Cuadro 1. Destino del plátano sobremadurado (respuesta múltiple).

Alternativa de aprovechamiento	**Productores (%)**
Alimentación animal	75

Alternativa de aprovechamiento	Productores (%)
Consumo familiar	70
Descarte de una parte del producto	55
Elaboración de abono	30
Venta a menor precio	5

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a 20 asociados de AGROPEBEL (Belalcázar, Caldas, 2026).

3.2. Conocimiento y disposición de los productores

El 80 % de los productores no conocía los alimentos funcionales antes de la actividad, y una parte no asoció beneficios al concepto. Tras la sensibilización valoraron el potencial del plátano para aportar beneficios de salud en 4,0 sobre 5 en promedio, y repartieron entre el aporte nutricional y la incertidumbre la pregunta por el beneficio con mayor potencial. El 95 % declaró disposición a capacitarse en nuevas tecnologías para el aprovechamiento del plátano. La disposición coincide con una base de conocimiento técnico acotada, lo que sitúa la formación como condición del proceso.

3.3. Productos y beneficios esperados

Los productos priorizados son de base pulpa (Cuadro 2): pulpas y compotas encabezan la selección, seguidas de harinas y bebidas. Los beneficios esperados se concentran en los ingresos y el acceso a nuevos mercados, por encima de la reducción de pérdidas (Cuadro 3). En la lectura de los productores la transformación corresponde a desarrollo productivo y no solo al manejo del desperdicio (Papadopoulou et al., 2024).

Cuadro 2. Productos priorizados (respuesta múltiple).

Producto	Productores (%)
Pulpas	60
Compotas	50
Harinas	25
Bebidas funcionales	20
Snacks	10

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a 20 asociados de AGROPEBEL (Belalcázar, Caldas, 2026).

Cuadro 3. Beneficios esperados de la transformación (respuesta múltiple).

Beneficio	Productores (%)
Mayores ingresos	75
Apertura de nuevos mercados	75
Mejora de la alimentación de la comunidad	55
Generación de empleo	50

Beneficio	Productores (%)
Reducción de pérdidas	45

Fuente: elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a 20 asociados de AGROPEBEL (Belalcázar, Caldas, 2026).

3.4. Cavitación y estado fisicoquímico del plátano sobremadurado

Los productos que los productores priorizan son matrices de base pulpa, sobre las que la cavitación tiene aplicación documentada. Quintero-Quiroz et al. (2026) procesaron por cavitación hidrodinámica purés de excedentes hortofrutícolas que incluían banano y los compararon con tratamiento térmico: la cavitación retuvo más vitamina C y polifenoles y sostuvo mayor capacidad antioxidante, mientras el tratamiento térmico degradó hasta el 80 % de estos compuestos. El mismo estudio registró dos resultados que ordenan la aplicación al plátano sobremadurado. La incorporación de banano redujo la viscosidad de las mezclas, en correspondencia con su contenido de sólidos solubles. Y la penalización de textura de la cavitación, expresada como mayor grumosidad, se concentró en las matrices con fibra insoluble. El estado climatérico avanzado del plátano reduce la fibra insoluble y aumenta los sólidos solubles, de modo que la materia prima se ubica en el intervalo donde la cavitación retiene compuestos y la penalización de textura disminuye. Esta correspondencia es una hipótesis de trabajo para la etapa experimental, no un resultado de esta fase.

La ruta depende del estado de maduración. El excedente sobremadurado, con bajo contenido de almidón, corresponde a productos de base pulpa —pulpas, compotas y bebidas— estabilizados con retención de compuestos, que son los que la asociación prioriza. La fruta menos madura y la cáscara, con mayor contenido de almidón, corresponden a la modificación del almidón por cavitación acústica, en la que el ultrasonido ajusta la solubilidad, la gelatinización y la retrogradación (Shuprajhaa et al., 2025). El estado de maduración opera como criterio de selección: encamina cada fracción hacia la ruta que conserva su valor, y evita atribuir al excedente sobremadurado un uso, el del almidón, para el que no es la materia prima que corresponde. La cavitación hidrodinámica opera con demanda energética baja y admite escalamiento (Arya et al., 2023), y su capacidad de inactivación microbiana la sostiene como operación de estabilización (Zoglopiti et al., 2025).

3.5. Condiciones de adopción

La disposición a capacitarse no equivale a adopción. La incorporación de tecnologías agrícolas depende de infraestructura, conocimientos, condiciones económicas, confiabilidad de la tecnología y características de la organización (Dibbern et al., 2024). El componente cualitativo identificó tres condiciones. Los tiempos de la cosecha, la comercialización y el mantenimiento de los cultivos limitan la participación continua, y los productores solicitaron convocatorias con anticipación. El manejo de herramientas digitales y de procesos administrativos presenta vacíos, lo que extiende la transferencia más allá de la operación de un equipo. La continuidad institucional, tras experiencias previas que no se consolidaron, condiciona la confianza. La coexistencia de disposición y estas condiciones concuerda con la heterogeneidad de actitudes hacia la bioeconomía circular descrita por Papadopoulou et al. (2024). El relevo generacional se registró como pendiente: una parte menor de los productores identificó jóvenes interesados, y los participantes ubicaron el interés potencial

en el emprendimiento, la transformación de alimentos y la comercialización. El instrumento de diagnóstico permite establecer estas condiciones antes de desplegar la tecnología y puede aplicarse a otras asociaciones y cultivos.

4. Conclusiones

El estado de maduración de una fruta climatérica puede leerse como criterio para encaminar su excedente. El estado que retira al plátano sobremadurado del mercado en fresco —fibra insoluble baja y sólidos solubles altos— coincide con la ventana en la que la cavitación retiene compuestos y reduce su penalización de textura. La sobremaduración deja de ser solo la causa de la pérdida y pasa a indicar la ruta que conserva el valor nutricional: la fruta sobremadurada hacia procesamiento no térmico de base pulpa, y la fruta menos madura hacia rutas de almidón.

Este criterio tiene alcance más allá del caso. Las frutas y verduras registran las mayores pérdidas entre los grupos de alimentos, y las especies climatéricas —plátano, banano, mango, papaya, aguacate— sostienen la producción de las regiones tropicales. Encaminar el excedente climatérico por su estado de maduración, en lugar de estabilizarlo por defecto con calor que destruye sus compuestos, convierte la pérdida en suministro de ingredientes con valor nutricional. La cavitación, de base mecánica, energía baja y escalable, hace operativa esa conversión.

La correspondencia entre materia prima y tecnología no determina la adopción. En AGROPEBEL la disposición a capacitarse es alta y coincide con conocimiento técnico acotado, restricciones de tiempo, vacíos digitales y demanda de continuidad institucional; la transferencia requiere formación y acompañamiento sostenido. Los resultados corresponden a una etapa diagnóstica con 20 productores de una asociación; el criterio de encaminamiento por maduración es una proposición que la etapa siguiente debe validar con la cavitación aplicada a pulpa de plátano sobremadurado, midiendo parámetros de proceso, retención de compuestos y textura.

Literatura citada

- Arya, S. S., More, P. R., Ladole, M. R., Pegu, K., & Pandit, A. B. (2023). Non-thermal, energy efficient hydrodynamic cavitation for food processing, process intensification and extraction of natural bioactives: A review. *Ultrasonics Sonochemistry, 98*, 106504. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106504
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*. Bogotá, Colombia: DNP.
- Dibbern, T., Romani, L. A. S., & Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology, 8*, 100459. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100459
- FAO. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Papadopoulou, C.-I., Chatzitheodoridis, F., Loizou, E., & Jurga, P. (2024). Operational taxonomy of farmers' towards circular bioeconomy in regional level. *Operational Research, 24*, 25. https://doi.org/10.1007/s12351-024-00834-9
- Quintero-Quiroz, J., Zuluaga-Arroyave, N., Valencia-Naranjo, A., Molina-Castillo, M. C., Varela-García, N., Medina-Rodríguez, M., Martínez-Saldarriaga, J., & Henao-Rojas, J. C. (2026). Non-thermal hydrodynamic cavitation for surplus fruits and vegetables: Improved vitamin C and bioactive preservation. *Foods, 15*(2), 268. https://doi.org/10.3390/foods15020268
- Shuprajhaa, T., Paramasivam, S. K., Subramaniyan, P., Ramakrishnan, P., Ramasamy, S., & Wakchaure, G. C. (2025). Ultrasonic assisted enzymolysis based modification of native banana starch: A comprehensive analysis of the structural, morphological, rheological and textural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, publicación anticipada en línea.
- Wagh, M. S., Sowjanya, S., Nath, P. C., Chakraborty, A., Amrit, R., Mishra, B., Mishra, A. K., & Mohanta, Y. K. (2024). Valorisation of agro-industrial wastes: Circular bioeconomy and biorefinery process – A sustainable symphony. *Process Safety and Environmental Protection, 183*, 708–725. https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.055
- Yaashikaa, P. R., Senthil Kumar, P., & Varjani, S. (2022). Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. *Bioresource Technology, 343*, 126126. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126
- Zoglopiti, E., Roufou, S., Psakis, G., Okafor, E. T., Dasenaki, M., Gatt, R., & Valdramidis, V. P. (2025). Unravelling the hydrodynamic cavitation potential in food processing: Underlying mechanisms, crucial parameters, and antimicrobial efficacy. *Food Engineering Reviews, 17*, 994–1035. https://doi.org/10.1007/s12393-025-09419-4

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Maíz azul nativo, importancia cultural, agrícola y nutrimental

María de la Luz Buendía-Valverde[1], María Guadalupe Peralta Sánchez, Fresia Pacheco Sangerman, Jessica Alejandra Roldan García

Resumen

México es el centro de origen del maíz (*Zea mays* L.), cuya domesticación inicio hace 7,000 años, nuestro país ocupa el 7 ° lugar en la producción mundial, teniendo como principales estados productores a Sinaloa, Sonora, Jalisco, Estado de México, Guanajuato y Michoacán. Aunque el maíz azul se produce a menor escala comparado con el maíz blanco y amarillo, se encuentra ampliamente distribuido en los estados de Chihuahua, Durango, Michoacán y Estado de México, donde es consumido principalmente como alimento en productos como tortillas, pinole, atole y tamales, aunque también se utiliza como forraje, pigmento natural y la fabricación de artesanías. El consumo de maíz azul tiene grandes beneficios a la salud debido a que es fuente de antioxidantes, aminoácidos, fibra, lípidos, vitaminas y minerales, lo cual aporta múltiples beneficios a la salud. Impulsar la investigación fisiológica, bioquímica y nutrimental del maíz azul ayuda a preservar el patrimonio biocultural y promueve una agricultura de precisión sostenible ante los factores ambientales extremos actuales.

Palabras clave: Maíz azul, diversidad genética, salud.

Abstract

Mexico is the center of origin for maize (*Zea mays* L.), a crop domesticated 7,000 years ago; the country ranks seventh in global production, with Sinaloa, Sonora, Jalisco, the State of Mexico, Guanajuato, and Michoacán serving as the leading producing states. Although blue maize is produced on a smaller scale than white or yellow maize, it is widely distributed across the states of Chihuahua, Durango, Michoacán, and the State of Mexico. There, it is primarily consumed in foods such as tortillas, *pinole*, *atole*, and tamales, though it is also used for animal feed, natural pigments, and the creation of handicrafts. Consuming blue maize offers significant health benefits, as it is a source of antioxidants, amino acids, fiber, lipids, vitamins, and minerals. Promoting physiological, biochemical, and nutritional research into blue maize helps preserve biocultural heritage and fosters sustainable precision agriculture in the face of today's extreme environmental conditions.

K**eywords:** Blue corn, genetic diversity, health.

Introducción

México es el centro de origen del maíz (*Zea mays* L.), sus diferentes razas (59 descritas) muestran una amplia diversidad genética, muchas de ellas adaptadas a distintas condiciones ambientales como: altitud, régimen de precipitación anual, temperatura y necesidades hídricas (Herrera-Sotero *et al*., 2017; Santillán-Fernández *et al*., 2021).

[1] Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Edafología. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264. buendia.luz@colpos.mx mgperalta@colpos.mx pacheco.fresia@colpos.mx roldan.jessica@colpos.mx

De acuerdo a las evidencias, el cultivo de maíz comenzó hace 7 mil años, su domesticación permitió que nuestros ancestros nómadas se establecieran en distintas regiones de Mesoamérica, donde el maíz se convirtió en el principal sustento alimenticio de la población (SADER, 2023).

Actualmente, el maíz es cereal mas producido a nivel mundial, en nuestro país se produce alrededor de 27 millones de toneladas al año, donde el mayor porcentaje de producción de grano de maíz es de color blanco, seguida por el grano de color amarillo y un porcentaje menor al 1% equivale a maíz de grano de otros colores, donde el maíz azul es el más importante (**Cuadro1**) (CONABIO, 2015; SADER, 2023).

La conservación de variedades locales de maíz en México es de suma importancia debido a que estas especies representan la mayor diversidad genética y son vitales en procesos de mejoramiento genético. Si bien muchas de estas especies se encuentran resguardadas *ex situ* en bancos de germoplasma, se ha observado que las poblaciones que se encuentran seleccionadas y resguardadas *in situ* por agricultores en sistemas agrícolas tradicionales poseen mayor diversidad genética debido a que muchas de estas son cultivadas fuera de su área de distribución original, permitiendo que evolucionen en distintos factores ambientales (Guzzon *et al*., 2021).

Cuadro 1. Cultivo de maíz en México

Producción anual	27 millones de toneladas
Productor mundial	7° lugar
Estados productores	32 estados
Principales estados productores	Sinaloa, Sonora, Jalisco, Estado de México, Guanajuato y Michoacán
Producción de maíz de grano blanco	91.5 %
Producción de maíz de grano amarillo	8 %
Producción de maíz de otros colores	0.5 %

Fuente: CONABIO, 2015; SADER, 2023.

El maíz azul es una raza nativa de México, donde de acuerdo al Proyecto Global de Maíces Nativos denominado “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México” liderado por la CONABIO, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), la mayor distribución de la raza de maíz azul en México ocurre los estados de Chihuahua, Durango, Michoacán y Estado de México (**Figura 1**) (Agama-Acevedo *et al.*, 2011; CONABIO, 2015).

De acuerdo a la anterior información, el Estado de México un estado de gran importancia para la producción de maíz azul, en la región de Texcoco, aunque no existen datos sobre la producción de maíz azul, se sabe de acuerdo al DDR (Distrito de Desarrollo Rural) que en 2015 la superficie de siembra y cosecha de maíz fue de 1,732.50 ha, dando una producción de 6,388.71 ton totales, donde el cultivo de maíz azul nativo en algunas poblaciones rurales es imprescindible por sus usos culinarios (Castañeda-Sánchez, 2011; Meraz-Huescas *et al*., 2018).



Figura 1. Distribución potencial de la raza de maíz azul (*Zea mays* subsp. *mays*) en México. Modificado de CONABIO (2015).

El cultivo de maíz azul tiene gran importancia debido a sus múltiples usos, la producción de grano, forraje y productos artesanales, además, es utilizado para extraer pigmentos alimenticios de exportación destinados a Estados Unidos y Europa. Con respecto a la elaboración de alimentos, las tortillas, pinole, atole y tamales son algunas de las formas más consumidas (Agama-Acevedo *et al.*, 2011; Escalante-Estrada *et al*., 2020; CONABIO, 2025).

En lo que respecta a su valor nutrimental, los granos de maíz azul son fuente natural de antioxidantes (antocianinas); proteínas (albuminas, globulinas, glutelinas y prolaminas); aminoácidos esenciales (fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptófano y valina); lípidos (ácidos grasos de buena calidad como el linoleico, oléico, palmítico, esteárico y linolénico); fibra; carbohidratos (almidón); vitaminas A, E, C, B1(tiamina) y B3 (niacina); minerales (calcio, potasio, fósforo, magnesio, níquel hierro, cobre, manganeso y zinc); y compuestos fenólicos (flavonoides) (Castañeda-Sánchez, 2011).

Los compuestos naturales que aporta el maíz azul son de relevante importancia porque poseen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, antibacterianas,

antivirales y antitrombóticas, que pueden mejorar la función del sistema inmune, reducir la presión arterial y regular los niveles de lípidos en sangre (Ramírez-Esparza *et al*., 2025).

Actualmente, los factores ambientales extremos ponen en riesgo la producción de muchos cultivos, incluido el maíz, donde se puede afectar procesos fisiológicos como: la brotación de las hojas, la floración y la fructificación (Stucky *et al*., 2018).

Realizar estudios a nivel fisiológico, bioquímico y nutrimental en maíz azul es de suma importancia, no solo por su valor alimenticio, sino también, por contribuir al patrimonio biocultural clave en la región de Texcoco, Estado de México. Por lo anterior, continuar con la investigación en maíz azul aporta conocimiento a la agricultura tradicional y favorece la transición a una agricultura de precisión sostenible que garantice su conservación a largo plazo.

Conclusiones

El maíz azul es fundamental del patrimonio agrícola y gastronómico de México, su valor nutricional proporciona antioxidantes, aminoácidos, fibra y minerales con altos beneficios a la salud humana. Impulsar la investigación científica en maíz azul es indispensable para su conservación responsable y sostenible largo plazo.

Literatura Citada

- Santillán-Fernández, A., Salinas-Moreno, Y., Valdez-Lazalde, J. R., Bautista-Ortega, J., & Pereira-Lorenzo, S. (2021). Spatial delimitation of genetic diversity of native maize and its relationship with ethnic groups in Mexico. *Agronomy*, 11(4), 672. https://doi.org/10.3390/agronomy11040672
- Agama-Acevedo, E., Salinas-Moreno, Y., Pacheco-Vargas, G., & Bello-Pérez, L. A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(3), 317-329.
- Guzzon, F., Arandia Ríos, L. W., Caviedes Cepeda, G. M., Céspedes Polo, M., Chávez Cabrera, A., Muriel Figueroa, J., Medina Hoyo, A. E., Jara Calvo, T. W., Molnar T. L., Narro León, L. A., Narro León, T. P., Mejía Kerguelén, S. L., Ospina Rojas, J. G., Valvez, G., Preciado-Ortiz, R. E., Zambrano, J. L., Palacios Rojas, N., & Pixley, K. V. (2021). Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy*, 11(1), 172. https://doi.org/10.3390/agronomy11010172
- Herrera-Sotero, M.Y., Cruz-Hernández, C.D., Trujillo-Carretero, C., Rodríguez-Dorantes, M., García-Galindo, H.S., Chávez-Servia, J.L., Oliart-Ros, R.M., Guzmán-Gerónimo, R.I. (2017). Antioxidant and antiproliferative activity of blue corn and tortilla from native maize. *Chemistry Central Journal*, 11(1), 110. https://doi.org/10.1186/s13065-017-0341-x
- Meraz-Huescas, V., Ramínez-Abarca, O. Hernández-Martínez, J., & Espinosa-Torres, L. E. (2018). Rentabilidad y competitividad del maíz grano (*Zea mays* L.) en Texcoco, Estado de México. *Debate Económico*, 47(1), 47-64.

- Escalante-Estrada, J., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2020). Fodder and grain yield in native maize (*Zea mays* L.). *Agro Productividad*, 13(12), 51-55 https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1892
- Castañeda-Sánchez, A. (2011). Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.). *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5(2), 75-83.
- Stucky, B. J., Guralnick, R., Deck, J., Denny, E. G., Bolmgren, K., & Walls, R. (2018). The plant phenology ontology: A new informatics resource for large-scale integration of plant phenology data. *Frontiers in Plant Science*, 9, 517. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00517
- Ramírez-Esparza, U., Ordoñez-Cano, A.J., Ochoa-Reyes, E., Méndez-González, F., Baeza-Jimenez, R., Alvarado-González, M., Ascacio-Valdes, J.A., & Buenrostro-Figueroa, J.J. (2025) Development of a bioprocess to improve the phenolic compounds content and antioxidant capacity in blue corn grains. *Fermentation*, 11, 122. https://doi.org/10.3390/fermentation11030122
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (10 de marzo de 2023). Maíz, cultivo de México. Gobierno de México. Disponible en: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-cultivo-de-mexico (11 agosto de 2026).
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2015). Azul en México. Distribución de la raza de maíz azul (Zea mays subsp. mays) en México. Geoportal CONABIO. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/azul_5sgw.html (11 de agosto de 2026).
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2025). Azul. Biodiversidad Mexicana. Maíces. Razas de maíz de México. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-SChihuahua/Azul

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Transición dietética y huella de carbono: un análisis desde la elasticidad ingreso de la demanda de alimentos

Mirna Benumea Díaz[1]

Resumen

Los patrones de consumo alimentario dependen del uso del medio ambiente y de los recursos naturales, que, en consecuencia, tienen efectos destructivos al superar la capacidad de regeneración del planeta; la principal responsable de ello es la huella de carbono. El objetivo de este estudio es analizar la elasticidad ingreso de la demanda de los patrones de consumo alimentario en la Ciudad de México (CDMX), con el fin de ayudar a comprender los efectos en la huella de carbono que afectan al medio ambiente de nuestro país y, posiblemente, al resto del mundo. Para la metodología, se utilizaron los microdatos de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022. Primero, se planteó la ecuación del gasto de forma lineal en función del logaritmo del ingreso. Posteriormente, se derivó esta ecuación, lo cual permitió estimar las elasticidades para 17 grupos alimenticios. En los hallazgos obtenidos, se comprueba que cuando el ingreso per cápita aumenta un 1%, también se incrementa el gasto en alimentos; principalmente, el gasto en proteínas animales aumentará en 0.58%, lo que representa una mayor carga en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Se concluye que el crecimiento del ingreso en la Ciudad de México podría intensificar la huella de carbono asociada a la dieta, lo que sugiere la necesidad de políticas públicas orientadas a promover un consumo más consciente sobre las fuentes proteicas de origen animal, asociadas a una elevada carga ambiental.

Palabras clave: elasticidad ingreso, huella de carbono, proteína animal, patrones de consumo alimentario

Abstract

Food consumption patterns depend on the use of the environment and natural resources, which, as a result, have destructive effects when they exceed the planet's capacity for regeneration; the carbon footprint is the primary cause of this. The objective of this study is to analyze the income elasticity of demand for food consumption patterns in Mexico City (CDMX), in order to help understand the effects on the carbon footprint that impact our country's environment and, possibly, the rest of the world. The methodology utilized microdata from the 2022 National Survey of Household Income and Expenditures (ENIGH). First, a linear expenditure equation was formulated as a function of the logarithm of income. Subsequently, this equation was derived, allowing for the estimation of elasticities for 17 food groups. The findings show that when per capita income increases by 1%, food expenditure also rises; specifically, expenditure on animal proteins will increase by 0.58%, which represents a greater burden on carbon dioxide (CO_2) emissions. It is concluded that income growth in Mexico City could intensify the carbon footprint associated with the diet, suggesting the need for public policies aimed at promoting more conscious consumption of animal-based protein sources, which are associated with a high environmental impact.

Keywords: income elasticity, carbon footprint, animal protein, food consumption patterns

[1] UNAM, Escolar, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX, correo mirnabd23@gmail.com.

Introducción

Para una reproducción eficiente del sistema alimentario y de los patrones de consumo alimentario se requieren recursos naturales, cuya disponibilidad está siendo superada por la contaminación, el exceso de desechos y los gases de efecto invernadero (GEI), lo que genera la destrucción del frágil equilibrio del ecosistema del planeta. En otras palabras, a la Tierra le resulta cada vez más complicado continuar cumpliendo su doble función de proveedora de recursos y receptora de residuos, lo que refleja una crisis ambiental que hoy conocemos como cambio climático. Las afectaciones derivadas del cambio climático son cada vez más devastadoras, con eventos catastróficos como sequías e inundaciones que vulneran el sistema alimentario.

Se plantea que el incremento en el nivel de ingreso per cápita en la Ciudad de México está asociado a un cambio en los patrones de consumo alimentario, particularmente hacia un mayor gasto en alimentos de origen animal, lo que se traduce en un aumento de la huella de carbono asociada a la dieta.

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre el nivel de ingreso, el consumo de alimentos y la huella de carbono en la población de la CDMX, con el fin de proponer políticas públicas que mitiguen los impactos en el medio ambiente. Asimismo, se analizarán las condiciones y características físicas, sociales, culturales, políticas y económicas de la capital que conforman la composición y heterogeneidad de la dieta, así como las variaciones que esta ha sufrido con el tiempo.
De manera específica, el trabajo busca: (1) estimar la elasticidad ingreso de la demanda de los distintos grupos de alimentos; (2) identificar los grupos de alimentos cuyo consumo se asocia con una mayor huella de carbono; y (3) analizar cómo la desigualdad económica y social de la CDMX se refleja en la heterogeneidad de los patrones de consumo y su impacto ambiental.

La polarización entre individuos es una de las principales características de las ciudades, y la CDMX no es la excepción: en su gran mayoría, presenta elevados niveles de desigualdad económica y social. La segregación se manifiesta entre las esferas más altas y más bajas de la sociedad, las cuales se dividen territorialmente y presentan una marcada diferenciación en la dieta. Como eje central, este trabajo busca determinar cómo influye el incremento en los niveles de ingreso en las tendencias y en el comportamiento del consumo alimentario contemporáneo, así como su correlación con la generación de emisiones de CO_2 en la CDMX, lo cual afecta negativamente al medio ambiente.

Transformación urbana y patrones de consumo alimentario: el papel del ingreso y la desigualdad

El cuadro 1 muestra la urgencia de implementar estrategias, así como qué áreas del mundo son aptas o tienen la capacidad de lograr un progreso rápido, en comparación con otras que necesitan más tiempo para alcanzar las metas.

Cuadro 1. Dimensiones urbanas, subáreas y tipos de acción: urgencia y capacidades de absorción de la región global

Componente de la dimensión	Tipo de acción	Urgencia	Áreas de absorción potencial bajo un escenario de transformación		
			Rápido	Intermedio	Lento
Comida	Reducción del desperdicio de alimentos	U	-América Latina y el Caribe -África -Asia occidental -Asia y el Pacífico	-Europa	-Norteamérica
	Agricultura urbana o periurbana	CP	-América Latina y el Caribe -África -Asia y el Pacífico	-Norteamérica -Europa -Asia occidental	
Agua	Reducción de fugas y reciclaje	U CP	-América Latina y el Caribe -Europa -Asia y el Pacífico	-América Latina y el Caribe -Asia occidental	-África
	Colecta de agua	CP	-América Latina y el Caribe -África -Asia occidental -Asia y el Pacífico	-Norteamérica -Europa	
Energía	Generación renovable	U CP	-Norteamérica -Europa -Asia y el Pacífico	-América Latina y el Caribe -Asia occidental	-África
	Impuestos al carbono/ combustible y tarificación por congestión	CP	-Norteamérica -América Latina y el Caribe -Europa -Asia occidental -Asia y el Pacífico	-África	
Materiales	Reducción del consumo	U	-Norteamérica -Europa	-América Latina y el Caribe -Asia occidental	-África -Asia y el Pacífico
	Reutilización de productos fabricados	CP MP	-Norteamérica -Europa	-América Latina y el Caribe	-África -Asia occidental -Asia y el Pacífico
Desperdicios	Compostaje	U	-Todos		
	Mercados de segunda mano	CP	-Todos		
Emisiones	Tecnologías de mitigación,	CP MP	-Norteamérica -Europa	-Asia occidental -Asia y el Pacífico	-América Latina y el Caribe

	incluida la electrificación				-África
	Dietas sostenibles y bajas en carbono	U	-Todos		
Acceso y movilidad	Infraestructura de transporte resiliente/baja en carbono	U CP		-Norteamérica -Europa -Asia y el Pacífico	-América Latina y el Caribe -Asia occidental -África
Justicia social y ambiental	Planes de inversión de acción climática y ambiental.	U	-Todos		
U=urgente (2021-2025)		**CP=corto plazo (2026-2030)**		**MP=mediano plazo (2031-2040)**	

Fuente: UN-Habitat, 2021:86-88.

Según las Naciones Unidas, la transformación de las ciudades implica rediseñar e integrar el uso de los recursos urbanos, de modo que, a medida que una ciudad crece, su generación de residuos se reduzca a casi cero. Esto implica crear políticas orientadas a generar una ciudad circular[1], inspirada en el funcionamiento de los ecosistemas naturales; es decir, conservar los recursos y aprovechar los desechos de un organismo como nutrientes para otros, lo que resulta en una contaminación neta cero.

La transformación hacia ciudades circulares requiere que los gobiernos locales se familiaricen con los siguientes conceptos interrelacionados:

- Flujos de recursos: representan el movimiento de recursos hacia la ciudad, como circulan entre sectores y se acumulan dentro de la ciudad y el resto sale de la ciudad.
- Metabolismo urbano: describe como los flujos interactúan para dar forma a la ciudad. El objetivo es cambiar el metabolismo urbano de lineal a circular, de modo que se minimice la cantidad de recursos que ingresan y los desechos que salen de la ciudad.
- Economía circular: es aquella en la que un flujo continuo de materiales técnicos y biológicos crea oportunidades para la creación de valor social y económico en el proceso de cambio hacia la circularidad. Implica una labor mayor que solo reciclar, se beneficia de un enfoque integrado en múltiples niveles, desde sistemas de infraestructura administrados por el gobierno hasta instalaciones del sector privado e iniciativas comunitarias (UN-Habitat, 2021: 98).

Más del 55% de la población mundial vive en áreas urbanas, una proporción que alcanzará casi el 70% para 2050. Las ciudades no solo atraen a las masas de la población mundial, sino que también son el foco de la economía mundial, al generar el 80% del PIB mundial. Sin

[1] Alterar los flujos de energía y materiales para reducir significativamente la extracción de recursos naturales y lograr casi cero emisiones netas de gases de efecto invernadero y otras formas de contaminación y desechos (UN-Habitat, 2021: 67).

embargo, también enfrentan desafíos como el cambio climático, razón por la cual se requieren nuevos modelos de gobernanza que mitiguen los riesgos y den respuesta a dichos desafíos. Es importante contar con una resiliencia urbana que permita diseñar planes de recuperación ante desastres y explorar estrategias de sustentabilidad y bienestar social (100 Resilient Cities, 2019).

La dinámica del consumo puede derivarse de los cambios socioeconómicos. El panorama que se analiza en este apartado será de gran ayuda para entender lo que sucede en México, en específico en la Ciudad de México, que es donde este trabajo realizará el estudio empírico. Los patrones de consumo alimentario en las últimas décadas explican la estructura que condiciona al mercado alimentario, la demanda y el consumo real, los cuales son adoptados como moda por un número reducido de consumidores, para luego ser replicados por el resto de la población. Los patrones de consumo alimentario en el mundo han presentado un proceso de transición, influido por los hábitos, el modus vivendi, las costumbres y los ingresos de cada individuo u hogar, además de circunstancias como la cultura y la disponibilidad de recursos naturales, lo que genera hábitos con un fuerte arraigo en el tiempo.

Con frecuencia se piensa que los hábitos alimentarios rara vez o nunca cambian y que son difíciles de modificar; sin embargo, la globalización, al abrir las fronteras de la mayoría de los países, ha modificado el consumo de los alimentos básicos, y en la actualidad estos no son los mismos que se consumían incluso hace un siglo. Los hábitos y costumbres alimentarias se modifican, influenciados por los cambios socioculturales derivados de la apertura de las fronteras. A ello se suma la tendencia de los asalariados a gastar la mayor parte de su sueldo en pocos días, lo cual casi siempre resulta en una dieta familiar de valor nutritivo variable. Por lo anterior, se establece la premisa de que los primeros días tras el pago, la familia come mejor y esta calidad va disminuyendo conforme pasan los días, hasta que nuevamente llega el día de pago (Latham, 2002).

La persistencia de los altos niveles de desigualdad en los ingresos, sumada al elevado costo de las dietas saludables, hizo que en 2019 estas fueran inasequibles para cerca de 3,000 millones de personas en todas las regiones del mundo, en especial para la población pobre. Entre 2017 y 2019, la prevalencia de la subalimentación aumentó un 4% en los países afectados por uno o más de los principales factores anteriores y disminuyó un 3% en los países que no los sufrieron. El alto nivel de desigualdad aumentó el efecto negativo de dichos factores, sobre todo en los países de ingresos medios (FAO et al., 2022).

Materiales y métodos

Para llevar a cabo esta investigación se utilizaron los microdatos de la ENIGH 2022 para los habitantes de la Ciudad de México. El estudio es observacional de corte transversal, con una muestra de 2,583 hogares y un promedio de 3.11 integrantes por hogar. En la ENIGH, el valor de los ingresos y gastos es a nivel de hogar; sin embargo, para que los resultados fueran más representativos, la estimación de las elasticidades es a nivel per cápita. Esto se pudo realizar ya que los microdatos integran la variable número de integrantes por hogar, por lo cual solo se dividieron las variables establecidas entre el número de integrantes de cada hogar, obteniendo el ingreso y el gasto per cápita.

La unidad de análisis fue el ingreso corriente y la proporción del gasto per cápita de los 17 grupos alimentarios: gasto total en alimentos, alimentos dentro del hogar, cereales, carnes, pescado y mariscos, leche y sus derivados, huevo, aceites y grasas, tubérculos, verduras, legumbres, leguminosas y semillas, frutas, azúcar y mieles, café, té y chocolate, especias y aderezos, otros alimentos diversos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, y alimentos fuera del hogar. Esta clasificación se realizó con base en las categorías estándar definidas por la encuesta, así como en la definición de variables con periodicidad trimestral y en pesos corrientes.

Se evaluará la transición dietética en función de la elasticidad ingreso de la demanda alimentaria y los posibles impactos ambientales generados por los patrones de consumo alimentario urbano. Se recurrirá a la ley de Engel, la cual se cumple cuando la elasticidad ingreso es menor que 1 ante un incremento en el nivel de ingreso. Donde w es la parte del presupuesto destinada a los alimentos, es decir, es el ingreso. Teniendo en cuenta que w=pq ⁄y, donde p es el precio de la comida y q es la cantidad de la consumida. Según la ley de Engel, ∂w⁄(∂y<0). Pero ∂w⁄∂y= ((p)⁄y)(∂q⁄∂y)-w⁄y, entonces (p(∂q)⁄∂y)<w bajo las condiciones de que ∂w⁄∂y<0. Por tanto, ε<1, donde ε es la elasticidad del ingreso (Holcomb et al., 1995: 3).

La elasticidad (e_i) mide la sensibilidad del gasto ante cambios en los precios o en el ingreso; por ejemplo, cuánto cambiaría el gasto en un bien si el ingreso aumentara en 1%, dado que dicho gasto puede aumentar o disminuir.

La clasificación de los bienes se da de la siguiente manera: los bienes de lujo son aquellos que observan principalmente los ingresos aun cuando dichos ingresos aumentan, y su elasticidad es $e_i > 1$. Los bienes necesarios son aquellos que absorben una menor proporción de los ingresos cuando estos aumentan; su elasticidad es $0 < e_i < 1$. Y en bienes inferiores disminuye aún más su proporción cuanto más aumenta el ingreso, siendo su elasticidad $e_i < 0$.

Para estimar las curvas de Engel utilizamos el modelo explicado por Deaton y Muellbauer (1980), que relaciona la proporción del gasto linealmente con el ingreso logarítmico; es popular para modelos en alimentos.

$w_i = \alpha_i + \beta_i log x_i$ (1)

Donde α_i y β_i son parámetros que estimar, w_i es la proporción de gasto en los grupos de alimentos per cápita en la CDMX y x_i es el ingreso corriente per cápita de la CDMX.

A partir de derivar la ecuación (1), se calculó la elasticidad ingreso de la demanda para cada uno de los 17 grupos alimenticios mediante la ecuación (2),

$$\varepsilon_i = \frac{\partial w_i}{\partial x_i} = \frac{\beta_i}{\bar{x_i}} \quad (2)$$

Donde β_i es el parámetro del grupo alimenticio i y $\bar{x_i}$ es la media del grupo de alimento i.

Para estimar la ecuación (1) del modelo de Deaton y Muellbauer (1980), se utilizó el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y el software estadístico RStudio, el cual también se empleó para consolidar la base de datos utilizada en el desarrollo de este estudio. A continuación, se estimó la elasticidad ingreso de la demanda; se estableció un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ para la interpretación estadística de los resultados. Ambas ecuaciones se estimaron a partir de la muestra poblacional, ponderada con el factor de

expansión proporcionado por la propia encuesta, con el fin de que los resultados fueran representativos de la población de la CDMX.

Cuadro 2. Análisis estadístico de las variables

	Mean	SD	Min	Max
lping_cor	9.95	0.80	6.99	13.57
palimentos	7770.83	12106.15	0.00	311325.16
pali_dentro	5357.77	7240.98	0.00	302942.31
pcereales	715.96	817.17	0.00	32631.39
pcarnes	1332.33	1821.77	0.00	67062.77
ppescado	170.41	999.78	0.00	42878.55
pleche	500.87	647.06	0.00	9694.25
phuevo	186.18	203.75	0.00	2089.28
paceites	65.73	202.26	0.00	3458.57
ptuberculos	82.10	139.76	0.00	2378.57
pverduras	663.92	724.97	0.00	10864.25
pfrutas	379.30	534.98	0.00	4998.81
pazucar	41.16	123.88	0.00	3535.69
pcafe	64.27	248.51	0.00	4782.83
pespecias	57.84	222.34	0.00	8768.47
potros_alim	698.50	1762.46	0.00	46982.56
pbebidas	399.20	2650.20	0.00	128237.11
pali_fuera	2367.88	9047.02	0.00	267514.26

Fuente: elaboración propia con datos de la ENIGH 2022

En el cuadro 2 se muestra el análisis estadístico con la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo de la variable dependiente y de las variables independientes. Cabe mencionar que, debido al modelo planteado en la ecuación (1), el ingreso corriente per cápita está expresado en logaritmo, mientras que el resto de las variables se encuentran en su forma lineal.

Resultados y discusión

En el cuadro 3 se muestran las elasticidades ingreso de la demanda de los principales grupos alimenticios del estudio, de los cuales, en todos los casos, las elasticidades clasifican a los alimentos como bienes necesarios, lo que confirma nuevamente lo expuesto por Engel con respecto a los alimentos como bienes de primera necesidad.

La elasticidad ingreso de la demanda del gasto total en alimentos contempla tanto el gasto de alimentos fuera como dentro del hogar; el primer grupo muestra que dicha elasticidad es más sensible al incremento del ingreso en comparación con el gasto de alimentos dentro del hogar. Un aumento del 1% en el ingreso incrementa marginalmente el gasto total en alimentos en 1.13%, mientras que el gasto fuera del hogar aumenta 1.56%, y el gasto en alimentos dentro del hogar solo se incrementa 0.64%, cifra que, si bien es significativa, resulta baja en comparación con los dos primeros grupos.

Los grupos de alimentos con mayor sensibilidad ante un incremento del 1% en el ingreso son el pescado, el café, otros alimentos y las bebidas, cuyas elasticidades son mayores que 1 (véase cuadro 3), lo que los clasifica como bienes de lujo. Esto se explica porque, en su mayoría, son alimentos con un costo relativamente alto o de acceso limitado para los estratos bajos; al incrementarse el ingreso, estos productos pueden dejar de presentar una brecha significativa en la demanda y su consumo puede crecer de forma más proporcional.

En un rango de sensibilidad moderada se ubican las carnes, la leche, los aceites, las frutas, el azúcar y las especias, con elasticidades entre 0.58 y 0.95. Este comportamiento intermedio sugiere que, si bien estos alimentos ya forman parte de la dieta habitual de los capitalinos, aún existe margen para incrementar su frecuencia de consumo. Por ejemplo, sustituir carne de pollo o cerdo, que suelen ser más económicas, por carne de res que es de mayor precio, conforme mejora el ingreso.

Por último, los tubérculos y las verduras muestran una sensibilidad media-baja, mientras que los cereales y el huevo presentan las elasticidades más bajas del estudio. Esto ocurre porque estos alimentos ya están integrados en la dieta básica de los capitalinos y suelen consumirse en cantidades relativamente constantes, al ser productos de bajo costo y alta disponibilidad. Por lo que no es necesario el incremento en los ingresos per cápita para acceder a ellos, por lo que su consumo responde poco a dichas variaciones.

Los hogares de la Ciudad de México darán prioridad al consumo de, por ejemplo, pescado una vez que sus ingresos aumenten; es decir, consumirán aquellos productos a los que, con sus ingresos actuales, el acceso es limitado o incluso imposible, y aumentarán ligeramente el consumo de aquellos que ya forman parte de su dieta básica. Dichos resultados son consistentes con la Ley de Bennett (1941), que versa sobre la mejora de la alimentación humana mediante la disminución de alimentos con alto contenido calórico y la introducción, en mayor proporción, de alimentos con mejores nutrientes (proteína animal, frutas y verduras).

Cuadro 3. Elasticidad ingreso de la demanda alimentaria

Gasto total en alimentos	1.129222	Verduras, legumbres, leguminosas y semillas	0.502395
Gasto dentro del hogar	0.6393326	Frutas	0.7216292
Cereales	0.2884606	Azúcar y mieles	0.9453095
Carnes	0.5828954	Café, té y chocolate	1.097487
Pescado y mariscos	1.228801	Especias y aderezos	0.8529118
Leche y sus derivados	0.6893472	Otros alimentos diversos*	1.019033
Huevo	0.3523378	Bebidas alcohólicas y no alcohólicas	1.699277
Aceites y grasas	0.8334122	Alimentos fuera del hogar	1.560544
Tubérculos	0.5045289		

* Incluye conceptos: Cereal de arroz, avena, mixto para bebé; papillas para bebé; hongos frescos; flanes, gelatinas, pudines en polvo, etcétera
Fuente: elaboración propia con datos de la ENIGH 2022

La teoría y metodología de las Curvas de Engel, así como las elasticidades ingreso de la demanda, permitieron obtener una postura consistente sobre los patrones de consumo alimentario per cápita en la Ciudad de México. La relación determinista entre el ingreso corriente per cápita y la proporción del gasto en los grupos de alimentos per cápita contribuye a explicar la tendencia observada en las regresiones calculadas. En la mayoría de ellas se comprueba que, ante un aumento en el ingreso per cápita, el gasto en dichos alimentos también aumenta, confirmando así la hipótesis planteada al inicio del trabajo. Asimismo, los alimentos consumidos dentro del hogar con un mayor incremento en el gasto son las carnes, los pescados y las bebidas.

Cabe mencionar la importante relación entre los resultados y su implicación directa sobre la huella de carbono del sistema alimentario en la CDMX, particularmente en el caso de productos de origen animal como la carne de res, la cual emite 31.752 kilogramos de CO_2 (kg CO_2) por cada kilogramo producido. Este rubro, al ser sensible al aumento marginal del poder adquisitivo, se traducirá en una mayor demanda de carne de res, cuya huella de carbono por kilogramo tiende a ser considerablemente más alta en comparación con aquellos alimentos cuya elasticidad es menos sensible al incremento del ingreso, como los cereales, que emiten solo 0.172 kg CO_2 por kilogramo, o el huevo, cuya carga ambiental es de 0.372 kg CO_2 por kilogramo (FAO, 2023). En este sentido, es conveniente desarrollar políticas alimentarias orientadas a una transición hacia un modelo más sostenible y de bajo impacto ambiental, mediante, por ejemplo, campañas educativas, etiquetados que proporcionen información sobre las emisiones de cada alimento y subsidios a los alimentos con baja carga ambiental.

Conclusiones

Estos hallazgos confirman la hipótesis planteada al inicio de este estudio: el incremento en el ingreso de los hogares de la Ciudad de México se traduce en un mayor consumo de alimentos de origen animal y de productos considerados de lujo, cuya huella de carbono es superior a la de los alimentos clasificados como necesarios. En este sentido, la principal aportación de este estudio es documentar, a partir de datos de la ENIGH 2024, la magnitud de la elasticidad ingreso por grupo de alimentos en la Ciudad de México y su vínculo con el impacto ambiental de la dieta, evidencia que hasta ahora no se había cuantificado de forma desagregada para esta población. Cabe señalar que, al tratarse de un estudio de corte transversal, estos resultados permiten establecer asociación, mas no causalidad, entre el nivel de ingreso y la huella de carbono de la dieta.

El trabajo aporta evidencia empírica inédita sobre la elasticidad ingreso per cápita asociada a la huella de carbono de los alimentos consumidos en la CDMX, y contribuye a la literatura que aborda líneas de investigación sobre alimentación, distribución de ingresos e impacto ambiental. Destaca que los alimentos identificados como necesarios (tubérculos, verduras, lácteos, entre otros) contrastan con aquellos de lujo (pescado, café, otros alimentos), como se detalló en el apartado de resultados.

Si bien este estudio no calculó directamente la huella de carbono asociada a cada grupo alimenticio, a partir de los factores de emisión reportados por FAO (2023) y Poore y Nemecek (2018), se observa que la brecha de contaminación entre la carne de res (31.752 kg CO_2) y los cereales (0.172 kg CO_2) es significativa, lo que demuestra que el aumento en la demanda de un alimento u otro sí puede exacerbar los impactos negativos en el medio ambiente. Asimismo, la literatura consultada a nivel internacional (Murray Orozco et al., 2025; da Cruz et al., 2024; Mogensen et al., 2020) permite confirmar la relación entre el consumo de carne de res y un importante incremento en la huella de carbono, mientras que en las dietas basadas en un mayor consumo de vegetales y de otras fuentes de proteína el impacto resultó significativamente menor.

Estos hallazgos sugieren la pertinencia de políticas alimentarias que incentiven, en todos los estratos socioeconómicos, el consumo de alimentos con menor huella de carbono, tales como los promovidos por la dieta de la milpa. Dicha dieta busca recuperar el sistema alimentario tradicional mesoamericano, basado en el maíz, el frijol, el chile y otros cultivos locales, promoviendo el consumo de alimentos frescos y de producción local, y limitando el consumo de alimentos ultraprocesados y de productos de origen animal. Este modelo ha sido propuesto como una estrategia con potencial para favorecer simultáneamente la salud y la sostenibilidad ambiental (Secretaría de Salud, 2020). Otras propuestas de políticas alimentarias podrían orientarse hacia estrategias de educación alimentaria que promuevan la transición hacia dietas con menor impacto ambiental (Viera et al., 2023).

Finalmente, para futuras líneas de investigación o estudios posteriores, será pertinente integrar mediciones directas de huella de carbono por grupo de alimentos, con el fin de fortalecer la evidencia y ampliar la literatura a nivel nacional, ya que la literatura internacional ha documentado ampliamente la relación entre el consumo de alimentos de origen animal y las emisiones de carbono (Veeramani et al., 2017; Wolfson et al., 2022).

Referencias

- Bennett, M. K. (1941). International Contrasts in Food Consumption. Geographical Review, 31(3), 365–376. https://doi.org/10.2307/210172
- da Cruz, G. L., da Costa Louzada, M. L., Silva, J. T. D., Maria Fellegger Garzillo, J., Rauber, F., Schmidt Rivera, X., Reynolds, C., & Levy, R. B. (2024). The environmental impact of beef and ultra-processed food consumption in Brazil. Public health nutrition, 27(1), e34. https://doi.org/10.1017/S1368980023002975
- Deaton, A., & Muellbauer, J. (1980). Economics and consumer behavior. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511805653.001
- FAO. (2023). Intensidades de emisiones. FAOSTAT. Recuperado de: https://www.fao.org/faostat/es/#data/EI
- Holcomb, R., Park, J., & Capps, J. (1995). Revisiting Engel's law: Examining expenditure patterns for food at home and away from home. Journal of Food Distribution Research, 1-8. https://doi.org/10.22004/ag.econ.27224
- Mogensen, L., Hermansen, J. E., & Trolle, E. (2020). The Climate and Nutritional Impact of Beef in Different Dietary Patterns in Denmark. Foods (Basel, Switzerland), 9(9), 1176. https://doi.org/10.3390/foods9091176

- Murray Orozco, A., Marceleño Flores, S., & Nájera González, A. (2025). ¿Cuál dieta es más sustentable?. Una revisión sistemática de la huella de carbono generada por los tipos de alimentación humana. Revista Mexicana De Trastornos Alimentarios Mexican Journal of Eating Disorders, 15(2). https://doi.org/10.22201/fesi.20071523e.2025.2.842
- Poore, J., y Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science (New York, N.Y.), 360(6392), 987–992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216
- Secretaría de Salud. (2020). La dieta de la milpa modelo de alimentación mesoamericana saludable y culturalmente pertinente. Ciudad de México: Secretaría de Salud. Recuperado de: https://cies.edu.mx/wp-content/uploads/2021/09/La-dieta-de-la-milpa-SSA.pdf
- UN-Habitat. (2021). Global Environment for Cities-GEO for Cities: Towards Green and Just Cities. UNEP, Nairobi. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37413/GEOcities.pdf
- Veeramani, A., Dias, G. M., & Kirkpatrick, S. I. (2017). Carbon footprint of dietary patterns in Ontario, Canada: A case study based on actual food consumption. Journal of cleaner production, 162, 1398-1406. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.025
- Viera, M. E. D., Smeets-Kristkova, Z., Castellanos-Gutierrez, A., Batis, C., van den Berg, M., & Cantu, J. C. C. (2023). Economic pathways to healthy, sustainable and culturally acceptable diets in Mexico. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2467242/v1
- Wolfson, J. A., Willits-Smith, A. M., Leung, C. W., Heller, M. C., & Rose, D. (2022). Cooking at Home, Fast Food, Meat Consumption, and Dietary Carbon Footprint among US Adults. International journal of environmental research and public health, 19(2), 853. https://doi.org/10.3390/ijerph1902085

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Retos de la dasonomía urbana derivados del evento meteorológico atípico de junio 2026: Análisis geoespacial y sinergia de factores

Jesús Alejandro Alvarado Martínez

Resumen

El evento meteorológico de junio de 2026 en la Ciudad de México representó una crisis sin precedentes para el arbolado urbano, registrando el colapso de 490 ejemplares. El presente trabajo tiene como objetivo analizar las causas biomecánicas y ambientales de esta pérdida masiva, evaluando la vulnerabilidad del arbolado bajo condiciones de saturación hídrica extrema. La metodología consistió en el análisis de reportes operativos del Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México y datos de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil, cruzando variables meteorológicas con la distribución espacial de los incidentes. Se aplicó un enfoque de dasonomía urbana para identificar mecanismos de falla estructural, tales como los factores hidrofísicos, edafológicos, fisiológicos, de desarrollo urbano, biomecánicos y aerodinámicos.

Los resultados permitieron establecer una zonificación de riesgo, identificando las alcaldías con mayor afectación, entre ellos Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Tlalpan, donde la convergencia de suelos saturados y gestiones fitosanitarias deficientes precipitó el colapso de la infraestructura verde. Se concluye que el arbolado urbano de la CDMX requiere intervenciones basadas en la naturación técnica, que prioricen la selección de especies adecuadas y una gestión preventiva que mitigue los riesgos biomecánicos. La integración de la ciencia agronómica en la planeación territorial urbana es indispensable para garantizar la resiliencia de las ciudades ante la creciente variabilidad climática.

Palabras clave: Dasonomía urbana, naturación, fluidificación edáfica, riesgo biomecánico, CDMX.

Abstrac

The meteorological event of June 2026 in Mexico City represented an unprecedented crisis for the urban forest, resulting in the collapse of 490 specimens. The present work aims to analyze the biomechanical and environmental causes of this massive loss by evaluating the vulnerability of the trees under conditions of extreme water saturation. "The methodology consisted of analyzing operational reports from the Heroic Fire Department of Mexico City and data from the Secretariat of Comprehensive Risk Management and Civil Protection, cross-referencing meteorological variables with the spatial distribution of the incidents. An urban forestry approach was applied to identify structural failure mechanisms, such as hydrophysical, edaphological, physiological, urban development, biomechanical, and aerodynamic factors."

The results allowed for the establishment of risk zoning, identifying the most affected boroughs, including Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, and Tlalpan, where the convergence of saturated soils and deficient phytosanitary management precipitated the collapse of the green infrastructure. It is concluded that the urban forest of Mexico City requires interventions based on technical greening, which prioritize the selection of suitable species and preventive management that mitigates biomechanical risks. The integration of agronomic science into urban spatial planning is essential to guarantee the resilience of cities in the face of increasing climate variability.

Keywords: Urban forestry, greening, soil fluidization, biomechanical risk, Mexico City.

I. Introducción y Marco Teórico

En junio de 2026, durante el Simposio de Enseñanza de la Geografía en la ciudad de Morelia, una inquietud recurrente comenzó a manifestarse a través de diversos canales de comunicación por parte de mis estudiantes: *"Profesor, ¿por qué se están cayendo los árboles en la Ciudad de México?"*. La respuesta inicial podría haber parecido sencilla; sin embargo, desde la perspectiva del análisis espacial y la docencia geográfica, el fenómeno exigía una evaluación más profunda. Las constantes noticias e imágenes compartidas por la comunidad sobre el colapso del arbolado dejaron de ser un evento anecdótico para revelar una crisis latente. Esta investigación nace con un propósito situado: ofrecer una explicación articulada y con rigor técnico para aquellas personas que buscan comprender las dinámicas de su entorno. ¿Qué trascendencia tiene la caída de un árbol en la urbe? Quizá, de forma aislada, el impacto parezca menor, pero la caída de más de 490 ejemplares en un solo mes representa una anomalía que exige ser estudiada.

El arbolado de la Ciudad de México constituye un componente crucial de su infraestructura verde, proveyendo una amplia gama de servicios ecosistémicos indispensables para la habitabilidad y el bienestar social en el entorno urbano[1]. Entre estos beneficios destacan la regulación del microclima, la mitigación de las islas de calor por sombreado y evapotranspiración, la captura de contaminantes atmosféricos y la amortiguación del escurrimiento superficial pluvial[2], [3].

No obstante, a diferencia de los ecosistemas forestales naturales donde los árboles se desarrollan en su hábitat ecológico normal, el bosque urbano de la capital se enfrenta a un entorno altamente artificial y hostil, caracterizado por suelos compactados, pavimentación impermeable y una constante interferencia con la infraestructura gris[3].

Esta precariedad espacial y biomecánica se manifiesta con gravedad durante contingencias climáticas. En junio de 2026, la Ciudad de México experimentó un temporal meteorológico atípico que rompió récords históricos al superar drásticamente la precipitación media mensual de 126 mm, acumulando un volumen absoluto de agua de más de 10.7 millones de metros cúbicos[4], [5]. La confluencia de lluvias torrenciales continuas y ráfagas de viento sostenidas de entre 40 y 50 km/h provocó el colapso de cerca de 490 árboles en diversas demarcaciones de la entidad[5], [6]. Este suceso no representó una pérdida biológica aislada, sino un desastre compuesto que derivó en la trágica pérdida de vidas humanas por aplastamiento e interferencia con infraestructura eléctrica (destacando una muerte por electrocución en la intersección de Querétaro y Medellín en la Roma Norte), lesiones civiles, daños severos a la propiedad privada y la paralización de redes de servicios básicos y movilidad[5], [7].

Ante este escenario, se vuelve evidente que el arbolado público no puede continuar gestionándose bajo visiones puramente ornamentales o mediante intervenciones silvícolas empíricas, inmoderadas y desprovistas de criterios técnicos[8]. El análisis del evento de junio de 2026 exige un marco científico riguroso que articule el diseño de los espacios públicos y la biología del árbol con la evaluación de riesgos biomecánicos y la planificación territorial, permitiendo transitar de una respuesta reactiva de emergencia hacia una gestión técnica preventiva y de mitigación conforme a las normativas ambientales vigentes[9], [10].

2. MATERIALES Y MÉTODO.

Marco Conceptual

La Naturación Urbana como Proceso de Integración Espacial.

La naturación urbana se conceptualiza como el proceso intencionado de reintroducción, integración y fomento de la vegetación en el medio urbano con el fin de restaurar las funciones ecológicas y mejorar de manera integral la calidad ambiental del entorno construido[11]. Este enfoque abarca una gran diversidad de soluciones espaciales basadas en la naturaleza, que van desde el establecimiento del arbolado de alineación en las aceras y camellones, hasta la creación de parques públicos, jardines vecinales y tecnologías verdes avanzadas, tales como cubiertas y fachadas vegetadas[11], [12]. Desde el punto de vista del diseño urbano, la naturación representa el 'qué' y el 'dónde' se incorpora el capital natural dentro de la traza de la ciudad.

Sin embargo, cuando estos procesos de naturación carecen de planificación técnica y científica, se siembran las bases de futuros escenarios de riesgo[11]. La plantación de especies inadecuadas para las aceras (como eucaliptos o fresnos en espacios angostos) o el confinamiento sistemático de las raíces en cajetes reducidos e invadidos por asfalto y concreto restringen drásticamente el volumen de suelo explorable, comprometiendo a largo plazo el anclaje físico y la nutrición de los ejemplares[3], [11].

La Dasonomía Urbana como Disciplina de Gestión y Mitigación de Riesgos.

Como respuesta técnica a las limitaciones de la naturación desplanificada, la dasonomía urbana (*urban forestry*) se define como la ciencia y el arte que se encarga de la planificación, el establecimiento, la conservación, el manejo y la evaluación de la vegetación arbolada en los entornos urbanos y periurbanos[13]. A diferencia de la silvicultura tradicional, cuyo fin primordial es la productividad maderable en rodales forestales, la dasonomía urbana prioriza el bienestar social, la resiliencia del paisaje urbano y la prevención de riesgos ambientales[14]. Dentro de esta disciplina, la evaluación de la estabilidad mecánica de los árboles y la gestión del riesgo por colapso (fallas de raíz, fuste o ramas) representan componentes operativos centrales para garantizar la seguridad de la ciudadanía y la infraestructura física[10], [15].

Contexto Meteorológico

El mes de junio de 2026 se caracterizó por una inestabilidad hidrometeorológica que superó ampliamente las medias históricas de la cuenca del Valle de México, las cuales se sitúan en torno a los 126 mm[19]

Condiciones Sinópticas y Microclimáticas

- **Escala nacional:** El territorio mexicano experimentó una inestabilidad impulsada por la interacción de canales de baja presión con flujos continuos de humedad provenientes del Golfo de México y el Océano Pacífico. Esto fue potenciado por las tormentas tropicales Boris (activa desde el 8 de junio en el Pacífico) y Arthur (activa a mediados de mes en el Golfo). [19]
- **Escala local y orográfica:** A nivel microclimático, la orografía de la cuenca forzó a las masas de aire cálido y húmedo a elevarse al chocar con las barreras montañosas del sur y poniente de la capital. Al enfriarse rápidamente, desataron lluvias orográficas torrenciales focalizadas en alcaldías como Tlalpan y Miguel Hidalgo. [19]

- **Dinámica de vientos:** El temporal estuvo acompañado de ráfagas sostenidas de entre 40 y 50 km/h. Estas rachas, al interactuar con las copas de los árboles

saturadas por el sobrepeso húmedo, multiplicaron el momento de flexión (efecto vela) sobre los fustes. [16]



Figura 1. Boletín oficial de actualización de Alerta Naranja y Amarilla por pronóstico hidrometeorológico severo (lluvias de 15 a 29 mm, vientos fuertes y granizo) en la Ciudad de México, emitido el 11 de junio de 2026. El documento institucional advierte explícitamente el riesgo asociado de caída de árboles y ramas en once alcaldías de la capital. Fuente: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (2026).

Análisis pluviométrico, escurrimiento superficial y pérdida de anclaje radicular.

Bajo condiciones meteorológicas habituales, la media histórica de precipitación en junio (aproximadamente 126 mm) se distribuye de manera gradual a lo largo del mes[19]. Esta tasa de lluvia permite que el suelo urbano percole el agua sin saturarse, manteniendo la cohesión y fricción interna necesarias para sostener mecánicamente a los árboles de gran porte[20]

Sin embargo, para comprender por qué el evento de 2026 superó la capacidad de resiliencia del arbolado, la hidrología urbana nos exige diferenciar el comportamiento del agua y aplicar el método racional de escurrimiento. Se analizan dos variables críticas:

- **Precipitación total (Pt):** Representa el volumen absoluto de agua meteórica captada, donde 1 mm equivale a un litro de agua por metro cuadrado.[20]
- **Precipitación directa o a través de dosel (Pd):** Es la fracción de agua de lluvia que no es interceptada por las hojas ni el tronco, logrando atravesar el follaje para convertirse en escurrimiento superficial hacia el suelo o las alcantarillas.[18]

Esta relación se modela mediante el método racional:
$$Pd = C.Pt$$

Donde ***C*** representa el coeficiente de escurrimiento. En un ecosistema forestal natural, el suelo desnudo, la hojarasca y la vasta extensión de raíces absorben el agua, manteniendo un coeficiente bajo. No obstante, en la Ciudad de México, los árboles subsisten en "cajetes" confinados y rodeados de asfalto impermeabilizado, lo que eleva el valor de ***C*** a cifras cercanas a 1.0[20]

Al aplicar esta ecuación al volumen anómalo de precipitación de junio de 2026, el resultado evidencia el colapso del sistema: una cantidad masiva de precipitación directa ***(Pd)*** fue canalizada inmediata y violentamente hacia el reducido espacio radicular de los árboles[20]. Esta inundación súbita desplazó el oxígeno de los macroporos del suelo, provocando su saturación hídrica extrema y la pérdida total de su resistencia al esfuerzo

cortante (fluidificación edáfica)[20]. Factor que retomaremos más adelante. Es precisamente este cálculo el que nos permite comprobar la naturaleza multifactorial de la crisis. El colapso de los 490 ejemplares no fue producto de un solo elemento, sino de una sinergia letal a escala microclimática: el dosel arbóreo sostenía toneladas de peso extra por la precipitación retenida ***(Pt)***; las ráfagas de 50 km/h ejercían un momento de flexión crítico sobre el tronco (efecto vela)[16]; y, de manera simultánea, la base del árbol perdía su anclaje mecánico debido al drástico aumento del escurrimiento superficial ***(Pd)*** que transformó el suelo de soporte en fango[20].

3. Metodología de Procesamiento y Análisis Espacial

Limitaciones en la Adquisición de Datos y Trabajo de Gabinete

La cifra de 490 árboles derribados durante las tormentas de junio de 2026 representa una aproximación rigurosa obtenida mediante el cruce de bases de datos operativas[21].

La consolidación de este inventario de daños enfrentó limitaciones significativas debido a la falta de disponibilidad de información unificada en el portal de transparencia del Gobierno de la Ciudad de México[21]. Ante la ausencia de una cartografía oficial pública en tiempo real, el rastreo de los colapsos requirió solicitudes de información al *Centro de Comando, Control, Cómputo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano* **(C5)**[21]. Dicha instancia determinó que la información geoespacial y operativa se encuentra fragmentada entre diversas dependencias[21]. En consecuencia, la recopilación de datos se nutrió de los registros de atención a emergencias de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (SGIRPC), las bitácoras de seccionamiento y retiro de vialidades del Heroico Cuerpo de Bomberos de la Ciudad de México, el estado fitosanitario reportado por la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), así como los reportes canalizados a través del Sistema Unificado de Atención Ciudadana de los Órganos Políticos Administrativos de las 16 alcaldías[21].

Tipología de Falla en Arbolado Urbano

Para sistematizar los reportes obtenidos de las distintas dependencias, el análisis de las intervenciones de emergencia requiere diferenciar la tipología de la falla estructural[22]. Los factores desencadenantes y las implicaciones geotécnicas varían según la anatomía del fallo, clasificándose en tres categorías principales[23]

- **Desraizamiento o falla de raíz (árbol completo desde raíz):** Ocurre cuando el sistema radicular pierde anclaje con el sustrato, provocando el volcamiento completo del árbol[24]. Este fenómeno se vincula con la saturación hídrica del suelo, la falta de espacio de desarrollo radicular en entornos urbanos, la compactación o la pudrición de raíces[24].
- **Fractura de fuste o tronco (árbol completo):** Consiste en el rompimiento o fisura del tronco principal por encima del nivel del suelo. Esta falla estructural se debe a la degradación interna de la madera (cavidades o pudrición), tensiones mecánicas severas o vientos extraordinarios que superan la resistencia a la flexión del tronco[25].
- **Falla de copa o colapso de ramas (rama caída):** Implica el desprendimiento de estructuras secundarias o primarias sin afectar el fuste principal ni la estabilidad

del sistema radicular. Se asocia a factores como el sobrepeso por follaje húmedo, vientos ráfaga, mala praxis en poda o tensiones en uniones débiles[23]

Criterios de Inclusión y Depuración de Reportes

Una vez establecida la diferenciación tipológica de las fallas estructurales, fue posible sistematizar la cuantificación de los siniestros ocurridos durante las tormentas de junio. Es imperativo señalar que, en el contexto de la gestión de emergencias urbanas, un mismo evento de colapso es frecuentemente notificado de manera múltiple por distintos ciudadanos a través de las diversas plataformas de atención. Por consiguiente, el tratamiento de las bases de datos requirió un riguroso proceso de depuración espacial y temporal para descartar incidencias duplicadas.

Para la consolidación de este inventario final, los criterios de inclusión en el conteo abarcaron exclusivamente aquellos eventos con un impacto significativo en la infraestructura urbana: colapsos totales por desraizamiento, especímenes con fractura de fuste, y fallas de copa que involucraron ramas de gran dimensión, cuya caída provocó la obstrucción total o parcial de vialidades y exigió maniobras de seccionamiento mecánico por parte de los cuerpos de emergencia.

Cuantificación del Daño y Análisis Espacial

La identificación espacial de las zonas críticas y la estructuración del mapa de riesgos requirieron la aplicación de un protocolo metodológico formalizado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis espacial estadístico[26]. El procesamiento constó de las siguientes etapas:

a) **Recopilación y limpieza de datos:** Se ingirieron los reportes de llamadas de emergencia del Heroico Cuerpo de Bomberos y de la SGIRPC. El archivo tabular original fue filtrado programáticamente en lenguaje Python con la biblioteca pandas para eliminar registros inconsistentes, duplicados o fuera del horizonte de tiempo[26].
b) **Geocodificación automatizada:** A partir del campo de dirección, se ejecutó un algoritmo mediante APIs geográficas para asociar a cada registro un par de coordenadas decimales. La base espacial fue proyectada cartográficamente al sistema UTM Zona 14 Norte con el datum WGS 84 (EPSG:32614), garantizando la correcta medición métrica[26].
c) **Análisis de cruce y superposición:** La capa de colapsos se superpuso con capas vectoriales que incluyeron la traza urbana, áreas impermeabilizadas del suelo, traza aérea del cableado de distribución de la CFE y polígonos delegacionales[26]

Fecha (Junio 2026)	Tipo de Tormenta	Árboles Derribados	Alcaldías con Mayor Registro
3 de junio	Lluvia intensa (madrugada)	33	Generalizado
9 de junio	Lluvias fuertes	93	Generalizado
11 y 12 de junio	Tormenta severa (Alerta roja)	119	Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc
13 de junio	Lluvias continuas	80	Tlalpan y zona Sur
25 de junio	Lluvias fuertes	34	Tláhuac, Cuauhtémoc, Benito Juárez
26 de junio	Tormenta nocturna	26	Generalizado
28 de junio	Tormenta histórica	26	Diversas alcaldías
29 y 30 de junio	Tormenta eléctrica y granizo	79	Diversas alcaldías
TOTAL	**Mes atípico**	**490**	**Alerta Máxima**

Tabla 1. Recuento cronológico de daños en el arbolado urbano durante el mes de junio de 2026. La tabla sintetiza los incidentes reportados a los servicios de emergencia, desglosados por tipo de fenómeno hidrometeorológico y alcance geográfico. Se

observa un total acumulado de 490 colapsos significativos. Fuente: Elaboración propia a partir del cruce de bases de datos operativas de la SGIRPC, Heroico Cuerpo de Bomberos y reportes de alcaldías (2026).

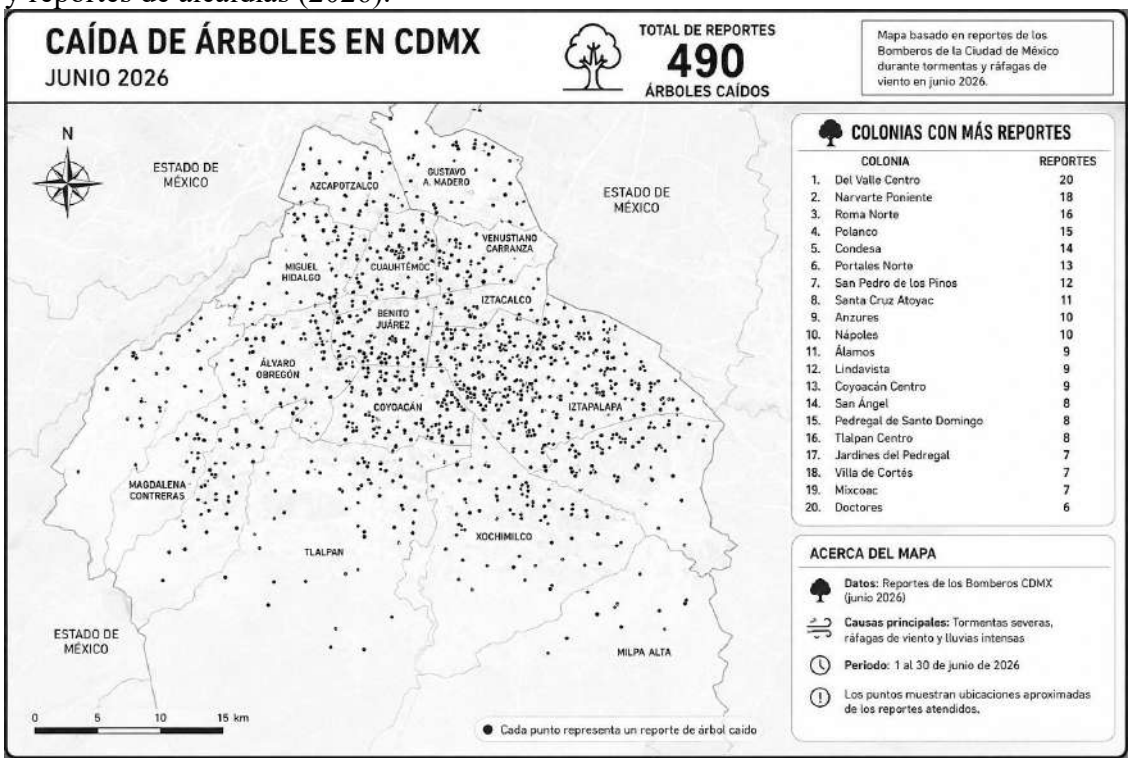


Figura 2. Mapa de incidencia: 490 árboles caídos en CDMX en junio de 2026. La visualización destaca las colonias con mayor número de reportes, siendo Del Valle Centro, Narvarte Poniente y Roma Norte las zonas más afectadas. Fuente: Elaboración propia a partir del cruce de bases de datos operativas de la SGIRPC, Heroico Cuerpo de Bomberos y reportes de alcaldías (2026).

Impacto Ambiental

Para cuantificar el daño ambiental derivado de la caída de 490 árboles en la Ciudad de México durante junio de 2026, es necesario evaluar la pérdida bajo dos universos arbóreos distintos que nos ayudarán a determinar las bases poblacionales.

- **Arbolado urbano (zonas construidas, calles, parques y camellones):** Se toma como referencia la cifra base de **3.5 millones de árboles**, derivada de las estimaciones del inventario de arbolado urbano de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)[27].
- **Arbolado total de la entidad (incluyendo Suelo de Conservación):** Se consideran **>30 millones de árboles**, integrando las áreas naturales protegidas y bosques del sur y poniente (Ajusco, Desierto de los Leones, Dinamos).

Cálculo de proporciones porcentuales

$$\text{Porcentaje en zona urbana} = \left(\frac{490}{3{,}500{,}000}\right) \times 100 \approx 0.0140\%$$

$$\text{Proporción de frecuencia urbana} = \frac{3{,}500{,}000}{490}$$

$$\approx 7{,}142 \quad \text{(Aproximadamente 1 de cada 7,140 árboles)}$$

$$\text{Porcentaje en el total de la CDMX} = \left(\frac{490}{30{,}000{,}000}\right) \times 100 \approx 0.00163\%$$

En primer lugar, dentro del arbolado urbano (zonas construidas, parques y camellones), que se estima en 3.5 millones de árboles, la pérdida representa aproximadamente el 0.014% del total, lo que equivale a la remoción de uno de cada 7,140 ejemplares[28]. En segundo lugar, al considerar el arbolado total de la entidad —el cual incluye el suelo de conservación y las áreas naturales protegidas, sumando más de 30 millones de árboles—, esta cifra representa menos del 0.0016% de la masa vegetal del territorio capitalino[29].

Respecto a la biomasa, el cálculo se fundamenta en ecuaciones alométricas estándar para especies de clima templado-suburbano[30]. Dado que un árbol urbano maduro (con un Diámetro a la Altura del Pecho promedio de 35 a 50 cm) concentra entre 1.5 y 2.5 toneladas de biomasa fresca aérea[31], se estima que el volumen perdido asciende a un rango de 735 a 1,225 toneladas frescas (equivalentes a 367.5 - 612.5 toneladas de biomasa seca). Para dimensionar este impacto, dicha pérdida representa entre el 3% y el 5% de la biomasa total de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec[32]. A pesar de que, a nivel macroecológico, esta pérdida constituye una fracción porcentual mínima, es imperativo destacar que el impacto en el microclima urbano inmediato es significativo. La supresión de estos ejemplares altera la provisión de servicios ecosistémicos locales, tales como la infiltración de agua, la mitigación de islas de calor y la regulación de la temperatura en el entorno inmediato de las manzanas afectadas.[33]

Tipología y Vulnerabilidad Específica del Arbolado Afectado

Es necesario analizar el perfil botánico y estructural de los ejemplares que cayeron. Con base en los registros de atención a emergencias y diagnósticos forestales, las afectaciones se concentraron en dos grandes rubros: especies con caídas confirmadas y aquellas catalogadas en "foco rojo" por infestación de plagas y deterioro fitosanitario.[34]

1. Especies con caídas confirmadas:

- **Cedro (*Cupressus lusitanica*):** Ejemplares de hasta 12 metros de altura y 50 cm de diámetro. Su vulnerabilidad principal radica en un sistema radical de desarrollo predominantemente superficial, el cual pierde tracción de manera crítica al saturarse el suelo.
- **Olmo Chino (*Ulmus parvifolia*):** Ejemplares masivos de hasta 12 metros de altura y 1 metro de diámetro. Su gran masa leñosa y densidad de follaje generan un alto coeficiente aerodinámico ("efecto vela"), lo que produce un momento de torsión extremo sobre la base del tronco durante las ráfagas de viento.
- **Trueno (*Ligustrum lucidum*):** Árboles de hasta 15 metros de altura. Al encontrarse confinados de forma masiva en cajetes urbanos estrechos, desarrollan raíces limitadas que facilitan el vuelco ante la pérdida de cohesión del sustrato.[35]

2. Especies en "Foco Rojo" (Vulnerables por plagas y patógenos):

- **Colorín, Fresno, Eucalipto y Pino:** Estas especies concentran la mayor tasa de fragilidad estructural en la capital debido a la incidencia acumulada de plagas y patógenos urbanos —tales como el gusano barrenador, el muérdago, la conchuela del eucalipto y hongos lignívoros (*Ganoderma*)—. Estos agentes degradan la madera interna de los fustes y pudren las raíces, reduciendo drásticamente su resistencia mecánica y convirtiéndolas en "trampas de riesgo" ante tormentas severas.

Informes de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) señalan que una proporción significativa del arbolado adulto en la Ciudad de México presenta condiciones declinantes por envejecimiento y estrés urbano, lo que multiplica exponencialmente la probabilidad de colapso durante eventos hidrometeorológicos extremos.[36]

Impacto Socioeconómico y Protección Civil

El evento hidrometeorológico extremo, no solo evidenció la fragilidad biomecánica del arbolado urbano, sino que detonó una crisis socioeconómica de considerables dimensiones[34]. El colapso de estos árboles generó costos imprevistos que recayeron directamente sobre la ciudadanía y la infraestructura urbana, siendo las zonas de topografía compleja, como Santa Fe, Cuajimalpa y Álvaro Obregón, las de mayor vulnerabilidad[35].

Desde una perspectiva económica, la falla estructural de los ejemplares provocó daños materiales severos, destacando el aplastamiento de vehículos particulares y daños a viviendas e infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones[36]. Considerando que un solo ejemplar sano de gran tamaño puede alcanzar un valor de hasta $450,000 MXN por sus servicios ecosistémicos[37], y que el costo promedio para reparar un vehículo siniestrado oscila entre los $3,500 y $25,000 MXN[38], la falta de gestión preventiva representa una carga financiera que supera las inversiones anuales de aseguramiento patrimonial gubernamental, las cuales han alcanzado hasta $380,960,301 MXN en años recientes[39].

Lamentablemente, el impacto superó lo material, cobrando un costo humano irreparable. Se documentó el fallecimiento de un transeúnte de 29 años por electrocución en la colonia Roma Norte, derivado de la caída de cableado de media tensión, así como múltiples lesionados por el desplome de ejemplares sobre vehículos en tránsito, como ocurrió en la colonia Tabacalera[40]. Ante la crisis, se evidenció una profunda brecha de información y vulnerabilidad administrativa. A pesar de los mecanismos de aseguramiento existentes, la burocracia y el desconocimiento ciudadano dificultaron la reparación oportuna del daño, lo que forzó la intervención del Congreso de la Ciudad de México. El 24 y 27 de junio de 2026, el legislativo emitió exhortos formales para exigir a las autoridades y alcaldías la simplificación de trámites de indemnización, subrayando que la deficiencia en la atención pericial agravó el estrés financiero y psicosocial de los damnificados[41] En conjunto, estos eventos confirman que la carencia de un enfoque preventivo en dasonomía urbana constituye un riesgo directo de protección civil que profundiza la desigualdad ambiental en la capital.

Sinergia de Factores en el Colapso Arbóreo

La caída masiva de estos árboles durante la contingencia hidrometeorológica no obedeció a una causa aislada, sino a una compleja **interacción sinérgica** entre el medio físico (relieve y suelo), la dinámica atmosférica (precipitaciones y vientos) y las condiciones biológicas y estructurales del arbolado.

Dada la naturaleza sistémica del arbolado urbano, un mismo ejemplar pudo experimentar de manera simultánea múltiples o la totalidad de estos factores, donde el debilitamiento

subterráneo colisionó directamente con las fuerzas mecánicas externas. A continuación, se desglosan los seis factores clave que conformaron esta cadena de falla:

Factor	Concepto	Definición
1. Hidrofísicos	Saturación hídrica	Acumulación excesiva de agua en el suelo que rebasa su capacidad de retención, incrementando drásticamente el peso específico del terreno y reduciendo de manera crítica la fricción interna entre las partículas de suelo.
2. Edafológicos	Fluidificación edáfica	Pérdida de cohesión y resistencia estructural del sustrato debido al exceso de humedad, lo que provoca que el suelo adquiera un comportamiento plástico o semilíquido incapaz de sostener el anclaje mecánico de las raíces.
3. Fisiológicos	Asfixia radicular	Bloqueo del intercambio gaseoso en la rizósfera provocado por el encharcamiento prolongado, deteniendo la respiración celular de las raíces, inhibiendo la absorción de nutrientes y provocando la necrosis prematura del sistema radical.
4. Desarrollo Urbano	Restricción de crecimiento	Confinamiento espacial severo impuesto por planchas de concreto, banquetas estrechas y cajetes reducidos, lo que impide el desarrollo horizontal y profundo de las raíces, generando sistemas superficiales lábiles y propensos al vuelco.
5. Biomecánicos	Falla biomecánica	Incapacidad estructural del fuste, la horquetadura o el sistema radical para soportar las tensiones físicas y los momentos de flexión externos, derivando en la fractura del tronco o el descalce total de la cepa.
6. Aerodinámicos	Efecto Vela	Presión extrema ejercida por ráfagas de viento sobre una copa densa y con follaje pesado, la cual actúa como una vela y genera un brazo de palanca de alta torsión sobre la base y el tronco del ejemplar.

Tabla 2. Matriz de factores sinérgicos en el colapso del arbolado urbano de la Ciudad de México (junio de 2026). La interacción simultánea de variables hidrofísicas, edafológicas, fisiológicas y mecánicas explica la vulnerabilidad estructural ante eventos meteorológicos extremos. Elaboración propia basada en la integración de inventarios forestales, diagnósticos de infraestructura verde de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA, 2018, 2021), reportes de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT, 2020) y principios de dasonomía urbana y biomecánica de árboles.

Gestión, Destino y Costos de los Residuos Arbóreos

La atención operativa del colapso masivo requirió la intervención coordinada del Heroico Cuerpo de Bomberos y la SGIRPC para el control inicial de emergencias, mientras que las 16 Alcaldías y la SOBSE asumieron la recolección y transporte, con la supervisión de la SEDEMA. La biomasa forestal fue canalizada a centros de acopio y plantas de compostaje para su trituración en *mulch* o abono orgánico destinado a la restauración de áreas verdes. Operativamente, el costo de retiro, transporte y procesamiento oscila entre $800 y $1,500 MXN por tonelada, lo que representó un desembolso extraordinario de cientos de miles de pesos para el erario ante las 735 a 1,225 toneladas frescas generadas.[42]

Conclusiones

El análisis del evento meteorológico de junio de 2026 en la Ciudad de México demuestra que el colapso de 490 árboles no constituyó una anomalía climática aislada, sino la manifestación crítica de una vulnerabilidad sistémica estructural. La confluencia simultánea de precipitaciones extremas, ráfagas de viento y suelos urbanos severamente impermeabilizados superó el umbral de resistencia mecánica del arbolado. Se confirmó que factores como la saturación hídrica, la fluidificación edáfica, la asfixia radicular y el confinado crecimiento en cajetes urbanos estrechos actúan de manera sinérgica, potenciando el "efecto vela" y provocando fallas masivas por desraizamiento y fractura

de fuste, con repercusiones fatales para la protección civil y graves costos socioeconómicos para los capitalinos.

Recomendaciones

Se exhorta a las autoridades de la Ciudad de México y a las 16 alcaldías a transitar de un modelo de gestión reactiva a una estrategia preventiva basada en la dasonomía urbana y la naturación técnica. Es indispensable implementar peritajes fitosanitarios regulares mediante tecnologías no destructivas, sustituir progresivamente las especies en "foco rojo" por ejemplares nativos de raíces profundas y sistemas adaptados a la topografía local, ampliar los cajetes de infiltración en planchas de concreto y fortalecer los mecanismos de difusión y agilización de indemnizaciones patrimoniales para proteger a la ciudadanía ante futuras contingencias climáticas.

Agradecimientos

Agradezco a mi alumna **Alejandra Novelo** por inspirar este trabajo con su pregunta en el Simposio de Morelia, y al **Lic. Alejandro Ramos Trejo** por su constante estímulo para presentarlo en este congreso.

Literatura Citada

- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J., Velázquez-Martínez, A., & Etchevers-Barra, J. D. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante ecuaciones alométricas en bosques de la cuenca del Valle de México. *Agrociencia*, 36(6), 625-636.
- Alcántara-Ayala, I. (2019). Geomorphological hazards and risk management in urban environments of Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 18(2), 45-68. https://doi.org/10.1353/lag.2019.0025
- Arroyo, J., & Mendoza, R. (2021). Mecánica de suelos y su impacto en la estabilidad de la infraestructura urbana en la Cuenca de México. *Revista Mexicana de Ingeniería Geotécnica*, 12(3), 112-128.
- Benavides-Meza, H. M. (2015). La dasonomía urbana en México: Retos actuales y perspectivas futuras para la sustentabilidad metropolitana. *Madera y Bosques*, 21(número especial), 15-30. https://doi.org/10.21829/myb.2015.210432
- Cabral, P., & Santos, L. (2020). Urban heat islands and vegetation cover dynamics in megacities. *Sustainable Cities and Society*, 54, Article 101984. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101984
- Centro de Comando, Control, Cómputo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano de la Ciudad de México [C5]. (2026). *Reportes estadísticos de atención a emergencias hidrometeorológicas y caída de árboles en junio de 2026*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Congreso de la Ciudad de México. (24 de junio de 2026). Capitalinos deben ser indemnizados por daños ante la caída de árboles: PVEM. Portal Donceles. https://doncelesportal.com.mx/2026/06/24/capitalinos-deben-ser-indemnizados-por-danos-ante-la-caida-de-arboles-pvem/
- Congreso de la Ciudad de México. (27 de junio de 2026). Piden agilizar indemnización a personas afectadas en su patrimonio por la caída de árboles. Coordinación de

Comunicación Social. https://www.congresocdmx.gob.mx/comsoc-piden-agilizar-indemnizacion-personas-afectadas-su-patrimonio-por-caida-arboles-7628-1.html

- Congreso de la Ciudad de México. (2026). *Informe financiero sobre asignaciones presupuestales para servicios urbanos y atención de emergencias ambientales*. Gaceta Parlamentaria de la Ciudad de México.
- Del Teso, C., & Galán, J. (2022). Biomecánica del arbolado urbano: Criterios de evaluación de riesgo de caída y fractura en fustes. *Revista Española de Arboricultura*, 8(1), 34-50.
- Domínguez, M., & Sánchez, L. (2023). Vulnerabilidad del arbolado urbano ante eventos meteorológicos extremos en zonas tropicales y templadas de México. *Investigaciones Geográficas*, 109, e106208. https://doi.org/10.14350/rig.106208
- Durán, R., & García, E. (2018). *Suelos urbanos y su interacción con el sistema radical de especies introducidas en la Ciudad de México*. México: UNAM / Editorial Plaza y Valdés. p. 112.
- El Financiero. (22 de septiembre de 2023). ¿Le cayó un árbol a tu carro? En esto te va a salir el 'chistecito' de la naturaleza. https://www.elfinanciero.com.mx/mis-finanzas/2023/09/22/le-cayo-un-arbol-a-mi-carro-lo-cubre-el-seguro-cuanto-costara-reponer-el-golpe/
- El Universal. (22 de noviembre de 2025). Paga la CDMX 23.6 mdp por daños a automóviles. https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/paga-la-cdmx-236-mdp-por-danos-a-automoviles/
- Escalona Reza, H. (25 de junio de 2026). Un muerto y 25 árboles caídos fue el saldo de las intensas lluvias de ayer. La Prensa. https://oem.com.mx/la-prensa/metropoli/un-muerto-y-25-arboles-caidos-fue-el-saldo-de-las-intensas-lluvias-de-ayer-30761637
- Flores-Verdugo, F., & Zambrano, L. (2021). Hidrología urbana y gestión de cuencas en el Valle de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(4), 89-115. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-04-04
- García, R., & Martínez, J. (2020). *Efecto vela y resistencia aerodinámica en arbolado urbano de gran altura*. México: IPN. pp. 45-52.
- González, H., & Pérez, A. (2019). Intercepción de lluvia y escurrimiento en doseles urbanos de la Ciudad de México. *Agrociencia*, 53(2), 199-214.
- Gutiérrez, M., & Torres, P. (2024). Variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos en la cuenca del Valle de México. *Investigaciones Geográficas*, 111, e60542. https://doi.org/10.14350/rig.60542
- Hernández, J., & Ramírez, G. (2022). Dinámica de la infiltración y saturación hídrica en suelos compactados urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38(3), 301-315. https://doi.org/10.20937/RICA.54321
- Instituto de Geografía [UNAM]. (2025). *Atlas de peligros y riesgos socioambientales de la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- La Prensa. (2 de junio de 2026). Deslaves, caída de árboles y autos varados tras lluvia con granizo en Cuajimalpa y Huixquilucan. Organización Editorial Mexicana.

https://oem.com.mx/la-prensa/metropoli/deslaves-caida-de-arboles-y-autos-varados-tras-lluvia-con-granizo-en-cuajimalpa-y-huixquilucan-30321270

- La Silla Rota. (26 de junio de 2026). Cada 74 minutos cae un árbol en CDMX: van 488 en junio por lluvias. https://lasillarota.com/metropoli/2025/6/26/cada-74-minutos-cae-un-arbol-en-cdmx-van-488-en-junio-por-lluvias-454544.html
- López, S., & Morales, C. (2021). Fallas radiculares y su relación con la infraestructura gris en zonas metropolitanas. *Bosque (Valdivia)*, 42(1), 77-88. https://doi.org/10.4067/S0717-92002021000100077
- Los Reporteros MX. (3 de agosto de 2026). Caída de árboles supera inundaciones en CDMX. https://www.losreporteros.mx/caida-de-arboles-supera-inundaciones-en-cdmx
- Martínez, A., & Vargas, J. (2023). Aplicación de sistemas de información geográfica en la gestión de riesgos de arbolado urbano. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 15(2), 45-62.
- Mendoza, L., & Ríos, E. (2020). Diagnóstico fitosanitario del arbolado vial en el poniente de la Ciudad de México. *Fitopatología Mexicana*, 28(2), 101-114.
- Morales L., Domínguez A., Sánchez C., Alcántara B., Cruz H., Echeverría M. (2001). *Lengua y Comunicación*. México: Porrúa. p. 45.
- Notiver. (3 de junio de 2026). ¡Se registraron más de diez millones de metros cúbicos de precipitaciones en la CDMX! https://www.notiver.com/nacionales/se-registraron-mas-de-diez-millones-de-metros-cubicos-de-precipitaciones-en-la-cdmx/
- Pérez, R., & Castillo, D. (2019). Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa y carbono en bosques templados periurbanos. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511785. https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511785
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México [PAOT]. (2020). *Informe sobre la situación del arbolado urbano y las áreas verdes en la Ciudad de México*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Ramírez, C., & Silva, M. (2022). Patógenos y plagas emergentes en la infraestructura verde urbana de la CDMX. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 40(1), 88-104. https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2112-5
- Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil [SGIRPC]. (2026). *Protocolo de actuación institucional ante el colapso de infraestructura urbana y arbolado por fenómenos hidrometeorológicos*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría de Obras y Servicios [SOBSE]. (2025). *Lineamientos para el manejo, recolección y disposición de biomasa forestal urbana en la Ciudad de México*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA]. (2018). *Inventario de árboles urbanos y diagnóstico de la infraestructura verde de la Ciudad*

de México. Dirección General de Sistema de Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Valor Ambiental.

- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA]. (2021). *Estrategia de Infraestructura Verde de la Ciudad de México 2020-2030*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA]. (2023). *Manual de operación de centros de acopio y plantas de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA]. (2024). *Programa de Saneamiento y Sustitución del Arbolado en Riesgo*. Gobierno de la Ciudad de México.
- Silva, E., & Garcés, F. (2021). Vulnerabilidad socioambiental y distribución espacial de las islas de calor en la Ciudad de México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 78, 145-168. https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000100145
- Valdez-Lazalde, J. R., & De los Santos-Posadas, H. M. (2015). *Estimación de biomasa y carbono almacenado en el arbolado de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec*. Universidad Autónoma Chapingo / Gobierno de la Ciudad de México.
- Vázquez, M., & Hernández, P. (2023). Gestión integral de riesgos urbanos y protección civil ante desastres hidrometeorológicos. *Gestión y Política Pública*, 32(1), 213-245. https://doi.org/10.29265/gypp.v32i1.1024
- Zhang, D. Z., & Peng, Z. R. (2014). Near-road fine particulate matter concentration estimation using artificial neural network approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(8), 2403-2412. https://doi.org/10.1007/s13762-014-0565-4

Línea de Investigación

SABERES LOCALES Y ORGANIZACIÓN COMUNITARIA

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Cultivar junto al mar: memoria agraria, agricultura familiar y reconfiguración productiva en Playa Cangrejo, Oaxaca

Piedad Manuela Sánchez Martínez[1], Faustino Benjamín Rivera López[2] y Marcos Pedro del Carmen Ramírez López[3]

Resumen

Los cambios en el medio rural contemporáneo no implican necesariamente la desaparición de la agricultura, sino arreglos productivos en los que el cultivo, los servicios y otras fuentes de ingreso se articulan de manera desigual dentro de una misma trayectoria familiar. Este trabajo analiza esa reconfiguración en Playa Cangrejo, enclave costero de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, para reconstruir su antecedente agrario, caracterizar la agricultura documentada y establecer el alcance empírico de su coexistencia con el turismo. Se realizó un estudio de caso cualitativo mediante reanálisis temático de ocho registros etnográficos generados entre abril y mayo de 2026: conversaciones naturalísticas, entrevistas semiestructuradas y un recorrido comentado. Las transcripciones fueron la evidencia primaria. Como el discurso se concentra en una voz principal, la unidad de análisis es la trayectoria de una red familiar y no la localidad en su conjunto. La tradición oral ubica el origen de la propiedad en la dotación ejidal que recibió la generación de los padres y reconoce un uso agrícola previo a la apertura de los servicios de playa, situada entre finales de los setenta y principios de los ochenta. En los registros de 2026 se confirmaron maíz, ejotes, calabaza, mango, plátano, coco y guayaba, descritos como producción para el consumo doméstico. No hay datos de superficie, rendimiento, trabajo, ingresos ni continuidad entre generaciones. El caso refleja una reconfiguración productiva territorial y no una sustitución lineal: la agricultura continúa como práctica material de escala familiar y como memoria que ordena la lectura del territorio.

Palabras clave: agricultura familiar; consumo doméstico; memoria agraria; reconfiguración productiva; turismo costero.

Abstract

Contemporary rural transformations do not necessarily entail the disappearance of agriculture. Instead, they may produce uneven arrangements in which farming, services, and other income-generating activities coexist within the same family trajectory. This paper examines such a process in Playa Cangrejo, a coastal enclave in Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, Mexico. Its objectives are to reconstruct the site's agrarian background, characterize the farming practices documented at present, and delimit the empirical scope of their coexistence with tourism. A qualitative case study was conducted through a thematic reanalysis of eight ethnographic audio records produced between April

[1] Maestría en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correo: m25160043@itoaxaca.edu.mx.

[2] Programa de Estancias Posdoctorales por México, SECIHTI. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correo: d20161938@itoaxaca.edu.mx. ORCID 0009-0004-1769-6152. Autor de correspondencia.

[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca. Av. Ing. Víctor Bravo Ahuja núm. 125, esq. Calzada Tecnológico, C. P. 68030, Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. Correo: marcos.rl@itoaxaca.edu.mx.

and May 2026, including naturalistic conversations, semi-structured interviews, and a guided walk-through. Transcripts were treated as primary evidence. Because the discursive material is concentrated in one principal voice, the unit of analysis is the trajectory of a family network rather than the locality as a whole. Oral memory links the plot to an ejidal allocation received by the paternal generation and identifies agricultural use prior to the development of beach services, approximately situated between the late 1970s and the first half of the 1980s. The 2026 records confirm maize, green beans, squash, mango, plantain, coconut, and guava, described as intended for household consumption. The corpus provides no data on cultivated area, yields, labor, dietary contribution, income, or intergenerational continuity. The case is interpreted as a territorial productive reconfiguration rather than a linear replacement: agriculture persists both as a material family-scale practice and as an agrarian memory that structures the interpretation of territory.

Keywords: agrarian memory; coastal tourism; family farming; household consumption; productive reconfiguration.

Introducción

Las transformaciones de los espacios rurales latinoamericanos han debilitado la equivalencia histórica entre ruralidad, agricultura y campesinado. El aumento del empleo no agrario, la movilidad de la fuerza de trabajo, la prestación de servicios y la diversificación de los ingresos han configurado territorios donde la agricultura puede disminuir, persistir o adquirir nuevas funciones, sin desaparecer del todo (Appendini y Torres-Mazuera, 2008; Carton de Grammont, 2009, 2010; Kay, 2008). Dentro de este marco, interpretar todo crecimiento del sector servicios como una sustitución automática de la agricultura deriva en simplificaciones analíticas, particularmente, en las unidades domésticas que combinan actividades de distinta escala y visibilidad.

Los enfoques de medios de vida han demostrado que los hogares rurales movilizan recursos naturales, humanos, sociales, físicos y financieros para construir sus portafolios de reproducción social, sujetos a restricciones territoriales e institucionales (Bebbington, 1999; Ellis, 2000; Scoones, 1998). El que convivan las actividades, sin embargo, no evidencia por sí sólo una estrategia plenamente coordinada ni permite estimar el peso de cada componente. Para establecer si la agricultura opera como principal sustento, complemento alimentario, reserva territorial o práctica ocasional se necesitan datos sobre trabajo, producción, circulación y consumo que no siempre se encuentran en los estudios exploratorios. En la costa de Oaxaca, la probabilidad de que un hogar se incorpore al ecoturismo comunitario aumenta cuando dispone de integrantes jóvenes, tiene cubiertas sus necesidades básicas y mantiene una pequeña producción agrícola (Ávila-Foucat et al., 2021), y la diversificación hacia el turismo de naturaleza depende de activos como la tierra, la pertenencia a organizaciones y las transferencias públicas (Avila-Foucat y Rodríguez-Robayo, 2018).

La agricultura familiar plantea una dificultad conceptual análoga. No es sinónimo de agricultura de pequeña escala ni de producción para el autoconsumo: incluye unidades heterogéneas que organizan su gestión, trabajo y patrimonio en torno a las relaciones familiares, con diferentes niveles de integración mercantil y consumo doméstico (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2014; Graeub et al., 2016; Lowder et al., 2016). Por lo tanto, la destinación doméstica de una cosecha es un dato importante, pero

no suficiente para inferir autosuficiencia alimentaria, eficiencia económica o estabilidad productiva.

En los territorios costeros, esta discusión se cruza con la expansión turística, los cambios en el uso del suelo, las presiones sobre el agua y la exposición a dinámicas litorales. La costa de Oaxaca tiene ejemplos de destinos donde el turismo ha reordenado la economía local y ha intensificado tensiones socioambientales (Rubio Carriquiriborde, 2017). Al mismo tiempo, los resultados de la investigación geomorfológica demuestran que los procesos de erosión y acreción son espacialmente heterogéneos, por lo que sus efectos no pueden extrapolarse de una localidad a otra sin mediciones específicas (Acevedo-Granados et al., 2025). Entre 1973 y 2020 el litoral oaxaqueño estuvo dominado por la acreción (74 % de la línea de costa), con la mayor variabilidad en bocas estuarinas y playas y una tendencia prevista al retroceso en su porción sur (Godwyn-Paulson et al., 2021).

Playa Cangrejo es un enclave costero que depende de la agencia municipal de Morro de Mazatán, en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca (Figura 1). El enclave está conformado por una red de establecimientos familiares de alimentación, hospedaje y servicios de playa asentados en un espacio cuya historia oral hace referencia a un uso agrario previo. Esta trayectoria ofrece la posibilidad de examinar, a escala microlocal, cómo la memoria de la tierra, la permanencia de ciertos cultivos y la actividad turística se articulan dentro de un mismo territorio familiar.

La pregunta que guía el estudio es: ¿de qué forma se relacionan la memoria agraria, la pervivencia de cultivos para autoconsumo y la incorporación del turismo en la trayectoria productiva de la red familiar estudiada? El objetivo general es reconstruir esa trayectoria, caracterizar la agricultura documentada en los registros de campo y delimitar el alcance de las inferencias sobre su función económica, alimentaria y territorial. El aporte central consiste en desplazar la narrativa de una transición lineal "de la milpa al turismo" hacia el concepto de reconfiguración productiva, entendida como una modificación de las funciones y usos del territorio que no supone la eliminación total de las actividades precedentes. Como proposición analítica orientadora —formulada en lugar de una hipótesis estadística, dado el diseño cualitativo— se plantea que en Playa Cangrejo la continuidad de la agricultura familiar no responde a una sustitución lineal por el turismo, sino a arreglos domésticos que articulan memoria agraria, cultivo para el consumo propio y adaptación a restricciones territoriales; la proposición se contrasta por consistencia interpretativa con el corpus y no pretende generalización.

Ruralidades contemporáneas, medios de vida y desarrollo territorial

La concepción de nueva ruralidad permitió identificar que la población rural se involucra al mismo tiempo en circuitos agrícolas, laborales, comerciales y de servicios, y que la unidad doméstica no puede ser analizada solo en función del predio cultivado (Kay, 2008). En México, la desagrarización se refiere a la pérdida relativa de importancia económica y ocupacional de la agricultura, pero no significa necesariamente su desaparición material o simbólica (Carton de Grammont, 2009). Carton de Grammont (2010) señala que la pluriactividad y la diversificación de ingresos pueden convivir con procesos de concentración productiva, precarización y desigual acceso a activos. Las trayectorias de hogares rurales oaxaqueños a lo largo de tres décadas muestran que el tipo de apoyo público y los cambios

en la tenencia de la tierra redefinen la combinación de actividades y multiplican los tipos de hogar (Novotny et al., 2021).

Desde la perspectiva de los medios de vida, las actividades se conciben como combinaciones históricas de activos, capacidades e instituciones y no como sectores aislados (Bebbington, 1999; Ellis, 2000; Scoones, 1998). De manera paralela, el desarrollo territorial rural plantea analizar la transformación productiva junto con las relaciones institucionales que organizan el acceso a oportunidades, recursos y mercados en un espacio dado (Schejtman y Berdegué, 2004). En este estudio, la categoría de reconfiguración productiva designa la recomposición de actividades y usos del espacio en el interior de una trayectoria familiar, sin suponer por delante sustitución, complementariedad equilibrada o éxito económico.

Agricultura familiar y consumo doméstico

Es habitual definir a la agricultura familiar por la articulación entre gestión, patrimonio y trabajo de la familia, aunque sus expresiones van desde unidades orientadas principalmente al autoconsumo hasta explotaciones con intensa vinculación mercantil (FAO, 2014; Graeub et al., 2016). Tampoco debe confundirse con la pequeña agricultura: la dimensión del predio y el carácter familiar son atributos relacionados pero conceptualmente distintos (Lowder et al., 2016).

En el caso estudiado no se dispone de medición del trabajo familiar, del valor de la producción ni de su contribución al ingreso. Por tal razón, de forma operativa se utiliza la expresión agricultura familiar orientada al consumo doméstico para referirse a cultivos localizados en un territorio administrado por una red de parentesco, y cuyo destino fue descrito como consumo propio. La categoría permite identificar la escala social y la circulación declarada de los productos, pero no supone autosuficiencia, subsistencia integral o una racionalidad económica homogénea.

La sola presencia de varios cultivos no permite calificar al sistema como agroecológico. La agroecología implica principios de manejo relativos al reciclaje, la reducción de insumos, la salud del suelo, la biodiversidad, las sinergias, la gobernanza y la cocreación de conocimientos entre otros componentes que requieren observación específica (Wezel et al., 2020). Por lo tanto, la diversidad nominal del inventario agrícola se considera un indicio para investigaciones futuras y no una demostración de transición agroecológica.

Memoria agraria, territorialidad y fuente oral

La memoria oral no es una reproducción literal del pasado. Su valor analítico se encuentra tanto en la información que conserva como en la forma en que elige, organiza y da sentido a los acontecimientos (Portelli, 1991). En el ámbito agrario, las narrativas sobre repartimiento, trabajo, lindes y herencia pueden funcionar como estrategias de legitimación territorial, aun cuando la precisión jurídica o cronológica deba corroborarse a través de archivos. En el campo mexicano, los relatos orales sobre tierra y reparto tienden a reconstruirse de modo que sitúan a quien narra como autoridad o protagonista, por lo que registran percepciones presentes del pasado antes que hechos verificados (Perramond, 2001); y tras la reforma agraria de 1992, las categorías locales de propiedad conviven con la ley en disonancias normativas documentadas para el sur indígena del país (Torres-Mazuera, 2016).

En el presente trabajo, la memoria agraria se entiende como el conjunto de relatos a través de los cuales la red familiar conecta su presencia actual con la historia productiva del predio. Se diferencian tres planos: a) la memoria de los acontecimientos y usos del suelo; b) la

evidencia contemporánea de los cultivos; y c) las categorías interpretativas de la investigación. Esta distinción tiene como objetivo impedir que expresiones coloquiales como "reparto", "terreno" o "propiedad" se conviertan en figuras legales no documentadas.

Contexto costero y límites de atribución

El corpus incluye observaciones sobre la transformación del litoral, la disponibilidad de agua y los indicadores atmosféricos. La literatura reconoce que las observaciones locales pueden enriquecer el conocimiento de los cambios ambientales, siempre que se documente su base, su distribución social y su correspondencia con mediciones instrumentales (Berkes, 2018; Reyes-García et al., 2023; Savo et al., 2016). Sin embargo, no se puede observar en los materiales disponibles una relación directa entre esos saberes y las decisiones agrícolas del caso.

De allí que la dinámica costera se incorpore como condición territorial y no como causa probada de cambio agrícola. No se han registrado pérdidas de superficie cultivada, salinización de suelos, cambios en los calendarios, disminuciones de rendimientos o abandono de los cultivos a causa del mar. La finalidad de esta frontera analítica es evitar que la evidencia particular del predio sea sustituida por la vulnerabilidad costera general de la región.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Playa Cangrejo está situada en la costa del Pacífico del Istmo de Tehuantepec perteneciente a la agencia municipal de Morro de Mazatán del municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca. El área se localiza entre cuerpos lagunares y el frente marino y se conecta con el núcleo de Morro de Mazatán a través de una vía local. Los Principales resultados por localidad del Censo de Población y Vivienda 2020 permitieron contextualizar el asentamiento, aunque la delimitación estadística no necesariamente coincide con la red social y familiar observada en campo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021).

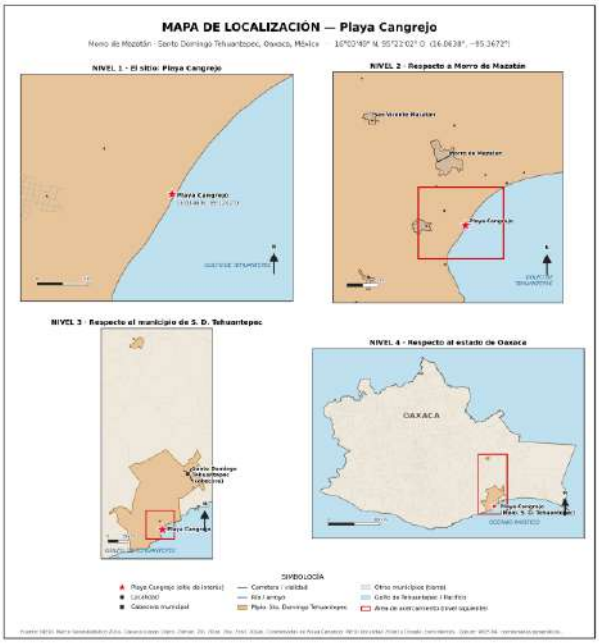


Figura 1. Localización de Playa Cangrejo, agencia municipal de Morro de Mazatán, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca

Fuente: elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2024).

Diseño, corpus y unidad de análisis

Se utilizó un estudio de caso cualitativo de corte etnográfico, adecuado para examinar procesos territoriales situados y reconstruir la relación entre prácticas, narrativas y contexto (Stake, 1995). El corpus está formado por ocho grabaciones de audio recogidas en visitas de campo entre abril y mayo de 2026, con 3 h 54 min de material medidos sobre los archivos originales (234.7 minutos; Cuadro 1). No son ocho entrevistas independientes: en el conjunto se incluyen conversaciones naturalísticas, entrevistas semiestructuradas, continuaciones de una misma sesión y un recorrido comentado con apoyo de mapas y fotografías.

De cada registro se obtuvo una transcripción depurada. Los documentos analíticos preparados durante el procesamiento previo fueron utilizados como recordatorios para localizar pasajes y reconocer hipótesis, pero no se contaron como evidencia igual que la voz grabada. El conteo de palabras por hablante en las ocho transcripciones (18,347 palabras) muestra que 72 % corresponde al interlocutor principal, 25 % al equipo de investigación y 3 % a otras cinco voces de la comunidad; entre las voces locales, la principal concentra 96 %. El conteo se realizó sobre la sección de transcripción de cada documento, excluyendo fichas técnicas, títulos de bloque, marcas de tiempo, etiquetas de hablante y acotaciones entre corchetes; las etiquetas del interlocutor principal se homologaron conforme a las fichas de identificación de hablantes de cada registro, y los conteos absolutos por categoría y grabación se conservan en una nota técnica reproducible. Así, la unidad de análisis es la trayectoria productiva y territorial de una red familiar, reconstruida desde una voz de alta densidad narrativa, sin intención de representar estadísticamente a la población de Playa Cangrejo.

Cuadro 1. Corpus etnográfico: registros, formato, duración medida y uso analítico

Registro	Formato	Duración medida (min)	Contenido dominante	Uso en este análisis
45	Conversación naturalística	19.8	Memoria agraria, dotación ejidal, colindancias	Genealogía agraria
46	Anécdota autocontenida	5.5	Pronóstico empírico del clima, turistas	Contexto costero
47	Entrevista semiestructurada	26.5	Trayectoria del establecimiento	Incorporación del turismo
48	Continuación de sesión	101.7	Servicios, agua, gestión ante autoridades	Reorganización familiar; agua
49	Recorrido comentado	41.0	Cotejo de espacios, parcelas y frutales	Agricultura contemporánea
50	Continuación breve	6.2	Transporte y geografía del acceso	Contexto
51	Registro breve	5.3	Agricultura familiar, reparto paterno	Cultivos y destino
52	Entrevista no estructurada	28.7	Registro fundacional: hospedaje y alimentación	Incorporación del turismo

Fuente: elaboración propia. Duraciones medidas sobre los archivos de audio originales (total 234.7 min); porcentajes de habla calculados sobre las transcripciones depuradas.

Procedimiento analítico y jerarquía de evidencia

El reanálisis se realizó mediante codificación inductiva y categorías orientadoras, respetando los principios de familiarización, generación de códigos, construcción y revisión de temas del análisis temático (Braun y Clarke, 2006). Para reforzar la trazabilidad, se registraron las decisiones analíticas, la procedencia de cada segmento y las discrepancias entre versiones de transcripción, en línea con los criterios de sistematicidad y auditabilidad propuestos por Nowell et al. (2017).

El procedimiento tuvo cinco momentos: a) lectura completa de las transcripciones; b) extracción de los segmentos relacionados con origen agrario, cultivos, destino de la producción, trabajo, tecnología, turismo y ambiente; c) clasificación de cada afirmación según la forma de producción conversacional; d) contraste entre registros y búsqueda de ausencias o casos que limitaran la interpretación; y e) elaboración de matrices de evidencia y alcance. Las respuestas espontáneas y directas tuvieron mayor peso que las respuestas breves de confirmación de opciones sugeridas por la entrevistadora. Las observaciones del equipo de campo fueron guardadas como evidencia visual o contextual y los memorandos interpretativos fueron tratados como hipótesis.

La suficiencia del corpus se examinó con base en su poder informativo y en la especificidad de la pregunta, y no mediante una declaración general de saturación (Malterud et al., 2016). La literatura sobre saturación muestra que su alcance depende de la homogeneidad de la población, los objetivos y la profundidad analítica, por lo que no es apropiado trasladar de forma mecánica umbrales numéricos (Hennink y Kaiser, 2022). El tema agrícola está concentrado en una breve porción del corpus, por lo que los resultados se plantean como hallazgos exploratorios con límites explícitos.

Consideraciones éticas y limitaciones

El manuscrito prescinde de los nombres de los participantes y de los detalles que no son indispensables para el argumento. Por el tamaño reducido del enclave y el carácter potencialmente identificable de la historia territorial, las citas textuales se redujeron al mínimo. Se dispone de un formato de consentimiento informado retrospectivo para el uso académico de las grabaciones 45 a 52 —con opciones de uso del nombre real, seudónimo o uso solo contextual, y derecho de retiro sin perjuicio—, cuya suscripción se realizará durante el taller de devolución y validación comunitaria. Al cierre de este manuscrito las firmas permanecen pendientes; hasta su obtención se omiten nombres, datos identificables y citas que permitan identificar a las personas participantes. Los audios y transcripciones se resguardan bajo custodia del investigador responsable, conforme a la normatividad de protección de datos personales. La principal limitación es la concentración del discurso en una sola voz; quedan pendientes la participación sistemática de mujeres, jóvenes, otras ramas familiares, autoridades agrarias e habitantes sin vinculación directa con establecimientos turísticos.

La triangulación externa tampoco está completa. En el Registro Agrario Nacional y archivos ejidales se deben verificar la cronología del reparto y la situación jurídica del predio; la extensión de las áreas cultivadas requiere cartografía; y cualquier relación entre agricultura, agua y transformación costera exige mediciones biofísicas. Estas limitaciones no hacen inviable el caso, pero sí determinan a qué nivel de generalización, y con qué vocabulario analítico, se trabaja.

Resultados y discusión

Genealogía agraria y construcción narrativa del territorio

La memoria familiar remonta el origen del terreno a la repartición ejidal ocurrida aproximadamente entre 1936 y 1937. Ocho hectáreas de superficie, dice el relato; tierra que está entre dos lagunas y en la que el padre del interlocutor trabajó como comisario. Se consideraba que la humedad era una condición favorable, pero la distancia respecto del poblado y la falta de un camino hacían difícil sacar las cosechas durante la temporada de lluvias.

Estos elementos configuran una genealogía agraria coherente dentro de la narrativa, aunque todavía no conforman una historia jurídica verificada. Lo que importa no es la fecha exacta, sino la memoria que hace que la ocupación actual sea la continuidad de una anterior y que el territorio turístico se explique desde un origen agrícola. La frase “esto era terreno de labranza de mi padre; él labraba” condensa esa temporalidad productiva (registro de campo, mayo de 2026).

El corpus tampoco permite conocer qué cultivos tenía la generación paterna, cuánta superficie trabajaba realmente, durante cuánto tiempo se daban los ciclos ni a dónde iba a parar aquella producción. Por lo tanto, el descubrimiento se reduce al hecho de que existió una memoria de uso agrícola anterior al turismo, y que ésta tuvo una función en la explicación familiar del territorio.

Incorporación de los servicios de playa y reorganización familiar

Se recuerda que la apertura de los servicios de playa fue un proceso que comenzó antes de la posterior repartición de espacios entre los descendientes. La referencia cronológica oral une

la alusión al periodo presidencial de José López Portillo con la del año de 1984; así pues, la formulación más cauta sitúa el inicio entre finales de la década de 1970 y la primera mitad de la de 1980. Esta amplitud temporal reconoce el carácter aproximado de la memoria, sin descartar su utilidad para ordenar la secuencia.

Narra que primero se habilitó el frente de playa para atender a los visitantes, y luego se reorganizó el uso familiar del resto del predio. El corpus no permite precisar la figura agraria o sucesoria de esa distribución, pero sí documenta una modificación intrafamiliar de las funciones del espacio. Los servicios turísticos no se muestran como una sustitución instantánea impuesta por una empresa externa, sino como una actividad incorporada gradualmente en un territorio previamente cultivado.

La secuencia no evidencia que todas las parcelas mantuvieran agricultura ni que cada integrante combinara cultivo y turismo de la misma forma. Tampoco permite recuperar el ritmo de construcción de restaurantes y habitaciones. Lo que se puede sostener es una transformación productiva, donde el predio familiar adquirió una función turística sin perder por completo su dimensión agrícola.

Cuadro 2. Secuencia histórico-productiva y grado de respaldo empírico

Proceso	**Evidencia disponible**	**Formulación analítica admisible**
Distribución agraria de la generación paterna	La memoria oral la sitúa alrededor de 1936-1937 y vincula al padre con funciones ejidales.	Antecedente agrario narrado; requiere verificación en expedientes del RAN y actas ejidales.
Uso agrícola anterior al turismo	Se afirma que el predio era terreno de cultivo y que la generación paterna trabajaba la tierra.	Sustenta un uso agrícola previo; no informa cultivos, superficie, rendimiento ni duración.
Inicio de servicios de playa	La memoria combina el periodo de López Portillo con una referencia a 1984.	Situar de manera aproximada entre finales de los años setenta y la primera mitad de los ochenta.
Reorganización entre descendientes	Se relata que la actividad de playa precedió a una distribución familiar posterior.	Secuencia intrafamiliar plausible; no asignar figura jurídica sin documentación.
Situación registrada en 2026	Coexisten servicios de alimentación y hospedaje con cultivos y frutales para consumo doméstico.	Reconfiguración productiva en la red familiar analizada; no extrapolar a toda la localidad.
Efectos costeros sobre la agricultura	No existen testimonios directos sobre pérdida de parcela, salinización o cambios de rendimiento.	Relación no demostrada y pendiente de estudio biofísico y longitudinal.

Fuente: elaboración propia con base en el corpus etnográfico de abril-mayo de 2026.

Agricultura contemporánea: cultivos, espacio y destino

En el segmento agrícola más explícito se confirma la presencia de maíz, ejotes y calabaza. Se citan también mango, plátano, coco y guayaba. La producción se describió como para autoconsumo: “para consumo, no venden a otros espacios” (registro de campo, mayo de 2026). En otro fragmento del corpus se hace referencia a un “terreno de cultivo” dentro de las zonas gestionadas por la familia, lo que avala la existencia de un espacio productivo actual.

La elaboración del inventario requiere diferenciar entre los datos confirmados y las posibilidades planteadas en el transcurso de la entrevista. El ajonjolí aparece en un turno de atribución no concluyente; el chicozapote y la papaya fueron señalados por la entrevistadora

y recibieron asentimiento breve; el frijol fue preguntado pero no confirmado. Esta diferencia no anula la observación de diversidad vegetal, pero no permite presentar todos los nombres como declaraciones espontáneas equivalentes.

La concurrencia nominal de maíz, ejotes y calabaza, podría remitir a asociaciones características de la milpa, sin embargo el corpus no describe si se cultivan simultáneamente, en la misma parcela, bajo rotación o en ciclos separados. Tampoco da cuenta de semillas, insumos, manejo de suelo, control de plagas, riego o labores. De ahí que se utilice el término milpa como hipótesis agronómica y no como denominación comprobada del sistema.

Cuadro 3. Matriz de trazabilidad de la evidencia agrícola

Tipo de evidencia	Contenido registrado	Alcance y límite
Declaración directa o confirmación clara	Maíz, ejotes y calabaza; mango, plátano, coco y guayaba.	Permite reportar estos cultivos en el ámbito de la red familiar, no como inventario comunitario o exhaustivo.
Observación de campo con asentimiento breve	Chicozapote y papaya.	Pueden consignarse como especies observadas o sugeridas durante el recorrido; requieren verificación productiva.
Atribución conversacional ambigua	Ajonjolí.	No incluir como cultivo confirmado sin revisión del audio o nueva indagación.
Pregunta sin confirmación	Frijol.	No existe base suficiente para afirmar su cultivo actual.
Destino declarado	Consumo doméstico y ausencia de venta externa según la voz principal.	Sustenta orientación al consumo propio; no cuantifica dieta, excedentes, intercambio, regalos o ventas ocasionales.
Espacio productivo	Mención de un terreno de cultivo y de áreas verdes familiares.	Sustenta la existencia de un área cultivada; no informa superficie, localización exacta, intensidad o continuidad anual.

Fuente: elaboración propia a partir de las transcripciones y del contraste de atribuciones conversacionales.

Coexistencia productiva y visibilidad desigual

El turismo conforma la dimensión más visible del espacio: restaurantes, habitaciones y atención a visitantes organizan la interfaz pública del enclave. La agricultura se muestra en un nivel menos expuesto, asociada a parcelas, frutales y consumo doméstico. Esta diferencia de visibilidad ayuda a explicar por qué una lectura sectorial puede presentar Playa Cangrejo como territorio exclusivamente turístico, aun persistiendo prácticas agrícolas.

La coexistencia está documentada pero no la estructura económica. Desconocemos cuánto tiempo dedican las familias al cultivo, cuánto valen económicamente las cosechas, cuánto aportan a la dieta, cuántas mujeres y jóvenes participan y qué relación existe entre los productos y la cocina de los establecimientos. Así pues, la pluriactividad es un marco interpretativo y no un resultado cuantificado. El corpus permite afirmar que ambas actividades comparten territorio y red familiar, pero no permite establecer equilibrio, complementariedad deliberada o dependencia mutua.

La agricultura tiene también una función narrativa. Si el turismo explica la actividad contemporánea, el cultivo explica la procedencia y continuidad del territorio. Esa doble presencia –material y memorial– es uno de los hallazgos más consistentes del caso: la agricultura no sólo produce alimentos, sino que interviene en la forma en que la familia cuenta su pertenencia y la secuencia de transformación del predio.

Agua, dinámica costera y frontera de la evidencia

Los registros reflejan preocupación por la disponibilidad de agua, la posible disminución de los pozos y el riesgo de salinización. También registran pérdidas de infraestructura y referentes paisajísticos relacionados con la dinámica marina. Estos elementos evidencian una condición territorial relevante para el desarrollo de actividades agrícolas y turísticas, pero no prueban un impacto ya ocurrido sobre los cultivos.

No se han registrado análisis de agua o de suelo, cambios en los rendimientos, desplazamiento de parcelas, modificación de fechas de siembra o abandono agrícola atribuible al litoral. Por lo tanto, no puede concluirse que la transformación de la costa haya modificado la agricultura del predio. Una futura articulación de cartografía parcelaria, series de línea de costa, análisis de salinidad y calendarios productivos permitiría evaluar esa hipótesis con más solidez.

Cuadro 4. Agenda de triangulación agraria y territorial

Dimensión pendiente	Utilidad analítica	Estrategia de verificación
Superficie y cambio de uso	Estimar persistencia, reducción o expansión del cultivo.	Cartografía participativa, GPS, imágenes históricas y recorridos de parcela.
Calendario y rendimientos	Distinguir producción regular, estacional u ocasional.	Seguimiento de al menos dos ciclos, diarios de labor y registro de cosechas.
Trabajo, género y generación	Identificar quién sostiene el cultivo y si existe relevo generacional.	Entrevistas diferenciadas con mujeres, jóvenes y ramas familiares.
Semillas, insumos, suelo y agua	Evaluar manejo agronómico y posibles componentes agroecológicos.	Ficha técnica, observación directa, análisis de suelo, agua y salinidad.
Circulación de productos	Diferenciar consumo doméstico, restaurante, intercambio, regalo y venta.	Registro de destino por cosecha y seguimiento de la cocina familiar.
Peso alimentario y económico	Valorar la contribución real de la agricultura a la reproducción doméstica.	Presupuesto de hogar, valoración de producción y recordatorio alimentario.
Situación agraria y alcance social	Contrastar memoria, derechos vigentes y prácticas de otros hogares.	Consulta en RAN, actas ejidales y entrevistas con autoridades y vecinos.
Relación costa-agricultura	Determinar si la dinámica litoral afecta parcela, agua o producción.	Series geoespaciales, monitoreo de costa y mediciones biofísicas longitudinales.

Fuente: elaboración propia a partir de los vacíos de información identificados durante el reanálisis.

De la sustitución sectorial a la reconfiguración productiva

La principal corrección interpretativa consiste en abandonar la lectura unilineal de reemplazo. La evidencia muestra un predio con antecedente agrícola que incorporó servicios turísticos, reorganizó el uso familiar del espacio y mantiene cultivos orientados al consumo doméstico. Este patrón concuerda con la literatura que describe ruralidades donde la agricultura pierde relativa centralidad sin desaparecer de la vida territorial (Appendini y Torres-Mazuera, 2008; Carton de Grammont, 2009; Kay, 2008).

El concepto de reconfiguración productiva parece más apropiado que el de transición, ya que no presupone ni un punto de partida homogéneo ni un destino sectorial definitivo. Permite identificar cambios en la visibilidad, función y escala de las actividades y es compatible con los enfoques de diversificación de medios de vida (Bebbington, 1999; Ellis, 2000; Scoones, 1998). Sin embargo, el caso también recuerda que la coexistencia de actividades no es sin más una estrategia pluriactiva estable: esa conclusión exigiría reconstruir decisiones, trabajo, ingresos y temporalidades domésticas. La evidencia comparada refuerza, con todo, el valor de la persistencia agrícola: durante la pandemia de COVID-19, las estrategias pluriactivas

menos vulnerables en comunidades turísticas andinas fueron las que conservaban agricultura de subsistencia (Gascón y Mamani, 2022), y las cooperativas indígenas de turismo comunitario de la península de Yucatán conciben el turismo como parte de sistemas de vida pluriactivos y no como estrategia autónoma (García-Frapolli y Asara, 2026).

Agricultura familiar sin esencialización

La categoría de agricultura familiar aporta una escala relacional útil, pero debe aplicarse sin romantizarla. La literatura internacional destaca la heterogeneidad de las unidades familiares y señala que tamaño, trabajo familiar, gestión y orientación al mercado no son dimensiones equivalentes (FAO, 2014; Graeub et al., 2016; Lowder et al., 2016). En Playa Cangrejo está respaldado el consumo doméstico y la localización del cultivo en un territorio familiar, y la composición del trabajo, la autonomía de la unidad y la contribución al ingreso permanecen abiertas.

Esta precisión explica por qué "agricultura familiar orientada al consumo doméstico" es una denominación más rigurosa que la de "agricultura de subsistencia" o "red de seguridad alimentaria". La primera describe el destino declarado sin inferir suficiencia; las otras categorías implican relaciones de dependencia y protección que el corpus no cuantifica. De la misma forma, hablar de "agricultura residual" sería inapropiado porque supone una apreciación no acreditada de marginalidad o de decadencia.

Memoria agraria y continuidad territorial

Lo más densamente informativo del corpus no es la productividad actual, sino la memoria de la tierra. El relato recompone la humedad, la distancia, los caminos, las cosechas y la distribución familiar y, a través de esa secuencia, confiere inteligibilidad a la ocupación contemporánea. Como señala Portelli (1991), la fuente oral debe leerse por su contenido factual y por el sentido que organiza. En este caso el pasado agrícola sirve de marco de continuidad territorial frente a un presente turístico.

Esta dimensión no suple la documentación agraria. Su aporte consiste en mostrar que la apropiación y el uso del espacio no son únicamente hechos administrativos, sino narrativas socialmente elaboradas. La triangulación con archivos del RAN permitirá diferenciar la exactitud histórica, la categoría jurídica y la función simbólica de la memoria, sin reducir una dimensión a la otra.

Implicaciones para el desarrollo regional

Desde el punto de vista del desarrollo territorial rural, el caso indica que las políticas sectoriales tienen la posibilidad de hacer desaparecer las prácticas de pequeña escala cuando categorizan los territorios solamente por la actividad más visible. La transformación productiva no es sólo cambio de empleo, sino acceso a tierra y agua, organización familiar, conectividad, infraestructura, regulación turística y capacidad de participar en decisiones (Schejtman y Berdegué, 2004).

Un diagnóstico regional pertinente debería incluir al menos cuatro dimensiones: la seguridad jurídica y memoria de la tierra, la reproducción de la agricultura familiar, la gestión ambiental del turismo y la exposición costera. En vez de dar por hecho que el turismo representa la fase posterior a una agricultura superada, es preferible determinar en qué circunstancias ambas actividades compiten, se complementan o se distribuyen entre los hogares y entre las

generaciones. Esta visión permite diseñar intervenciones diferenciadas de saneamiento, agua, comercialización, asistencia técnica, ordenamiento del suelo.

También se requiere evidencia específica para la agenda agroecológica. Diversos tipos de cultivos y orientación al consumo doméstico son puntos de partida relevantes, pero la clasificación agroecológica depende de prácticas de manejo, flujos de nutrientes, biodiversidad funcional, autonomía respecto de insumos y formas de gobernanza (Wezel et al., 2020). Esa dimensión habrá que documentarla en la investigación posterior, antes de atribuir al caso una transición agroecológica.

Alcances socioambientales y límites del estudio

La literatura sobre la costa oaxaqueña permite reconocer que el turismo y la dinámica litoral generan presiones territoriales relevantes (Acevedo-Granados et al., 2025; Rubio Carriquiriborde, 2017). Asimismo, la documentación sistemática de observaciones locales puede contribuir a interpretar los cambios ambientales (Berkes, 2018; Reyes-García et al., 2023; Savo et al., 2016). Sin embargo, esas referencias no sustituyen a la medición local. El presente trabajo tiene como contexto la transformación costera, y deja para una etapa posterior la atribución de los impactos agrícolas.

Los resultados tienen transferibilidad analítica, no representatividad estadística. Permiten preguntar por la permanencia agrícola en sitios turísticos familiares, pero no describen a todas las familias de Playa Cangrejo ni a la costa del Istmo. Por eso, la concentración del corpus en una voz y la brevedad del segmento agrícola imponen ampliar el trabajo de campo antes de sostener conclusiones sobre género, generaciones, seguridad alimentaria, rentabilidad o adaptación climática.

Conclusiones

Playa Cangrejo, con la evidencia que está disponible, no se puede considerar un caso de sustitución lineal de la agricultura por el turismo. El corpus recoge una trayectoria familiar en la que un territorio de origen agrario fue incorporando servicios de playa y conservando cultivos orientados al consumo doméstico. La frase “cultivar junto al mar” condensa esa coexistencia, sin dar por supuesto equilibrio alguno ni continuidad asegurada.

El núcleo empírico más sólido incluye cuatro elementos: el recuerdo de un uso agrícola paterno anterior al turismo; el comienzo aproximado de los servicios entre finales de los años setenta y la primera mitad de los ochenta; la existencia contemporánea de maíz, ejotes, calabaza y diferentes frutales; y el destino doméstico declarado de la producción. Estos resultados permiten hablar de agricultura familiar en sentido operativo y de reconfiguración productiva territorial.

La investigación no permite estimar superficie, rendimiento, trabajo, ingreso, suficiencia alimentaria, abastecimiento de restaurantes, carácter agroecológico ni extensión comunitaria de la práctica. Tampoco muestra los impactos de la dinámica costera en el cultivo. La precisión de estas fronteras no debilita el estudio, sino que delimita su contribución y evita que se transforme en una narrativa familiar situada en diagnóstico general.

En la siguiente fase se debe integrar cartografía parcelaria, seguimiento de los ciclos agrícolas, entrevistas diferenciadas por género y generación, registros de la producción y su destino, análisis de agua y suelo, y revisión de archivos agrarios. Esta triangulación permitirá determinar si la agricultura es una práctica regular de reproducción doméstica, una estrategia

pluriactiva articulada con el turismo o una actividad en contracción. El caso, para los estudios de desarrollo regional, muestra la necesidad de analizar las transformaciones rurales desde la coexistencia de funciones, memorias y escalas y no sólo desde la actividad económica dominante.

Literatura Citada

- Appendini, K., & Torres-Mazuera, G. (Eds.). (2008). *¿Ruralidad sin agricultura? Perspectivas multidisciplinarias de una realidad fragmentada*. El Colegio de México.
- Berkes, F. (2018). *Sacred ecology* (4.ª ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315114644
- Ellis, F. (2000). *Rural livelihoods and diversity in developing countries.* Oxford University Press.
- Portelli, A. (1991). *The death of Luigi Trastulli and other stories: Form and meaning in oral history.* State University of New York Press.
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research.* SAGE Publications.
- Acevedo-Granados, I. V., Márquez-García, A. Z., & Armstrong-Altrin, J. S. (2025). Evaluación histórica de los procesos de erosión y acreción en las playas de Puerto Escondido, Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 77(2), A280225. https://doi.org/10.18268/BSGM2025v77n2a280225
- Avila-Foucat, V. S., & Rodríguez-Robayo, K. J. (2018). Determinants of livelihood diversification: The case wildlife tourism in four coastal communities in Oaxaca, Mexico. *Tourism Management*, 69, 223–231. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.06.021
- Ávila-Foucat, V. S., Revollo-Fernández, D., & Navarrete, C. (2021). Determinants of livelihood diversification: The case of community-based ecotourism in Oaxaca, Mexico. *Sustainability*, 13(20), 11371. https://doi.org/10.3390/su132011371
- Bebbington, A. (1999). Capitals and capabilities: A framework for analyzing peasant viability, rural livelihoods and poverty. *World Development*, 27(12), 2021–2044. https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00104-7
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa
- Carton de Grammont, H. (2009). La desagrarización del campo mexicano. *Convergencia*, 16(50), 13–55. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352009000200002
- Carton de Grammont, H. (2010). La evolución de la producción agropecuaria en el campo mexicano: concentración productiva, pobreza y pluriactividad. *Andamios*, 7(13), 85–117. https://doi.org/10.29092/uacm.v7i13.119
- García-Frapolli, E., & Asara, V. (2026). Navigating touristification through social entrepreneurship: Community-based tourism in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Tourist Studies*, 26(1), 83–107. https://doi.org/10.1177/14687976261430379
- Gascón, J., & Mamani, K. S. (2022). Community-based tourism, peasant agriculture and resilience in the face of COVID-19 in Peru. *Journal of Agrarian Change*, 22(2), 362–377. https://doi.org/10.1111/joac.12447
- Godwyn-Paulson, P., Jonathan, M. P., Roy, P. D., Rodríguez-Espinosa, P. F., Muthusankar, G., Muñoz-Sevilla, N. P., & Lakshumanan, C. (2021). Evolution of southern Mexican Pacific coastline: Responses to meteo-oceanographic and

physiographic conditions. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101914. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101914

- Graeub, B. E., Chappell, M. J., Wittman, H., Ledermann, S., Bezner Kerr, R., & Gemmill-Herren, B. (2016). The state of family farms in the world. *World Development*, 87, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012
- Hennink, M., & Kaiser, B. N. (2022). Sample sizes for saturation in qualitative research: A systematic review of empirical tests. *Social Science & Medicine*, 292, 114523. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2021.114523
- Kay, C. (2008). Reflections on Latin American rural studies in the neoliberal globalization period: A new rurality? *Development and Change*, 39(6), 915–943. https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2008.00518.x
- Lowder, S. K., Skoet, J., & Raney, T. (2016). The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. *World Development*, 87, 16–29. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041
- Malterud, K., Siersma, V. D., & Guassora, A. D. (2016). Sample size in qualitative interview studies: Guided by information power. *Qualitative Health Research*, 26(13), 1753–1760. https://doi.org/10.1177/1049732315617444
- Novotny, I. P., Fuentes-Ponce, M. H., Lopez-Ridaura, S., Tittonell, P., & Rossing, W. A. H. (2021). Longitudinal analysis of household types and livelihood trajectories in Oaxaca, Mexico. *Journal of Rural Studies*, 81, 170–181. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.022
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16, 1–13. https://doi.org/10.1177/1609406917733847
- Perramond, E. P. (2001). Oral histories and partial truths in Mexico. *Geographical Review*, 91(1–2), 151–157. https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2001.tb00468.x
- Reyes-García, V., Álvarez-Fernández, S., Benyei, P., García-del-Amo, D., Junqueira, A. B., Labeyrie, V., Li, X., Porcher, V., Porcuna-Ferrer, A., Schlingmann, A., & Soleymani, R. (2023). Local indicators of climate change impacts described by Indigenous Peoples and local communities: Study protocol. *PLOS ONE*, 18(1), e0279847. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279847
- Rubio Carriquiriborde, I. (2017). Un destino incierto. Expansión del turismo, daños y riesgos ambientales en la costa de Oaxaca. *Acta Sociológica*, (73), 83–122. https://doi.org/10.1016/j.acso.2017.08.003
- Savo, V., Lepofsky, D., Benner, J. P., Kohfeld, K. E., Bailey, J., & Lertzman, K. (2016). Observations of climate change among subsistence-oriented communities around the world. *Nature Climate Change*, 6(5), 462–473. https://doi.org/10.1038/nclimate2958
- Torres-Mazuera, G. (2016). Deregulating the social life of property: Neoliberalism and the proliferation of normative dissonances in Mexico. *The Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, 48(1), 58–74. https://doi.org/10.1080/07329113.2015.1069060
- Wezel, A., Gemmill Herren, B., Bezner Kerr, R., Barrios, E., Rodrigues Gonçalves, A. L., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, Article 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *The state of food and agriculture 2014: Innovation in family farming*. FAO. https://www.fao.org/3/i4040e/i4040e.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020: Principales resultados por localidad (ITER)* [Conjunto de datos]. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Marco Geoestadístico Nacional, diciembre de 2024* [Conjunto de datos geoespaciales]. https://www.inegi.org.mx/temas/mg/
- Schejtman, A., & Berdegué, J. A. (2004). *Desarrollo territorial rural* (Debates y Temas Rurales núm. 1). Rimisp-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural. https://rimisp.org/desarrollo-territorial-rural/
- Scoones, I. (1998). *Sustainable rural livelihoods: A framework for analysis* (IDS Working Paper 72). Institute of Development Studies. https://opendocs.ids.ac.uk/articles/report/Sustainable_Rural_Livelihoods_A_Framework_for_Analysis/26473384

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Uso tradicional de especies de la selva baja caducifolia en dos comunidades del municipio de Copalillo, Guerrero

Efraín Cruz Cruz [1]y Areli Madaí Guzmán Pozos[1]

Resumen
El estudio se realizó en Tenantitlán y Acingo, municipio de Copalillo, Guerrero, ubicados en las riberas del río Balsas y enmarcados en comunidades vegetales de la selva baja caducifolia (SBC). El objetivo del trabajo fue documentar el conocimiento tradicional en el uso y aprovechamiento de las especies vegetales de importancia biocultural que poseen los pobladores de las localidades. Para ello, se realizaron recorridos de campo con informantes clave, talleres participativos y entrevistas abiertas a profundidad. La información recabada incluyó el nombre de la especie en español y náhuatl, uso, parte usada, forma de preparación y lugar de recolección; adicionalmente, se recolectaron ejemplares botánicos para su determinación en laboratorio. Los resultados mostraron que las mujeres son las mayores conocedoras del número de especies y formas de uso; en orden de importancia se agruparon en: medicinales, alimenticias, combustible (leña), forraje, construcción, ceremonial, cosmético (jabón) y ornamental. De acuerdo con el diálogo de saberes, se demostró el profundo conocimiento de las personas sobre el uso y aprovechamiento de las especies: ecológica (lugar de crecimiento), fisiológica (ciclo de crecimiento), botánica (identificación de la especie), medicinal (para qué, dosis y frecuencia de consumo para el problema de salud), gastronómica (especie, platillos, formas de consumo) y paisajismo (ornamental). Los saberes han sido transmitidos y enriquecidos de forma oral entre generaciones; su documentación será de gran relevancia para la elaboración de planes de conservación del conocimiento, la biodiversidad y la sustentabilidad de la SBC.
Palabras clave: etnobotánica, conocimiento tradicional, diálogo de saberes

Abstract
The study was conducted in Tenantitlán and Acingo, in the municipality of Copalillo, Guerrero, located on the banks of the Balsas River and within the tropical dry forest (TDF) vegetation communities. The objective was to document the traditional knowledge of the use and exploitation of bioculturally important plant species held by the inhabitants of these communities. To this end, field visits were conducted with key informants, along with participatory workshops and in-depth open-ended interviews. The information gathered included the species name in Spanish and Nahuatl, its use, the part used, the method of preparation, and the collection site. Additionally, botanical specimens were collected for laboratory identification. The results showed that women possess the greatest knowledge of the number of species and their uses. These uses were grouped in order of importance as follows: medicinal, food, fuel (firewood), fodder, construction, ceremonial, cosmetic (soap) and ornamental. According to the knowledge-sharing dialogue, the people demonstrated a profound understanding of the use and benefits of the species: ecological (location of growth), physiological (growth cycle), botanical (species identification), medicinal (purpose,

[1] Universidad Autónoma Chapingo, km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, México. C.P. 56230, correo: cruzcrue@gmail.com, Mexicano; [2]Campo Experimental Zacatepec-INIFAP, Km. 0.5 carretera Zacatepec - Galeana, Zacatepec, Morelos C.P. 62780, correo: guzman.areli@inifap.gob.mx, Mexicana

dosage, and frequency of consumption for health problems), gastronomic (species, dishes, and methods of consumption), and landscaping (ornamental). This knowledge has been transmitted and enriched orally across generations; its documentation will be of great importance for the development of plans for the conservation of knowledge, biodiversity, and the sustainability of the SBC.
Keywords: ethnobotany, traditional knowledge, dialogue of knowledge

Introducción

La selva baja caducifolia (SBC) es uno de los ecosistemas de mayor distribución en México, se extiende en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas, en el centro del país se distribuye en la cuenca del Balsas, en manchones aislados en la vertiente del Golfo y en la Península de Yucatán, con una superficie de 68 500 km^2 (Trejo, 2010). Las variaciones ambientales donde se establece promueven su alta diversidad (20 % de la flora del país) y se relacionan con su endemismo y su compleja historia biogeográfica (Trejo, 2010). El estrato arbóreo presenta una altura menor de 15 m y la pérdida de hojas en la estación seca (Ángeles-García *et al*., 2021). La SBC se encuentra expuesta a una reducción en la superficie y pérdida de la riqueza de especies, principalmente por actividades antropogénicas, como agricultura de temporal, tala selectiva, incendios inducidos, pastoreo de ganado, ampliación de unidades habitacionales, entre otros (Trejo, 2005; Corona *et al*., 2016; Aquino-Zapata *et al*., 2026).

Por la importancia de la SBC se han realizado trabajos en distintas regiones de distribución en el país, para el conocimiento de la diversidad de la flora y endemismos (Pineda-García *et al*., 2007; León *et al*., 2012; Rojas-Martínez y Flores-Olvera, 2019; Guillermo-Sandoval *et al*., 2021; García-Aguilar *et al*., 2025). Aunque los autores señalan la necesidad de continuar con estos estudios con mayor profundidad, con la finalidad de promover su conocimiento y conservación, debido a la disminución de la superficie y la fragmentación (Trejo, 2010). Por otro lado, los estudios relacionados con el conocimiento etnobotánico son escasos y aislados en este ecosistema (Soto, 2010); algunos de ellos remarcan la importancia de los estudios etnobotánicos para demostrar la resistencia cultural de los campesinos nativos ante la urbanización (Monroy y Ayala, 2003).

Los trabajos relacionados con estudios etnobotánicos se relacionan con los siguientes temas: la contribución a la promoción y preservación de la cultura local, en tres aspectos de la biodiversidad, 1) diversidad de especies, 2) diversidad genética y 3) diversidad de hábitats (Prance, 1997). La documentación ancestral de los conocimientos desarrollados por las culturas indígenas está fuertemente ligada a las prácticas culturales relacionadas con la salud, la enfermedad, el uso de plantas medicinales y el ecosistema (Haboud y Acosta, 2022). Las comunidades indígenas poseen un gran conocimiento en el uso y aprovechamiento de las especies vegetales que integran los ecosistemas donde se encuentran inmersos y usan los recursos disponibles para su alimentación, el tratamiento de enfermedades, entre otros usos (Prance, 1997). Esto ha permitido conservar la diversidad de las especies. Por esta razón, el registro y la documentación del conocimiento tradicional son fundamentales, lo que contribuirá a la implementación de planes de conservación de las especies y a la restauración de las comunidades vegetales. Los estudios etnobotánicos son de alta prioridad para el desarrollo de estrategias de gestión sostenible de los recursos vegetales (Comou-Guerrero *et al*., 2016), para la conservación del patrimonio biocultural (Cupido *et al*., 2024), para la identificación de plantas medicinales como fuentes de nuevos medicamentos (Heinrich,

2000) y en el proceso de domesticación (Casas *et al*., 2016b). El presente estudio se realizó con la finalidad de recopilar el conocimiento tradicional en el uso y aprovechamiento de especies vegetales de importancia de la selva baja caducifolia que poseen los habitantes de Tenantitlán y Acingo, municipio de Copalillo, Guerrero.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las localidades de Tenantitlán y Acingo son comunidades del municipio de Copalillo, Guerrero, cuya localización se encuentra entre las coordenadas extremas de 17° 53' 07" y 17° 55' 16" de latitud norte; 99° 04' 14" y 99° 07' 19" de longitud oeste; la temperatura media en las localidades es de 27 °C y la precipitación de 750 mm; altitud promedio de 560 msnm. De acuerdo con la información de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2010) y el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2010), en 2014, Tenantitlán y Acingo presentaron un grado de marginación muy alto, con una población de 129 y 384 habitantes, población indígena de 97.7 % y 100 %, con un porcentaje de hablantes náhuatl de 82.2 % y 85.7 %, respectivamente (INEGI, 2010).

Ambas localidades se ubican en las riberas del río Balsas, con una vegetación dominante de selva baja caducifolia; la principal actividad es la agricultura de temporal, con mayor superficie sembrada de maíz y, en menor extensión, ajonjolí, cacahuate y sorgo de grano; en pequeña escala, la producción de ganado bovino, caprino y porcino de traspatio.

Recopilación de la información

La información etnobotánica descrita en las comunidades de Tenantitlán y Acingo se recopiló de octubre a diciembre de 2014 y se consideraron las recomendaciones de Martín (1995), Blanco-Castro (1996) y Hoffman y Gallaher (2007) en cuanto a la colaboración de personas más destacadas en el conocimiento y uso de las especies vegetales que crecen en las zonas cercanas a sus comunidades. Las técnicas empleadas fueron la entrevista en profundidad, los recorridos de campo y cuatro talleres participativos con hombres y mujeres en ambas comunidades. El trabajo consideró la perspectiva de género, ya que la diferencia de género permite identificar los patrones y particularidades del conocimiento tradicional, además de facilitar la obtención de información (Madamombe-Manduna *et al*., 2009).

Se trabajó con tres informantes clave y se les aplicó una entrevista estructurada, la cual incluía datos personales (nombre, edad, escolaridad y actividades principales); y lo relativo a las plantas no cultivadas de importancia por su uso y aprovechamiento: nombre en español y en náhuatl, forma biológica (árbol, arbusto, hierba, trepadora y rosetófila); lugar de obtención, época de obtención, partes usadas y todos los tipos de uso dado. Debido a que la información generada por las entrevistas fue escasa, por la dificultad de comunicación en español y náhuatl, se consideraron los talleres participativos con mayor importancia.

Por otro lado, se realizaron cuatro recorridos de campo en compañía de informantes clave y se recolectaron ejemplares de las diferentes especies útiles localizadas; estos fueron herborizados y se enviaron al herbario del Jardín Etnobotánico y Museo de Medicina Tradicional y Herbolaria de Cuernavaca, Morelos; el Biol. Feliciano García Lara identificó las especies colectadas. Los nombres en náhuatl se verificaron con las personas de las comunidades.

Análisis de la información

La información se analizó de manera gráfica y desde la perspectiva de género; de esta forma, se estimaron las frecuencias por categorías de uso: a) comestible; b) medicinal; c) forrajera; d) construcción; e) ceremonial y f) otro (cualquier uso dado). En los resultados se incluyeron: nombre común y en náhuatl, lugar de colecta, localización en los terrenos de la comunidad y formas de uso local de las especies.

Resultados y discusión

Las personas de las poblaciones de Tenantitlán y Acingo señalaron 101 y 54 especies de plantas útiles de la selva baja caducifolia respectivamente (Cuadro 1); de las cuales, en orden de importancia, fueron: medicinales, alimenticias, combustibles (leña), forrajeras, de construcción y, finalmente, una de cada una de las siguientes: ornato, ceremonial y cosmético empleada para la elaboración de jabón y champu (Cuadro 1).

Cuadro 1. Uso de las especies por localidad y género.

Localidad/Género	Usos								
	NTE	MED	ALI	COM	FOR	CON	CER	COS	ORN
Tenantitlán									
Mujeres	54	20	15	10	3	3	1	1	1
Hombre	47	19	10	13	2	3	-	-	-
Acingo									
Mujeres	36	24	5	2	1	3	1	-	-
Hombre	18	10	3	3	-	1	1	-	-

NTE: Número total de plantas; MED: Medicinales; ALI: Alimenticias; COM: Combustible; FOR: Forrajera; CON: Construcción; CER: Ceremonial; COS: Cosméticos; ORN: Ornamental

En Tenantitlán, las mujeres reconocieron un mayor número de plantas útiles y usos que los hombres, con excepción de las especies utilizadas como combustible (leña) (Cuadro 1). Esta misma tendencia se observó en Acingo, aunque se registró un número menor de especies y, nuevamente, las mujeres mencionaron más usos. Esto se atribuye a que más mujeres asistieron a los talleres, comparadas con los hombres. Se observó que, a mayor número de participantes, mayor cantidad de especies propuestas, dado que se empleó la técnica de lluvia de ideas. Por la época en que se realizó el trabajo, solo se identificaron en el herbario 31 especies, ya que algunas de ellas florecen en la época seca del año (Cuadro 2).

En el Cuadro 3 se relacionan las especies identificadas por las mujeres en Tenantitlán, usos, parte usada y formas de uso.

Cuadro 2. Especies colectadas y determinadas durante los recorridos de campo.

No.	Nombre común	Nombre científico	Nombre en náhuatl
1	Tres costillas	*Serjania schiedeana* Schltdl.	-
2	Brasil, palo Brasil	*Haematoxylum sousanum* Cruz Durán & J. Jiménez Ramírez	Uitzcojtli
3	Cuachalalate	*Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl.	Kauchalalotl
4	Hierba del golpe	*Hyptis stellulata* Benth.	-

5	Cuajiote rojo (hoja fina)	*Bursera morelensis* Ramírez	Ostomekajtsin
6	Cuajiote rojo (hoja ancha)	*Bursera schlechtendalii* Engl.	Ostomekajtsin
7	Yoyote	*Cascabela ovata* (Cav.) Lippold	Escuinyoyojtle, cocitlali, cuihyoyotl
8	Guamúchil	*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth	Coamochitl
9	Palo dulce	*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg.	Coapipixtle, coactle, cojtle
10	Cancerina, matapiojos	*Hippocratea excelsa* Kunth.	Temecaixcatl, ajpatle
11	Damiana	*Turnera diffusa* Willd	-
12	Orégano silvestre	*Lippia graveolens* Kunth.	-
13	Palo mulato, palo prieto	*Cordia morelosana* Standl.	Mezcalojpatle
14	Peperucho	*Randia thurberi* S. Watson	Ostozinzapotzin
15	Rabo de iguana	*Sphinga acatlensis* (Bentham) Barneby & Grimes	
16	Timbre	*Acaciella angustissima* (Mill.) Britton & Rose	Tehuixtle
17	Chicharroncillo, pegahueso	*Agonandra racemosa* (DC.) Standl., J. Wash.	Temamatzin
18	Quina roja	*Cinchona ledgeriana* (Howard) Bern. Moens ex Trimen	Chichiltikquina
19	Quina amarilla	*Hintonia latiflora* (Sessé & Moc. Ex. DC.) Bullock	Tlachichitze, costikquina
20	Curatodo, pablillo	*Rauvolfia tetraphylla* L.	Tlanenpolohua
21	Corongoro, cuahuisquite, limoncillo	*Ziziphus amole* (Sessé & Moc.) M. C. Johnst.	Cuahuixquitl, coahuesquite, coahuiztle
22	Cuahuamol	*Ziziphus mexicana* Rose	Coahuixquiamole
23	Flor de camarón	*Caesalpinia pulcherrima* (L.) Sw.	Chamolxochitl
24	Cuahulote	*Guazuma ulmifolia* Lam.	Cuahuilotl, cuauhlotl, xinyolcayotl
25	Zopilote	*Swietenia humilis* Zucc.	Zopilotl
26	Cuatecomate, cirián	*Crescentia alata Kunth*	Cojtecomatl
27	Pochote	*Ceiba aesculifolia* (Humb., Bompl. & Kunth) Britton & Baker	Pochotl
28	Tepemezquite	*Lysiloma divaricata (Jacq.) Macbr.*	Tlahuitole, tepemisxtli, tehuaxi
29	Pata de cabra	*Lysiloma tergeminum* Benth	Papalocojtle, papalocuxtle, papalocotl
30	Carrozo	*Senna wislizeni* (A. Gray) Irwin & Barneby	
31	Cascalote	*Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd.	Nacascolotl

Cuadro 3. Conocimiento y uso de las plantas de la selva baja caducifolia en Tenantitlán, Gro., identificadas por las mujeres.

Nombre	Usos						Parte usada	Forma de uso	Forma biológica/lugar de localización
	ALI	MED	FOR	CON	CER	Otro			
Zopilote		X					Semilla	Se muele en la licuadora y se toma en ayunas (diabetes). Para eliminar piojos, la semilla se muele y se forma una pasta con agua y se aplica en el cuero cabelludo.	Árbol/ Cerro
Brasil		X				Leña	Corazón del tronco	Se corta en trocitos y se echa en ½ L de agua (Corazón) y se toma para problemas renales, cardiovasculares y circulación de la sangre.	Árbol/ Cerro
Quina		X					Corteza	Se hierve para infecciones de la piel.	Árbol/Cerro Está desapareciendo
Cuachalalate		X					Corteza	Se muele la corteza seca y se remoja en agua. Desinfectar y cicatrización de heridas.	Árbol/Cerro
Damiana		X					Hoja	Se prepara una infusión con las hojas y se toma para el dolor estomacal, relajante y energizante.	Hierba/Parte media del cerro
Opukuascasmole (Nahuatl)						Jabón, champo	Fruta	Cuando esta verde se bate, seco se muele.	Árbol/Diversos ambientes
Cuatecomate o Cirian		X					Semilla	La semilla se hierve y se toma para tratar los golpes internos. La semilla y la fibra de la parte interna del fruto se preparan en té para curar el dolor de estómago.	Árbol/Cerro
Oaquelite	X		X				Hoja ramitas	Se consumen fritos y hervidos.	Hierba/Cerro
Orégano silvestre	X	X					Hoja	Las hojas y las flores se preparan en té para curar el dolor de estómago; las hojas secas se utilizan como condimento.	Hierba/Cerro
Ciruela	X					Leña	Fruto, ramas	Se utilizan para comer en fresco o en salsa.	Árbol/Cerro

Maguey						Ixtle	Hoja	Se pone a podrir la parte carnosa en el río, se azota y se extrae la fibra. Costales ixtle.	Rosetófila/Cerro
Maguey mezcalero	X	X					Hoja	Se prepara mezcal. Se curan heridas de los animales con savia.	Rosetófila/Cerro
Huaje rojo	X		X				Retoño hoja	Se comen las semillas crudas o en guisado o salsa. Se utiliza para alimento del ganado.	Árbol/Cerro
Tomate silvestre	X						Frutos	Preparación de alimentos (hervido).	Herbácea/Cerro
Palo blanco						Leña	Corazón	Tronco y ramas se utilizan para leña.	Árbol/Cerro
Palo lechudo				X			Tronco	Morillo.	Árbol/Cerro
Cordoncillo					X		Ramas	Para limpiar niños (en fresco) y curar la hepatitis (en té).	Arbusto/Barranca
Mata rata					X		Ramas	Se usa para limpiar.	Árbol/Barranca
Cempaxúchitl					X		Ramas, flores	Religioso.	Hierba/En las casas
Curatodo		X					Raíz	Con un trozo muy pequeño del corazón de la madera o de la raíz se prepara un té; es para el tratamiento de diversas enfermedades, incluyendo la viruela; por ello se le denomina «cura todo» y proporciona mucha fuerza y energía.	Arbusto/Cerca del río
Menta saverreal		X					Hojas	En té, dolor de vientre	Arbusto/Cerro
Mezquite	X	X	X	X	X	Leña	Goma Fruto combinado	La corteza se hierve junto con el timbre para curar el empacho. El tronco y ramas se usan para leña.	Árbol/Cerro
Huamúchil	X		X	X		Leña	Fruto, madera	Los frutos se consumen por humanos y por animales como forraje. La madera se usa para leña. En las habitaciones se siembran como árboles de sombra.	Árbol/Casas-orilla del río
Ixtahuixtle (Náhuatl)			X			Leña	Madera	Tronco y ramas los usan para leña.	Árbol/Cerro
Palo dulce		X		X		Leña		La corteza remojada en agua sirve como vitamina para los pollos. El tallo principal y las ramas se usan para postes y leña.	Árbol/Cerro
Borrego	X					Leña	Fruto	El fruto se consume y el tronco y las ramas se usan para leña.	Árbol/Cerro

Sábila		X					Pulpa	Tratamiento de granos, mejora el cabello.	Rosetófila/Cerca de las casas
Pochote	X						Fruto	Las semillas de los frutos frescos se consumen como alimento.	Árbol/Cerro
Atlina		X					Hojas ramas	Atlina hoja ancha: hervir las hojas y bañar a las mujeres recién aliviadas. Atlina hoja angosta: hervir y bañar a los hombres para que tengan fuerza. Dolor de hueso y fiebre	Arbusto/En la orilla del río
Cancerina		X					Madera	La raíz se golpea con una piedra hasta que se extiende como si fuera un bistec; se pone directamente en las heridas. Cuando está seca, se remoja y se coloca sobre las heridas (cicatrizante).	Bejuco/Cerro-barranco
Copal					X		Goma	La resina se usa como incienso y la goma es un cicatrizante.	Árbol-Cerro
Guaje brujo	X					Leña	Fruto, semilla	Consumo en fresco y seco, en guisados o salsas. El tronco y las ramas se usan como combustible.	Árbol-Cerro
Morados	X	X					Fruto, semilla	Se comen en fresco, cura fuegos de la boca	Arbusto-Cerro
Timbre		X					Cáscara o corteza	Se hierve la corteza junto con la del mezquite. Se cuela y se toma tibio en ayunas para curar el empacho.	Arbusto-Cerro
Cacaloxuchitl (Náhuatl)		X				Ornamental	Corteza/látex	El látex para problemas de la piel. Se planta en jardines por sus vistosas y aromáticas flores.	Árbol-Cerro
Chepil	X						Flor-hoja	Se consume hervido.	Hierba/ En la siembra
Verdolaga	X						Hoja	Se consume hervido.	Hierba/En la iembra

Las especies con mayores usos fueron el mezquite (*Prosopis* spp.): comestible, medicinal, forrajera, de construcción y combustible; y el guamúchil (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth): comestible, medicinal, forrajera y combustible. Las especies que las mujeres de Tenantitlán mencionaron con más frecuencia fueron: palo de Brasil (*Haematoxylum sousanum* Cruz Durán & J. Jiménez Ramírez); cuachalalate (*Amphipterygium adstringens* (Schltdl.) Standl); quina roja (*Cinchona ledgeriana* (Howard) Bern. Moens ex Trimen); quina amarilla (*Hintonia latiflora* (Sessé & Moc. Ex. DC.) Bullock); *damiana* (*Turnera diffusa* Willd); guaje (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.); cancerina (*Hippocratea excelsa* H. B. K); palo dulce (*Eysenhardtia polystachya* (Ortega) Sarg); y ciruelo (*Spondia* sp.) (Cuadro 3).

Las comunidades de Tenantitlán y Acingo se encuentran en la cuenca del río Balsas, en un área dominada por la SBC, altas temperaturas, estación de lluvias irregular, suelos delgados y pedregosos, altas pendientes y una prolongada estación seca. Estas localidades están clasificadas como de alta marginación, de población indígena y con un alto porcentaje de hablantes de la lengua Náhuatl (>80 %), incluso durante el trabajo de campo y los talleres, se tuvieron dificultades en la comunicación con los asistentes y los investigadores. En este sentido, la lengua materna juega un papel importante en la generación y conservación de los conocimientos y las tecnologías generadas, en la transmisión de saberes entre generaciones, en el proceso de aprendizaje y en los saberes comunitarios. Con la pérdida de la lengua, los conocimientos medicinales indígenas se extinguen (Haboud y Acosta, 2022). La documentación de estos saberes es fundamental, ya que la conservación del conocimiento está relacionada con la permanencia de las lenguas y de las culturas indígenas (Ruíz *et al*., 2024), la extinción de ellas implicaría la pérdida de conocimientos ancestrales. Esto se relaciona con lo señalado por Prance (1997): cuando la cultura se pierde, los pueblos indígenas dejan de ser gestores de su tierra y la conservación desaparece. Este riesgo es latente en las comunidades de estudio, ya que, de acuerdo on el INEGI (2010 y 2020), se presenta una disminución de la población de hablantes de la lengua indígena.

En las actividades implementadas y los resultados obtenidos, se constató que los pobladores interactúan constantemente con su medio y han desarrollado un conocimiento profundo de los recursos vegetales, así como una tendencia ligeramente mayor en las mujeres. Esta tendencia ha sido similar en otros estudios realizados, donde las mujeres desempeñan un papel importante en el aprendizaje oral de madres o abuelas y la preservación de estos conocimientos (Ruíz *et al*., 2024). Este conocimiento no solo se refleja en la identificación de las especies, sino también en un conocimiento ecológico (ambientes de desarrollo), biológico (formas de vida, reproducción, ciclos), parte usada y el proceso de preparación o el momento de extracción para su uso. Todo ello corresponde a una estrategia compleja de interacciones entre las poblaciones indígenas y su entorno biológico o ecosistemas, y que, a través de cientos o miles de años de experiencia, han desarrollado el conocimiento sobre el uso y manejo de los recursos disponibles (Caballero *et al*., 1998; Heinrich, 2000; Casas *et al.*, 2016a) y la diversidad, como una característica de la SBC, se refleja en los usos que los campesinos hacen en sus localidades (Soto, 2010).

El número de especies identificadas por las personas que asistieron a los talleres, recorridos de campo y entrevistas a profundidad fue relativamente reducido. Este número posiblemente se incremente de manera significativa con la mejora en la comunicación entre los hablantes

de la lengua náhuatl; ampliación del tiempo en el trabajo de campo, que permita considerar la diversidad de comunidades vegetales y condiciones ecológicas muestreadas; visitas en las temporadas seca y húmeda, recolección de las especies y su respectiva validación con las personas de las comunidades. Todo ello, permitirá intensificar los estudios en uno de los ecosistemas más diversos y con un alto porcentaje de endemismos (Ibarra-Martínez *et al*., 2020; Rojas-Martínez y Flores-Olvera, 2019). En un estudio realizado por Rodríguez-Jiménez *et al*. (2005) se encontró el mayor número de endemismos en el estado de Guerrero, con 82 especies exclusivas, comparado con los otros estados ubicados en la cuenca del Balsas. Por otro lado, se han realizado trabajos relacionados con el estudio de la flora (Fernández *et al*., 1998; Pineda-García *et al*., 2007), en los que se muestra la gran diversidad florística en esta región del país, aunque con un número limitado de trabajos enfocados en el conocimiento tradicional de las especies vegetales por las comunidades.

En otras regiones, como en el Valle de Tehuacán, en una superficie significativamente mayor y con la presencia de diversas culturas, comparada con el área de estudio, se han documentado más de 1,600 especies de uso por las culturas en la zona; aproximadamente, el 90 % de ellas se recolectan de poblaciones silvestres (Casas *et al*., 2016a). Por otro lado, se ha reconocido el alto valor del conocimiento tradicional en la generación de tecnologías viables y adaptadas a las condiciones locales para el manejo sustentable de los recursos y, sobre todo, en el diseño de estrategias de conservación y manejo sustentable de la biodiversidad y de los ecosistemas (Casas *et al*., 2014; Casas *et al*., 2016a). Esto se observó en Tenantitlán y Acingo, donde los pobladores identificaron las especies útiles, formas de recolección de la parte usada, sin la destrucción de los individuos y la extracción de solo las cantidades requeridas. Esto evita el riesgo de la pérdida del individuo, permite la regeneración natural y, al final, la estabilidad del ecosistema.

Las categorías de mayor uso por los pobladores fueron en orden de importancia: medicinal, alimenticia y combustible; las cuales es posible relacionar con la necesidad de los pobladores de encontrar alternativas para aliviar sus problemas de salud, alimento y fuente de energía. Las mujeres identificaron un mayor número de especies; esto puede tener relación con el mayor uso de los conocimientos de ellas por tener una relación estrecha con el cuidado de la familia (Ruíz *et al*., 2024).

El conocimiento en el manejo tradicional de los recursos es de gran relevancia ya que puede jugar un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad (Casas *et al*., 2014), ya sea en las comunidades de la vegetación natural, en sus sistemas de cultivo o en parcelas y huertos familiares.

Los pobladores de las comunidades indígenas y campesinas han desarrollado tecnologías y conocimientos para el aprovechamiento de las especies. Las personas identificaron las especies y los lugares de distribución con una descripción detallada de sus formas de crecimiento, las técnicas de recolección, el manejo y los procesos de preparación y las frecuencias de consumo. En este caso, la generación de conocimiento no es solo prueba y error, sino que se fundamenta en un proceso orientado y basado en la observación, la interpretación y la valoración. Estos conocimientos son tan diversos que es posible agruparlos en los siguientes conceptos: distribución, hábitat, momentos de recolección, formas de regeneración, manejo y conservación, domesticación, taxonomía, ecología, etc. (Prance, 1997; Pérez, 2008; Beltrán *et al*., 2012; Ruíz *et al*., 2024).

Conclusiones

El estudio realizado en las dos comunidades demostró la importancia del desarrollo del conocimiento, del diálogo de saberes a nivel individual y comunitario, de la lengua materna, sobre la identificación de las especies, usos, las condiciones ambientales de desarrollo, formas de vida, ciclos, parte usada, formas de uso y conservación de la especie.

La urgencia de ampliar y documentar los saberes de los pobladores de las comunidades, con la finalidad de evitar el riesgo de la pérdida de los conocimientos desarrollados por generaciones, las tecnologías desarrolladas, la conservación local de la biodiversidad y el uso potencial de las especies. De esta forma, se contribuirá al conocimiento de una de las regiones con mayor diversidad vegetal y alto porcentaje de endemismos en el país.

En las comunidades de Tenantitlán y Acingo se mencionaron 101 y 54 especies respectivamente y de acuerdo con su categoría de uso, en orden de importancia fueron: medicinales, alimenticias, combustibles, forrajes, construcción, ceremoniales, cosméticas (elaboración de jabón) y ornamentales.
Los árboles y arbustos fueron las especies de mayor uso, atribuido a su extensa distribución, a su ciclo de vida y a su mayor tolerancia a los efectos adversos del clima en la región.
La densidad de población de varias especies observadas durante los recorridos de campo evidenció la necesidad de definir acciones de recuperación y conservación, como el establecimiento de áreas de exclusión y la regeneración asistida, tendientes a mejorar las condiciones actuales de su desarrollo. Para ello, es necesario identificar las áreas más afectadas y promover especies nativas locales de mayor importancia para los pobladores.

El conocimiento de los usos tradicionales de las especies orienta la posibilidad de un uso potencial a nivel industrial con mayor valor agregado. Esta identificación de uso potencial puede llevar a su cultivo comercial como una alternativa productiva. Este uso potencial debe acompañarse de estudios fitoquímicos sobre la composición química de las especies.

El estudio demostró la interacción entre las comunidades indígenas y los recursos disponibles en su entorno, la cual ha sido fundamental en el desarrollo del conocimiento, en la conservación de la biodiversidad y en la solución de sus necesidades primarias: salud, alimento y vivienda.

Los resultados mostraron un mayor conocimiento del uso de las especies por las mujeres en ambas comunidades, aunque en algunos casos se tuvieron limitaciones en la comunicación por la lengua Náhuatl.

Literatura Citada

– Ángeles-García1, M. Y., Suárez-Torres, J.J., Carrillo-Reyes, P., Peña-Joya, K. y Quijas, S. (2021). Diversidad de plantas leñosas en el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio de Sierra de Vallejo, Nayarit, México. *Botanical Sciences*. 100(1): 2-27. DOI:https://doi.org/10.17129/botsci.2770
– Aquino-Zapata, A. M., Carral-Domínguez, J. R., Delfín-Alfonso, C.A., y Carvajal-

Hernández, C. I. (2026). Riqueza y estructura de vegetación leñosa en selva baja caducifolia con diferentes grados de perturbación en el sureste de México. *Botanical Sciences*. 104 (1): 242-256. DOI: 10.17129/botsci.3765

- Beltrán-Rodríguez, L. A., Martínez-Rivera, B. y Maya, A. P. (2012). Etnoecología de la flor de catarina – *Laelia Autumnalis* (La Llave & Lex.) Lindl.) - (ORCHIDACEAE) en una comunidad campesina al sur del estado de Morelos, México: Conservando un recurso y preservando saberes populares. *Etnobiología*. 10(1): 1-17
- Blanco-Castro, E. (1996). Ideas metodológicas relativas al trabajo de campo etnobotánico. Monografía. *Jardín Botánico Córdoba.* 3: 89-91.
- Caballero, J., Casas A., Cortés L. y Mapes, C. (1998). Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas enpueblos indígenas de México. *Estudios Atacameños*. 16: 181-195. DOI:https://doi.org/10.22199/S07181043.1998.0016.00005
- Casas, A., Camou, A., Otero-Arnaiz, A., Rangel-Landa, S., Cruse-Sanders, J., Solís, L., Torres, I., Delgado, A., Moreno-Calles, A. I., Vallejo, M., Guillén, S., Blancas, J., Parra, F., Farfán-Heredia, B., Aguirre-Dugua, X., Arellanes Y. y Pérez-Negrón E. (2014). Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investigación ambiental*. 6 (2): 23-44.
- Corona, R., Galicia, L., Palacio-Prieto, J. L., Bürgi, M. y Hersperger, A. (2016). Local deforestation patterns and driving forces in a tropical dry forest in two municipalities of southern Oaxaca, Mexico (1985-2006). *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM,* 91: 86-104. DOI: dx.doi.org/10.14350/rig.50918
- Cupido, M., De-Nova, J. A. y Cilia-López, V. G. (2024). Aproximaciones evolutivas en etnobotánica de plantas medicinales y bioprospección. *Botanical Sciences.* 102 (1): 26-38. DOI: 10.17129/botsci.3325
- Fernández, N. R., Concepción Rodríguez, J. C., Maria de la Luz Arreguín, S. Ma. De la L. y Rodríguez, J. A. (1998). Listado florístico de la cuenca del río balsas, México. *Polibotánica*. 9: 1-151
- García-Aguilar, J. A., Vásquez Pérez, Z. I., Leyva-López, J. C, y Enríquez-del Valle, J. R. (2025). Estructura y composición de una porción de selva baja caducifolia en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Ciencia e Innovación Agroalimentaria de la Universidad de Guanajuato*. 06: 88-100.
- Guillermo-Sandoval, E. E., Leopardi-Verde, C. L., Cayetano-Ramírez, F., Alvarado-Segura, A. A., y Escobedo-Sarti, G. J. (2021). Composición y estructura florística de una porción de selva baja caducifolia en Tecomán, Colima, México. *Madera y Bosque.* 27(1): 1-14. DOI: 10.21829/myb.2021.27120911
- Heinrich, M. (2000). Ethnobotany and its Role in Drug Development. *Phytother*. 14: 479-488
- Hoboud, B. M. y Acosta, A. D. A. (2022). Revitalización lingüístico-cultural en contexto. El rol de la etnobotánica y la investigación transdisciplinaria con comunidades de base. *Universidad Verdad*. 81: 40-61. DOI:https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2694
- Hoffman, B. y T Gallaher. (2007). Importance indices in ethnobotany. *Ethnobot. Res. & Appl*. 5: 201-218.
- Ibarra-Manríquez, G., Cornejo-Tenorio, G., Hernández-Esquivel, K.B., Rojas-López, M. y Sánchez-Sánchez, L. (2020). Vegetación y flora vascular del ejido Llano de Ojo de

Agua, Depresión del Balsas, municipio de Churumuco, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 92: 1-31. DOI:https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3482

- León De La L. J. L., Domínguez-Cadena, R., Medel-Narváez, A. (2012). Florística de la selva baja caducifolia de la Península de Baja California, México. *Botanical Sciences.* 90 (2): 143-162
- Madamombe-Manduna, I., Vibrans, H. y Vázquez, G.V. (2009). Género y conocimientos etnobotánicos en México y Zimbabwe. Un estudio comparativo. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 9 (18): 21-48
- Monroy, R. y Ayala, I. (2003). Importancia del conocimiento etnobotánico frente al proceso de urbanización. *Etnobiología*. 3: 79-92
- Pérez, M. A. (2008). Conocimiento y estrategias campesinas en el manejo de los recursos naturales. *Ra Ximhai*, 4(2): 183-213
- Pineda-García, F., Arredondo-Amezcua, L. e Ibarra-Manríquez, G. (2007). Riqueza y diversidad de especies leñosas del bosque tropical caducifolio El Tarimo, Cuenca del Balsas, Guerrero. Revista Mexicana de Biodiversidad 78: 129-139. DOI: http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.396
- Prance, G.T. (1997). The ethnobotany of the Amazon Indians as a tool for the conservation of biological diversity. *Monografía Jardín Botánico de Córdoba* 5:135-143
- Rodríguez-Jiménez, C., Fernández-Nava, R., Arreguín-Sánchez, Ma. De la L. y Rodríguez-Jiménez, A. (2005). Plantas vasculares endémicas de la cuenca del río Balsas, México. *Polibotánica*. 20: 73-99.
- Rojas-Martínez, C. y Flores-Olvera, H. (2019). Florística de la sierra El Pelado, Acatlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 1-26.
- Ruíz, R. J., Méndez, G.M. y Juárez, V. P. Z. (2024). Proyecto modular: Importancia de especies florísticas nativas y domesticadas con propiedades medicinales en Coatecas Altas, Oaxaca. *Revista Científica y Académica.* 4(3): 2617-2635. DOI: https://doi.org/10.61384/r.c.a..v4i3.567
- Casas, A., José Blancas, J., Otero-Arnaiz, A., Cruse-Sanders, J., Lira, R., Avendaño, A., Parra F., Guillén, S., Figueredo, C.J., Torres, I. and Rangel-Landa, S. (2016b). Evolutionary Ethnobotanical Studies of Incipient Domestication of Plants in Mesoamerica. In: Lira, R., Casas, A. and Blancas, J. (Eds.). Etnobotany of Mexico: Interaction of people and plants in Mesoamérica. Springer Science+Business Media New York. 257-285 pp.
- Casas, A., Lira, R., Torres I., Delgado, A., Moreno-Calles, A.I., Rangel-Landa, S., Blancas J., Larios C., Solís L., Pérez-Negrón E., Vallejo M., Parra F., Farfán-Heredia B., Arellanes Y. and Campos, N. (2016a). Ethnobotany for Sustainable Ecosystem Management: A Regional Perspective in the Tehuacán Valley. In: Lira, R., Casas, A. and Blancas, J. (Eds.). Etnobotany of Mexico: Interaction of people and plants in Mesoamérica. Springer Science+Business Media New York. 179-206 pp.
- Martín, G. J. (1995). Etnobotánica, manual de métodos. Pueblos y Plantas 1. Ed. Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. 272 p.
- Soto, J.C. (2010). Plantas útiles de la cuenca del Balsas. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo (eds.), Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México. CONABIO.

285-319 pp.

- Trejo, I. (2005). Análisis de la diversidad de la selva baja caducifolia en México. En: Helffter, G., Soberón, J., Koleff P. & Melic, A. (Eds.). Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma. S. E. A. Zaragoza, España: Monografía Tercer Milenio Vol 4, Cap. 9, 12 p.
- Trejo, I. (2010). Las selvas secas del Pacífico mexicano. En: G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury y R. Dirzo (eds.), Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México. CONABIO. 41-52.
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Patrimonio biocultural, producción artesanal y comercialización de jipi japa (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav.) en Campeche, México

Ricardo Aarón Escalante Tec; Gerardo Alfonso Avilés Ramírez; Karina Verdel Aranda; Norma Laura Rodríguez Ávila

Resumen

La palma de jipi japa (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav.) constituye uno de los recursos vegetales más importantes para la producción artesanal tradicional del norte de Campeche, México. Esta investigación caracterizó los componentes sociales, productivos, culturales y comerciales asociados a la producción artesanal de jipi japa en las comunidades de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda, municipio de Calkiní. Se empleó un enfoque mixto mediante entrevistas semiestructuradas y encuestas aplicadas a 34 artesanos y productores. Se analizaron variables sociodemográficas, sistemas de cultivo, transmisión del conocimiento, producción artesanal, comercialización e ingresos. Los resultados muestran una marcada participación femenina (76.5%) y una fuerte transmisión intergeneracional del conocimiento (100%). Los sombreros (94.1%) y abanicos (88.2%) fueron los productos más frecuentemente elaborados. La venta desde el hogar o taller constituyó el principal canal de comercialización (88.2%), mientras que el regateo fue identificado como el principal desafío para la venta (88.2%). Los ingresos derivados de la actividad artesanal no mostraron una relación significativa con la experiencia acumulada ($\rho = -0.007$, $p = 0.972$). Asimismo, se identificaron vulnerabilidades relacionadas con la degradación de sistemas tradicionales de cultivo, la sustitución de tintes naturales por pigmentos sintéticos y las condiciones de comercialización. Los hallazgos sugieren que fortalecer los sistemas tradicionales de cultivo, mejorar los mecanismos de comercialización y promover la conservación del conocimiento biocultural podría contribuir a la continuidad de esta actividad.

Palabras clave: *Carludovica palmata;* patrimonio biocultural; cadena de valor; artesanía tradicional; desarrollo rural.

Abstract

Jipi japa palm (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav.) is one of the most important plant resources supporting traditional handicraft production in northern Campeche, Mexico. This study characterized the social, productive, cultural, and commercial components associated with jipi japa handicraft production in the communities of Bécal and Santa Cruz Ex-Hacienda, municipality of Calkiní. A mixed-methods approach was employed through semi-structured interviews and surveys conducted with 34 artisans and producers. Sociodemographic characteristics, cultivation systems, knowledge transmission, handicraft production, marketing practices, and income were analyzed. The results revealed a predominance of female participation (76.5%) and strong intergenerational transmission of traditional knowledge (100%). Hats (94.1%) and hand fans (88.2%) were the most frequently produced handicrafts. Direct sales from homes or workshops constituted the main marketing channel (88.2%), while bargaining was identified as the main challenge for product sales

(88.2%). Income derived from handicraft activities showed no significant relationship with accumulated artisanal experience ($\rho = -0.007$, $p = 0.972$). Vulnerabilities related to the degradation of traditional cultivation systems, the replacement of natural dyes with synthetic pigments, and marketing conditions were also identified. These findings suggest that strengthening traditional cultivation systems, improving marketing mechanisms, and promoting the conservation of biocultural knowledge could contribute to the continuity of this activity.

Keywords: *Carludovica palmata;* biocultural heritage; value chain; traditional handicrafts; rural development.

Introducción

Las fibras vegetales han desempeñado un papel fundamental en la historia cultural y económica de numerosas sociedades humanas. En diversas regiones tropicales del mundo, las plantas productoras de fibras constituyen recursos estratégicos para la elaboración de textiles, utensilios domésticos, objetos rituales y artesanías que forman parte de los sistemas locales de subsistencia. Desde una perspectiva etnobotánica, estas especies representan mucho más que simples materias primas, ya que concentran complejos sistemas de conocimiento ecológico tradicional desarrollados a lo largo de generaciones y estrechamente vinculados con la identidad cultural de las comunidades que las utilizan (Turner et al., 2022; Kumar et al., 2021).

En América Latina, una de las especies de mayor relevancia cultural para la producción artesanal es *Carludovica palmata* Ruiz & Pav., conocida comúnmente como palma de jipi japa, palma toquilla o iraca. Aunque taxonómicamente no pertenece a la familia Arecaceae, esta especie monocotiledónea ha sido históricamente aprovechada por diversas poblaciones rurales para la obtención de fibras finas utilizadas en la elaboración de sombreros, cestería y otros productos artesanales de alto valor comercial (Bennett et al., 1992; Perera-Hau et al., 2025).

La importancia económica y cultural de *Carludovica palmata* ha sido ampliamente documentada en países como Ecuador, Colombia y Panamá, donde la producción de sombreros de fibra fina constituye una actividad emblemática que contribuye significativamente a los ingresos familiares y a la preservación de conocimientos tradicionales (Perera-Hau et al., 2025; Cámara-Leret et al., 2014). Sin embargo, diversos estudios han señalado que los procesos contemporáneos de globalización, urbanización y transformación de los mercados artesanales generan presiones crecientes sobre los sistemas tradicionales de producción, amenazando tanto la disponibilidad de la materia prima como la continuidad de los conocimientos asociados a su manejo y transformación (Siqueira et al., 2023).

En México, la palma de jipi japa ocupa un lugar singular dentro del patrimonio cultural del estado de Campeche. Su introducción a la península de Yucatán durante la segunda mitad del siglo XIX propició el desarrollo de una tradición artesanal que alcanzó una notable

especialización técnica en las comunidades del municipio de Calkiní, particularmente en las localidades de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda (Fadiman, 2001; Castellanos-Herrera et al., 2022).

Desde la perspectiva de la conservación biocultural, la producción artesanal de jipi japa representa un sistema complejo donde convergen elementos biológicos, ecológicos, económicos y culturales como se muestra en la Figura 1. El concepto de patrimonio biocultural reconoce precisamente esta interdependencia entre la diversidad biológica y los sistemas culturales desarrollados por los pueblos para gestionar y utilizar los recursos naturales (Berkes, 2018; Reyes-García et al., 2013). Por otra parte, los procesos de transformación y comercialización muestran importantes cambios asociados a las dinámicas contemporáneas del mercado. La incorporación de colorantes sintéticos en sustitución de tintes vegetales tradicionales, la disminución del aprendizaje entre generaciones jóvenes y la creciente dependencia de intermediarios comerciales podrían estar contribuyendo a la erosión gradual de componentes fundamentales del conocimiento tradicional asociado a la especie (Gómez-Baggethun et al., 2013).

Diversos autores han señalado que las cadenas de valor de productos bioculturales suelen caracterizarse por una distribución desigual de beneficios económicos entre los actores involucrados. En numerosos casos, los productores primarios y artesanos reciben únicamente una pequeña proporción del valor final generado por sus productos, mientras que intermediarios, distribuidores y comercializadores concentran una parte significativa de las ganancias (Kaplinsky y Morris, 2001; Gereffi y Fernandez-Stark, 2016).

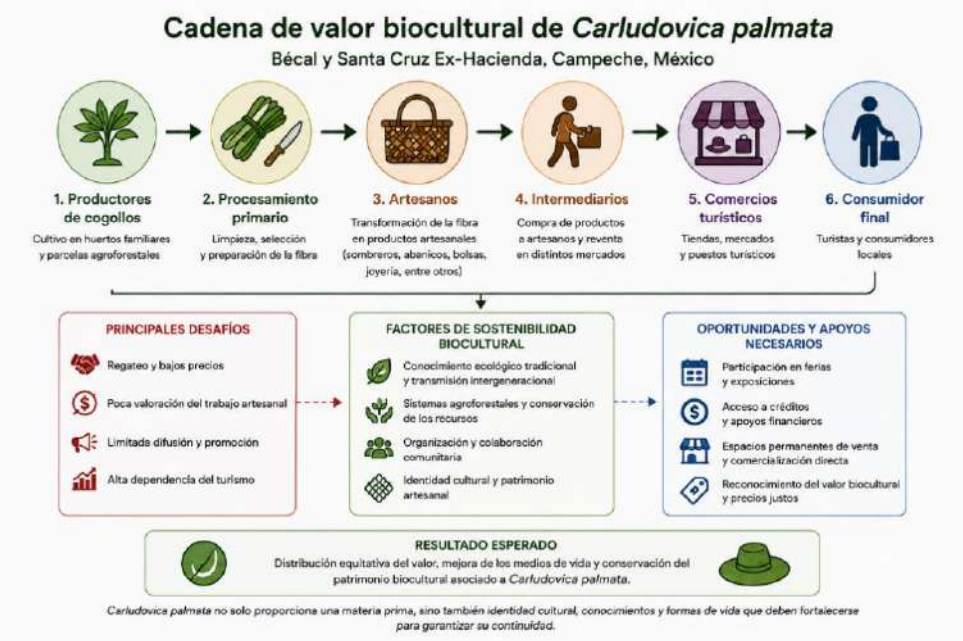


Figura 1. Modelo conceptual de la cadena de valor biocultural de Carludovica palmata en localidades de Calkiní, Campeche, México. Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de este estudio fue caracterizar los componentes sociales, productivos, culturales y comerciales asociados a la producción artesanal de *Carludovica palmata* en Bécal y Santa

Cruz Ex-Hacienda, Calkiní, Campeche, con énfasis en la transmisión del conocimiento, la diversificación productiva, los mecanismos de comercialización y la relación entre experiencia artesanal e ingresos. Se planteó que las condiciones de producción y comercialización difieren entre Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda y que la experiencia artesanal no necesariamente se relaciona con mayores ingresos.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en las localidades de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda, pertenecientes al municipio de Calkiní, en el norte del estado de Campeche, México como se muestra en la Figura 2. Bécal se localiza a los 20°26'33" N y 90°01'42" O, a una altitud aproximada de 15 m s.n.m., mientras que Santa Cruz Ex-Hacienda se ubica a los 20°20'01" N y 90°06'15" O, a una altitud cercana a 9 m s.n.m.

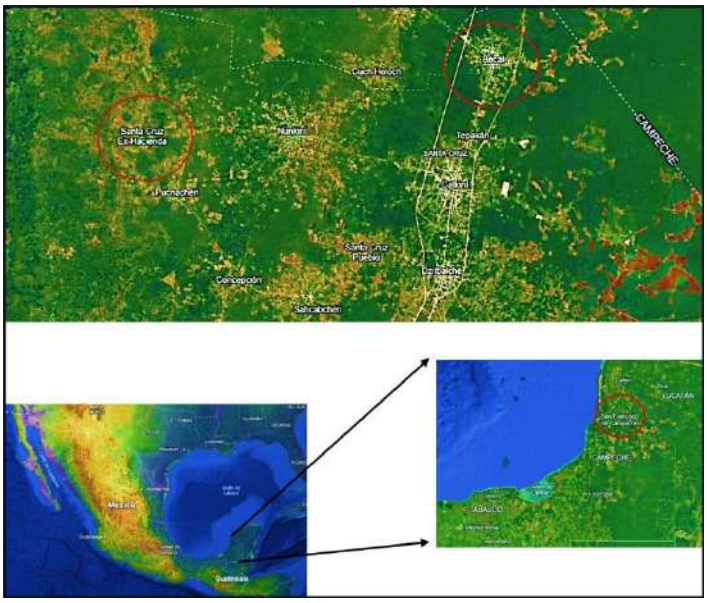


Figura 2. Ubicación geográfica de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda, municipio de Calkiní, Campeche, México. Fuente: Elaboración propia.

La región presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperaturas medias anuales entre 26 y 28 °C y precipitación media anual superior a 900 mm. Las condiciones ambientales favorecen el establecimiento de sistemas agroforestales tradicionales donde se cultiva Carludovica palmata bajo sombra parcial proporcionada por especies forestales y frutales. Ambas localidades poseen una larga tradición vinculada a la producción artesanal de jipi japa. Bécal es reconocida como el principal centro artesanal de sombreros de jipi japa en México, mientras que Santa Cruz Ex-Hacienda constituye uno de los principales sitios de producción de cogollos destinados al abastecimiento regional de materia prima.

La información se obtuvo mediante la aplicación de un cuestionario semiestructurado compuesto por 23 preguntas agrupadas en cinco secciones: características sociodemográficas, producción y comercialización, aspectos económicos, desafíos y oportunidades, y cultivo y manejo de la especie. El instrumento incluyó preguntas cerradas

de respuesta única y múltiple, así como preguntas abiertas para documentar prácticas de manejo, percepciones culturales y aspectos económicos relevantes.

Se realizaron 34 entrevistas presenciales a artesanos y productores activos de jipi japa mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. El carácter no probabilístico de la muestra limita la generalización de los resultados al conjunto de artesanos de la región. Los participantes fueron seleccionados con base en su disponibilidad y participación directa en las actividades de cultivo, procesamiento o comercialización de la fibra. Las entrevistas se llevaron a cabo en domicilios, talleres y espacios de venta, con una duración aproximada de 30 a 45 minutos.

Los datos fueron capturados y organizados en Microsoft Excel® y posteriormente analizados utilizando Python 3.11 mediante las bibliotecas Pandas, SciPy y Matplotlib. Se calcularon estadísticas descriptivas (frecuencias, porcentajes, medias, medianas y rangos) para caracterizar la población estudiada. Para evaluar la asociación entre la localidad de procedencia y los tipos de productos elaborados se utilizó la prueba exacta de Fisher, debido al tamaño reducido de la muestra y a la presencia de frecuencias esperadas bajas en las tablas de contingencia. La relación entre los años de experiencia artesanal y los ingresos mensuales se evaluó mediante el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). Finalmente, se realizó un análisis de coocurrencia para explorar la relación entre los principales desafíos identificados por los artesanos y los apoyos institucionales requeridos. Las preguntas utilizadas para este último análisis permitían seleccionar múltiples respuestas, por lo que las opciones fueron codificadas de manera binaria (presencia/ausencia) y se contabilizaron las frecuencias de ocurrencia conjunta entre categorías.

Consideraciones éticas

La investigación siguió los principios éticos internacionales para estudios etnobiológicos. La participación fue voluntaria y cada informante fue previamente informado sobre los objetivos del estudio. La información proporcionada fue utilizada exclusivamente con fines académicos y científicos. Se garantizó la confidencialidad de los participantes mediante la anonimización de los datos personales.

Resultados y Discusión

Caracterización sociodemográfica

La muestra estuvo conformada por 34 participantes, de los cuales el 76.5% correspondió al sexo femenino y el 23.5% al masculino. La edad promedio fue de 46.8 años y la experiencia media dentro del oficio alcanzó 20.7 años. La elevada participación de mujeres confirma el papel central que desempeñan en la conservación y transmisión de los conocimientos asociados al tejido de jipi japa.

Aprendizaje y transmisión del conocimiento

El 100% de los entrevistados indicó haber aprendido el oficio a través de familiares directos como muestra en la Figura 3. Este resultado evidencia la importancia de la transmisión vertical del conocimiento como mecanismo principal de continuidad cultural.

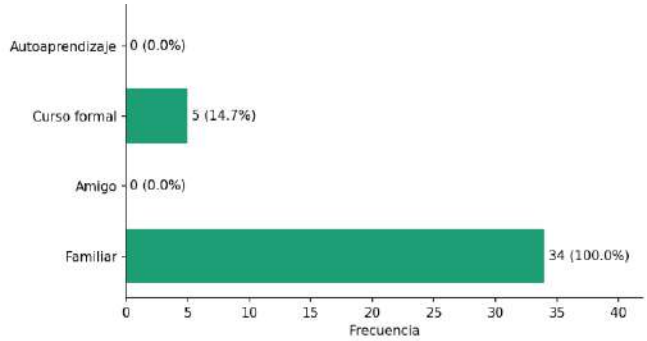


Figura 3. Fuente de aprendizaje del oficio artesanal.

Diversidad de productos artesanales

Los sombreros (94.1%) y abanicos (88.2%) constituyeron los productos más frecuentes como se muestra en la Figura 4. Los artesanos de Bécal presentaron una mayor frecuencia de elaboración de algunos productos respecto a Santa Cruz Ex-Hacienda.

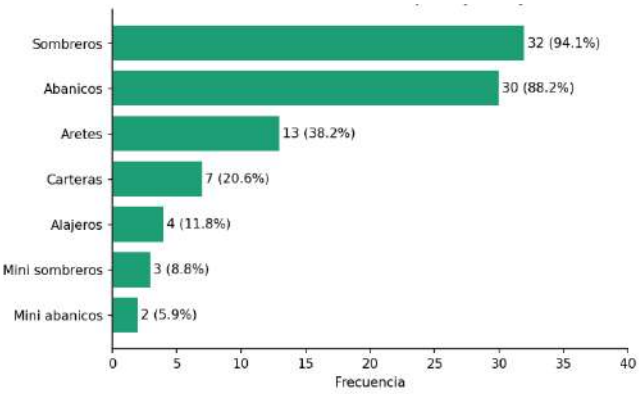


Figura 4. Frecuencia de elaboración por tipo de producto.

Comercialización artesanal

La venta desde el hogar o taller representó el principal canal comercial (88.2%) Como se muestra en la Figura 5. La participación en plataformas digitales y mercados externos fue limitada. El turismo local constituyó el principal segmento consumidor. Las categorías no son mutuamente excluyentes debido a que los participantes podían seleccionar más de un canal de comercialización.

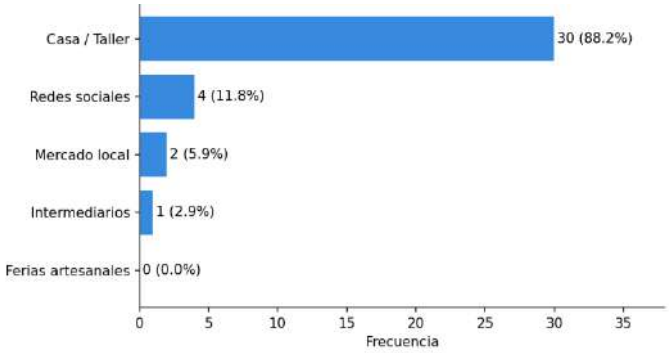


Figura 5. Canales de comercialización utilizados.

Desafíos para comercialización

El regateo fue identificado como el principal desafío por el 88.2% de los encuestados (30 personas) como se muestra en la Figura 6. La falta de apreciación del producto fue mencionada por 9 (26.5%). Solo 1 encuestado (2.9%) señaló el marketing en redes sociales como desafío central.

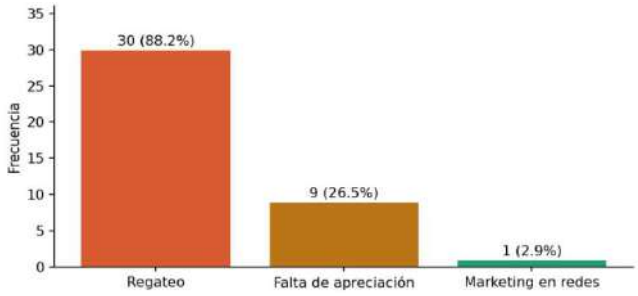


Figura 6. Principal desafío para la venta de productos

Localidad y tipo de productos elaborados

Se aplicó la prueba exacta de Fisher para evaluar la asociación entre la localidad y cada tipo de producto. Los p-valores reportados corresponden a valores no ajustados Tabla 1. Los artesanos de Bécal presentaron una mayor frecuencia de elaboración de algunos productos: el 100% elabora abanicos (vs. 71% en Santa Cruz, $p = 0.022$), el 55% elabora aretes (vs. 14%, $p = 0.030$) y el 35% carteras (vs. 0%, $p = 0.026$). En sombreros no hubo diferencia significativa.

Cuadro 1. Prueba exacta de Fisher para la asociación entre localidad y tipo de producto ($p < 0.05$).*

Producto	Bécal (n=20)	Santa Cruz (n=14)	p-valor (Fisher)
Sombreros	20 (100%)	12 (86%)	0.162
Abanicos	20 (100%)	10 (71%)	0.022 *
Aretes	11 (55%)	2 (14%)	0.030 *
Carteras	7 (35%)	0 (0%)	0.026 *

Fuente. Python 3.11 utilizando scipy.stats

Desafío principal y apoyo deseado (co-ocurrencia)

La matriz de co-ocurrencia muestra que los artesanos que identifican el regateo como principal problema demandan prioritariamente acceso a ferias más grandes y apoyo financiero como se muestra en la Figura 7. Los que señalan falta de apreciación del producto tienden a pedir espacios de venta permanentes y capacitación en marketing. Las preguntas utilizadas para este último análisis permitían seleccionar múltiples respuestas.

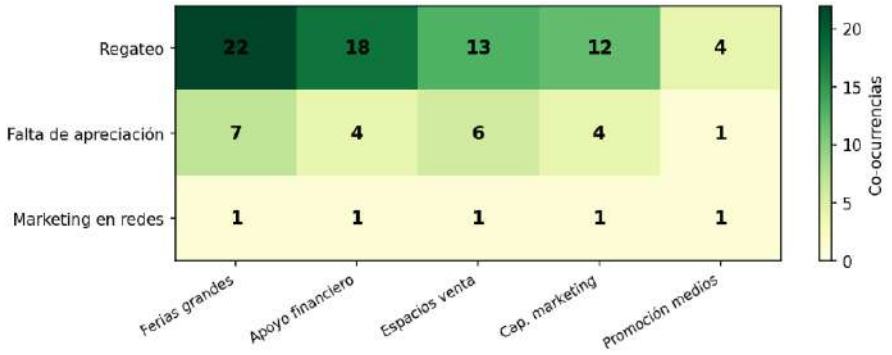


Figura 7. Matriz de co-ocurrencia: Desafío identificado vs. Apoyo deseado

Años de experiencia e ingresos mensuales

La correlación de Spearman entre años de experiencia e ingresos mensuales fue $\rho = -0.007$ ($p = 0.972$, $n = 34$), confirmando ausencia de correlación estadísticamente significativa como se muestra en la Figura 8.

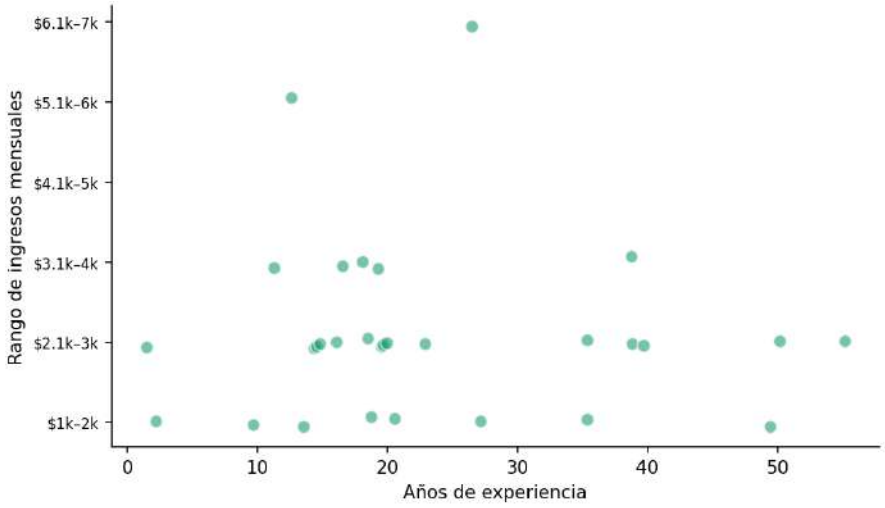


Figura 8. Correlación de Spearman: Años de experiencia vs. Ingresos mensuales estimados

La ausencia de asociación entre experiencia e ingresos sugiere que otros factores relacionados con las condiciones de comercialización podrían influir en los ingresos

obtenidos. Este resultado sugiere que los ingresos no están determinados por la trayectoria artesanal sino por factores estructurales del mercado (regateo, tipo de producto, dependencia turística) y que otros factores relacionados con la estructura de comercialización podrían tener mayor influencia sobre los ingresos.

Los resultados obtenidos en las comunidades de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda evidencian que la artesanía basada en *Carludovica palmata* constituye un sistema biocultural complejo en el que convergen componentes ecológicos, económicos, sociales y culturales. La producción artesanal de jipi japa no puede entenderse únicamente como una actividad económica, ya que representa simultáneamente una estrategia de subsistencia familiar, un mecanismo de transmisión intergeneracional de conocimientos tradicionales y una expresión de identidad cultural regional.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio fue que el 100% de los artesanos aprendieron el oficio a través de familiares, confirmando que la transmisión vertical del conocimiento continúa siendo el principal mecanismo de reproducción cultural de esta actividad. Este resultado coincide con los planteamientos de Toledo y Barrera-Bassols (2008), quienes señalan que la memoria biocultural se mantiene mediante procesos continuos de aprendizaje familiar que permiten la transferencia de conocimientos ecológicos, técnicos y simbólicos entre generaciones.

La elevada participación femenina observada en ambas comunidades fortalece esta interpretación. Las mujeres no solamente constituyen la mayoría de los artesanos entrevistados, sino que además acumulan las trayectorias más extensas dentro del oficio. Este patrón ha sido documentado en otros sistemas artesanales basados en fibras vegetales de América Latina, donde las mujeres desempeñan funciones fundamentales en la conservación y transmisión de conocimientos tradicionales asociados al procesamiento de materias primas, técnicas de tejido y diseño de productos.

Desde una perspectiva de conservación biocultural, este resultado adquiere especial relevancia porque la continuidad de la tradición depende directamente de la permanencia de estos procesos de aprendizaje. Maffi (2005) sostiene que la diversidad cultural y la diversidad biológica están estrechamente vinculadas, por lo que la pérdida de conocimientos tradicionales puede generar efectos negativos sobre la conservación de los recursos biológicos utilizados por las comunidades. En el caso de la jipi japa, la disminución del interés de las generaciones jóvenes podría comprometer tanto la continuidad del oficio como el mantenimiento de los sistemas de cultivo que proveen la materia prima.

La diferencia observada entre Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda también resulta significativa. Mientras Bécal concentra los mayores niveles de experiencia artesanal y especialización técnica, Santa Cruz presenta una población relativamente más joven y con menor tiempo de práctica. Esta situación puede interpretarse como una oportunidad para la renovación generacional, aunque también revela posibles riesgos asociados a la pérdida progresiva de técnicas complejas que requieren largos periodos de aprendizaje.

Los sistemas de cultivo tradicionales como reservorios de diversidad biocultural

Los sistemas de producción identificados en el estudio muestran una estrecha relación entre la conservación de la especie y las prácticas tradicionales de manejo del territorio. La

presencia predominante de la palma en solares familiares coincide con las características de los agroecosistemas tradicionales mayas descritos por diversos autores para la Península de Yucatán.

Estos sistemas representan verdaderos reservorios de diversidad biológica y cultural. A diferencia de los monocultivos convencionales, los solares integran especies forestales, frutales, medicinales y ornamentales en arreglos complejos que generan múltiples beneficios ecológicos y económicos. La presencia de árboles de sombra asociados al cultivo de *Carludovica palmata* contribuye al mantenimiento de condiciones microclimáticas adecuadas para el desarrollo de la planta y favorece la conservación de la biodiversidad local.

Sin embargo, los testimonios obtenidos indican la existencia de amenazas relacionadas con la degradación de los suelos, la reducción de espacios disponibles para el cultivo y la limitada renovación de plantaciones. Estas tendencias coinciden con problemáticas reportadas para otros productos forestales no maderables en América Latina, donde las transformaciones del uso del suelo afectan la disponibilidad de recursos tradicionalmente utilizados por las comunidades rurales.

La situación observada en Santa Cruz Ex-Hacienda resulta particularmente interesante debido al desarrollo de sistemas de producción comercial destinados al abastecimiento regional de cogollos. Aunque este modelo contribuye a garantizar el suministro de materia prima para numerosos artesanos, también podría generar presiones sobre la sostenibilidad del recurso si no se implementan prácticas adecuadas de manejo y renovación de plantaciones.

Ticktin (2004) señala que la sostenibilidad de los productos forestales no maderables depende de la capacidad de las comunidades para equilibrar la extracción con la regeneración de los recursos utilizados. En consecuencia, el fortalecimiento de estrategias de manejo adaptativo podría constituir una herramienta fundamental para garantizar la disponibilidad futura de materia prima.

Diversificación artesanal y especialización productiva

Los resultados muestran una importante diversificación en los productos elaborados a partir de la fibra de jipi japa. Aunque los sombreros continúan siendo el producto emblemático de la región, la elaboración de abanicos, aretes, carteras y otros objetos artesanales demuestra la capacidad de adaptación de los artesanos frente a las demandas cambiantes del mercado.

La mayor diversificación observada en Bécal probablemente refleja el elevado nivel de especialización técnica alcanzado por los artesanos de esta comunidad. Históricamente, Bécal ha sido reconocida como el principal centro productor de sombreros finos de jipi japa en México, desarrollando técnicas de tejido altamente especializadas que permiten la elaboración de piezas de gran calidad.

Este proceso de diversificación puede interpretarse como una estrategia de resiliencia económica. Diversos estudios sobre artesanías tradicionales han demostrado que la ampliación de la oferta de productos permite reducir la dependencia de mercados específicos y mejorar la capacidad de adaptación frente a fluctuaciones en la demanda.

No obstante, la innovación productiva plantea desafíos importantes relacionados con la conservación de la identidad cultural. La incorporación de nuevos diseños y productos debe realizarse de manera compatible con la preservación de los conocimientos y técnicas tradicionales que constituyen el principal valor patrimonial de la actividad.

Desigualdad en la cadena de valor y vulnerabilidad económica

Uno de los resultados más relevantes del estudio es la limitada rentabilidad económica percibida por los artesanos. A pesar de la elevada experiencia acumulada y del reconocimiento cultural de sus productos, los ingresos generados por la actividad permanecen relativamente bajos.

La ausencia de correlación significativa entre años de experiencia e ingresos constituye un hallazgo particularmente importante. En condiciones de mercado eficientes, cabría esperar que los artesanos con mayor experiencia obtuvieran mayores beneficios económicos debido a la calidad superior de sus productos. Sin embargo, los resultados sugieren que factores externos al conocimiento técnico ejercen una influencia más importante sobre los ingresos obtenidos.

La tendencia a la dependencia del turismo local aparece como uno de los principales factores explicativos de esta situación. Cuando la demanda depende predominantemente de visitantes ocasionales, los productores enfrentan una elevada vulnerabilidad frente a fluctuaciones económicas, fenómenos climáticos o crisis sanitarias que afecten el flujo turístico.

Adicionalmente, la presencia de intermediarios genera una distribución desigual del valor económico a lo largo de la cadena productiva. Esta problemática ha sido ampliamente documentada en sistemas de comercialización de productos forestales no maderables, donde los productores suelen recibir una proporción reducida del valor final generado por sus productos.

La percepción generalizada del regateo como principal problema de comercialización refuerza esta interpretación. Más allá de la reducción inmediata de ingresos, el regateo contribuye a la desvalorización simbólica del trabajo artesanal al invisibilizar el tiempo, la habilidad y el conocimiento requeridos para producir cada pieza.

Erosión del conocimiento etnobotánico asociado a los tintes naturales

Otro aspecto relevante identificado durante la investigación fue la sustitución progresiva de tintes vegetales por colorantes sintéticos. Aunque esta transición puede ofrecer ventajas en términos de disponibilidad, uniformidad y rapidez de aplicación, también implica riesgos importantes para la conservación del conocimiento tradicional.

Las especies tintóreas documentadas forman parte de un complejo sistema de conocimientos ecológicos que incluye procesos de identificación, recolección, manejo, extracción y aplicación de pigmentos naturales. La pérdida de estas prácticas podría reducir significativamente la diversidad de conocimientos asociados a la artesanía.

Desde la perspectiva de la diversidad biocultural, la desaparición de estos saberes representa una forma de erosión cultural comparable a la pérdida de especies biológicas. Diversos autores han señalado que la conservación efectiva del patrimonio biocultural requiere

proteger no solamente los recursos utilizados, sino también los conocimientos y prácticas que permiten su aprovechamiento sostenible.

La revalorización comercial de productos teñidos con colorantes naturales podría constituir una estrategia eficaz para incentivar la conservación de estos conocimientos. En mercados especializados, los atributos asociados a la autenticidad, sostenibilidad y origen tradicional suelen generar oportunidades para la diferenciación de productos artesanales.

Conclusiones

La producción artesanal basada en *Carludovica palmata* constituye uno de los sistemas bioculturales más representativos del norte de Campeche. Los resultados demuestran que la permanencia de esta actividad depende de la interacción entre la conservación del recurso vegetal, la transmisión intergeneracional del conocimiento tradicional y la viabilidad económica de la cadena de valor.

La elevada participación femenina y la predominancia del aprendizaje familiar evidencian que las mujeres continúan desempeñando un papel central en la conservación del patrimonio cultural asociado a la jipi japa. Este conocimiento representa un componente fundamental de la memoria biocultural regional y constituye un mecanismo esencial para la continuidad de la actividad artesanal.

Los sistemas tradicionales de cultivo descritos por los participantes constituyen espacios de manejo de *C. palmata* asociados a prácticas y conocimientos ecológicos locales. Sin embargo, la degradación progresiva de estos sistemas podría comprometer la disponibilidad futura de materia prima para la actividad artesanal.

A pesar del alto nivel de especialización técnica observado entre los artesanos, los beneficios económicos derivados de la actividad son limitados. La ausencia de relación entre experiencia e ingresos sugiere que factores estructurales del mercado, como la dependencia turística, el regateo y la intermediación comercial, ejercen una influencia más importante sobre la rentabilidad que la propia calidad artesanal.

La sustitución gradual de tintes naturales por colorantes sintéticos representa una amenaza adicional para la conservación del conocimiento etnobotánico tradicional. Este proceso implica la pérdida potencial de saberes relacionados con la identificación, manejo y aprovechamiento de especies vegetales utilizadas históricamente en la producción artesanal.

Los resultados permiten concluir que entre las principales vulnerabilidades identificadas no solo se encuentran los factores ecológicos, sino también a la interacción de factores económicos, ecológicos y culturales que afectan la continuidad del oficio. La conservación efectiva de este patrimonio biocultural requiere estrategias integrales que fortalezcan simultáneamente la producción sostenible de materia prima, la transmisión del conocimiento tradicional y el acceso de los artesanos a mercados más justos y competitivos.

Entre las acciones prioritarias destacan el fortalecimiento de organizaciones de productores y artesanos, el desarrollo de canales de comercialización directa, la promoción de certificaciones de origen y la implementación de programas de conservación de sistemas agroforestales tradicionales.

Finalmente, las comunidades de Bécal y Santa Cruz Ex-Hacienda representan un ejemplo sobresaliente de interacción entre diversidad biológica y diversidad cultural. La preservación de la artesanía de jipi japa no solamente contribuye a mejorar los medios de vida rurales, sino que constituye una estrategia fundamental para la conservación del patrimonio biocultural de la Península de Yucatán.

Este trabajo fue apoyado por el Tecnológico Nacional de México [números de subvención 23312.25-P y 25751.26-P]; la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [subvención SECIHTI número 2070718]

Literatura citada

- Berkes, F. (2018). Sacred ecology (4th ed.). Routledge.
- Gereffi, G., & Fernandez-Stark, K. (2016). Global value chain analysis: A primer. Duke University Center on Globalization, Governance & Competitiveness.
- Kaplinsky, R., & Morris, M. (2001). A handbook for value chain research. International Development Research Centre.
- Maffi, L., & Woodley, E. (2010). Biocultural diversity conservation: A global sourcebook. Earthscan.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Icaria Editorial.
- Bennett, B. C., Alarcón, R., & Cerón, C. (1992). The ethnobotany of Carludovica palmata Ruiz & Pavón (Cyclanthaceae) in Amazonian Ecuador. Economic Botany, 46(3), 233–240. https://doi.org/10.1007/BF02866622
- Cámara-Leret, R., Paniagua-Zambrana, N., Balslev, H., & Macía, M. J. (2014). Ethnobotanical knowledge is vastly under-documented in northwestern South America. PLOS ONE, 9(1), e85794. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085794
- Castellanos-Herrera, A. V., Bacab-Sánchez, J. R., Cruz-Doriano, S., & López-Ponce, M. E. (2022). The continuity of the traditional teaching of jipijapa weaving in the town of Bécal, Campeche. ECORFAN Journal-Republic of El Salvador, 8(14), 30–38. https://doi.org/10.35429/EJRS.2022.14.8.30.38
- Fadiman, M. (2001). Hat weaving with Jipi, Carludovica palmata (Cyclanthaceae) in the Yucatan Peninsula, Mexico. Economic Botany, 55(4), 539–544. https://doi.org/10.1007/BF02871716
- Gómez-Baggethun, E., Corbera, E., & Reyes-García, V. (2013). Traditional ecological knowledge and global environmental change: Research findings and policy implications. Ecology and Society, 18(4), 72. https://doi.org/10.5751/ES-06288-180472
- Kumar, A., Kumar, S., Komal, Ramchiary, N., & Singh, P. (2021). Role of traditional ethnobotanical knowledge and indigenous communities in achieving sustainable development goals. Sustainability, 13(6), 3062. https://doi.org/10.3390/su13063062
- Maffi, L. (2005). Linguistic, cultural and biological diversity. Annual Review of Anthropology, 34, 599–617.
- Perera-Hau, L. A., Santillán-Fernández, A., Aguilar-Gallegos, N., Alamilla-Magaña, J. C., González-Estrada, T. A., & Caamal-Velázquez, J. H. (2025). Meta-analysis of scientific information on the species Carludovica palmata Ruíz & Pavón. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida, 42(2), 122–135. https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.08

- Siqueira, G., Guimarães, H. M., Pastre, B. H. T., & Horák, M. (2023). Conocimiento ecológico tradicional en América Latina: Una revisión crítica de la literatura. Universidad-Verdad, 1(82), 12–29. https://doi.org/10.33324/uv.v1i82.638
- Ticktin, T. (2004). The ecological implications of harvesting non-timber forest products. Journal of Applied Ecology, 41, 11–21.
- Turner, N. J., Richardson, M., & Ignace, M. B. (2022). Well grounded: Indigenous Peoples' knowledge, ethnobiology and sustainability. People and Nature, 4(2), 254–267. https://doi.org/10.1002/pan3.10321

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

El jardín de plantas medicinales UACAM: Un *Pet Koot* atemporal en Campeche, México

Efraín Aguirre Cortés[12], Jorge Albino Vargas Contreras [2], Geucilio Guadalupe Cabrera Mis [2]

Resumen

Los agroecosistemas tropicales, forman parte de un complejo método de cultivo destinado a distintas funciones: la milpa, la roza – tumba – quema, el manejo de la vegetación secundaria, el solar, el huerto, jardín y el *Pet Koot*, conforman una base sólida para la subsistencia de millones de personas en el mundo, integrando cientos de especies de plantas ornamentales, frutales, medicinales con fauna silvestre y doméstica cerca de las casas habitación. Las civilizaciones mesoamericanas originarias resguardan un gran conocimiento ancestral sobre el uso de las plantas medicinales para tratar enfermedades. Los médicos tradicionales han adaptado el conocimiento heredado a través de la inclusión de especies llegadas en la conquista europea. En México, cientos de especies de plantas siguen siendo utilizadas siguiendo los recetarios, protocolos y procedimientos específicos que la medicina tradicional establece. La flora de la Península de Yucatán cuenta con más de 2000 especies, de las cuales 500 son utilizadas con fines medicinales, adaptadas a las condiciones ambientales y sociales locales. En este trabajo se muestra una breve descripción de los agroecosistemas peninsulares, con énfasis en el *Pet Koot*, un método de manejo que circunscribe especies con usos particulares mediante la intervención humana y la interacción de las condiciones ambientales locales. El jardín de plantas medicinales *Pet Koot* de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) ubicado en la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, alberga 68 especies de plantas y 42 géneros. Las plantas son utilizadas principalmente para los sistemas digestivo, excretor y reproductor, pero también para condimentos, ornato, comestibles y especies estructurales que preservan el patrimonio biocultural de esta región de México.

Palabras clave: agroecosistemas, composición de especies, etnobotánica, manejo forestal, Mayas

Abstract

Tropical agroecosystems are a complex farming method designed for multipurpose uses: milpa, solar, huerto, garden and *Pet Koot* shape solid basis for million peoples ´s subsistence around the world, integrating hundreds of plan species for ornamental, fruits, medicine with wild and domesticated fauna near household. Mesoamerican civilizations protect huge ancient knowledge about medicine plants for treat diseases. Traditional medicine man adapts this inherited knowledge through the inclusion of introduced species in European conquest.

[1] Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). México
[2] Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar S/N entre Calle 20 y Juan de la Barrera. Col. Buenavista. CP 24039. San Francisco de Campeche, Campeche, México

In Mexico, hundreds of plants species are still being used with specific traditional medicine stablished in recipe books, protocols and procedures. Yucatan Peninsula´s flora has nearly 2000 species, 500 for medicine uses, adapted to local environmental and social conditions. In this work we show a brief description of peninsular agroecosystems with emphasis on *Pet Koot*, a forest management method that circumscribes plant species for specific uses through human intervention and local environmental conditions. University Autonomous of Campeche´s (UACAM) Medicine plant garden *Pet Koot* safeguard 68 species and 42 genera. Plants are used mainly in digestive, excretory and reproductive systems, but they include condiments, ornament, food and structural species that preserves this Mexican biocultural heritage.

Key words: agroecosystems, ethnobotany, forest management, Mayas, plant species composition

Introducción

Los paisajes culturales son una representación de los vínculos entre las comunidades humanas y su entorno natural (Fischer, Hartel y Kuemmerle, 2012; Rössler, 2006), donde interactúan, simultáneamente, valores ecológicos, biológicos y culturales para el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales (Phillips, 2002). El estudio del paisaje permite identificar el cambio del entorno natural con base en la dinámica generada colectivamente, sea por el uso de los recursos o por el simbolismo del lugar de estudio, con énfasis en la transformación y los cambios ambientales derivados de las acciones humanas por factores demográficos, migratorios, económicos, ecológicos, entre otros (Urquijo, 2020).

El estudio de los paisajes culturales integra la visión ecológica con distintas áreas del conocimiento donde la etnobotánica, las plantas medicinales y los médicos tradicionales son particularmente relevantes debido a la gran heterogeneidad biocultural de México y de extensas regiones como la Península de Yucatán (PY) donde se integran una gran diversidad biológica, agrobiodiversidad, la agroforestería y sistemas de cultivo construidos a partir de la interacción ancestral entre las personas y los ecosistemas que los rodean (Moreno Calles et al ., 2016). En 100 años, se hipotetiza, dio inició el denominado colapso (en debate) de la civilización Maya, probablemente debido a una crisis ambiental (Turner y Sabloff, 2012) derivada de una sobre explotación de los recursos naturales, lo que provocó un éxodo al norte de la península (Peterson y Haugh, 2005). El siglo XVI fue un parteaguas en la historia de México, la Península de Yucatán y otros países de Mesoamérica; del siglo XVII al XIX hubo escasa población en Campeche y Quintana Roo ya que las actividades humanas se centraron, principalmente en el estado de Yucatán, aunque enormes extensiones de selvas se deforestaron para la extracción de maderas preciosas y otros productos (Sluyter, 2004). En consecuencia, los elementos culturales y ecológicos se modificaron (Fischer et al., 2012), así

como la percepción de los servicios ecosistémicos por parte de los pobladores (Martín-López et al., 2012).

La diversidad biológica de la PY es evidente al enumerar la gran cantidad de asociaciones y tipos de vegetación (Islebe et al., 2015); la flora peninsular se compone por 2329 especies de plantas de los cuales 110 son endémicos de la PY (Carnevalli et al., 2010) y poco más de 400 especies corresponden al componente arbóreo (Ibarra et al., 2002). La población peninsular ha utilizado, desde hace siglos, la gran diversidad de recursos vegetales para distintos propósitos y hasta 23 categorías de usos: comestible, medicinal, ornamental, melífera, maderable, leña, construcción, forraje, religioso, colorante, insecticida, sombra, artesanías, condimentos, entre otros (Valencia Gutiérrez et al., 2023).

El análisis desde una perspectiva etnoecológica de los mayas yucatecos contemporáneos realizada por Barrera-Bassols y Toledo (2005) encontró en dos rasgos de la cultura maya actual a dos mecanismos esenciales de resiliencia socio-ambiental: i) su conceptualización sagrada de la salud, de balance o equilibrio precario, aplicado de manera multi escalar desde el propio cuerpo humano, la casa, el huerto y la parcela, hasta la comunidad y el mundo entero o universo; y ii) su estrategia de uso múltiple de la naturaleza que privilegia, a escala de la unidad doméstica, el aprovechamiento de toda una variedad de recursos naturales, tanto para fines de subsistencia como para su intercambio económico local y regional (Toledo et al., 2008; Rivera Núñez et al., 2020).

El paisaje maya ancestral se componía de distintas configuraciones y métodos de cultivo multifuncionales que formaban parches o jardines de vegetación determinados por las condiciones de los sitios: material parental, fertilidad, humedad y profundidad del suelo bajo distintos arreglos denominados, genéricamente, como manejo forestal (Brokaw et al., 2024). Los huertos familiares son agroecosistemas productivos basados en el autoconsumo y la subsistencia, siendo parte de un sistema complejo de uso múltiples, donde la milpa, la roza – tumba – quema, el manejo de la vegetación secundaria (*Hubché* en maya), el cultivo de hortalizas (*Pach pakal)* y el solar o huerto integra fauna silvestre y doméstica con plantas ornamentales, frutales, medicinales alrededor de las casas (García de Miguel, 2000; Cahuich et al., 2016). Los policultivos forestales (*Pet Koot* en maya), es un método de cultivo establecido en círculos de piedra (Gómez Pompa et al., 1987; Rivera Nuñez et al., 2020) en la PY. El *Pet Koot* se caracteriza por estar conformado con círculos que albergan un conjunto particular de especies vegetales, cuya estructura y composición son distintas a las distribuidos en las selvas regeneradas naturalmente. Estos parches de vegetación están limitados por estructuras sólidas, principalmente muros de piedras para la protección de estas plantas útiles. La intervención humana en los *Pet Koot* consiste en la siembra y protección de las especies seleccionadas, nativas e introducidas (Gómez Pompa et al., 1987; Rico Gray y García Franco, 1991) algunas de las cuales, denominadas estructurales o dominantes, son principalmente

árboles frutales nativos e introducidos (García de Miguel, 2000; Ruenes y Montañez, 2016; Castañeda et al., 2018).

En este contexto, las plantas medicinales representan un recurso natural utilizado por portadores especializados en este conocimiento para la prevención, diagnóstico, alivio y curación de enfermedades, dolencias y padecimientos (Bernal et al. 2011). En México, el uso de plantas medicinales es ancestral: la salud en las culturas mesoamericanas se atendía con tratamientos para tratar enfermedades físicas y mentales (Can Ortiz et al., 2017) utilizando hojas, flores, tallo o raíz de las plantas donde se concentran los principios activos que producen efectos curativos mediante dosis adecuadas, generalmente muy bajas (Iannitti et al., 2016; Foroughbakcch et al., 2019) a través del consumo directo o en infusiones (Guzmán Maldonado et al., 2017; Lara Reimers, 2023). Algunas de las afecciones más frecuentemente reportadas son las gastrointestinales, respiratorias y de la piel (Méndez y Durán, 1997). En la vasta geografía peninsular, el conocimiento y uso que se tiene de las plantas está estrechamente vinculado al tipo de vegetación que rodea a las áreas urbanas y rurales, por lo que se han reportado cientos de especies medicinales que representan el uso más frecuente (Méndez y Durán, 1997; Durán García Et al., 2016).

La flora medicinal maya peninsular es considerada una de las más ricas del mundo (Anderson et al., 2005), resultado de un profundo conocimiento etnobotánico médico que se adaptó a las condiciones ambientales y sociales locales en las que se asentaron los mayas peninsulares prehispánicos (Huicochea et al., 2014). La PY es reconocida por el grado de conocimiento ecológico tradicional y por el uso conferido a gran parte de las 2 300 especies de plantas, de las cuales entre 680 y 812 especies (Méndez y Durán 1997) tienen uso medicinal (Carnevali et al., 2010; Islebe et al., 2015), 145 comestibles y 130 maderables (Dupuy et al., 2015). La tradición médica de los Mayas ha sido documentada desde finales del siglo XVI, aunque la preservación de este conocimiento fue plasmada en los libros Mayas *Chilam Balam*, *Popol Vuh*, los cuales tenían además de las plantas, a los herbolarios como eje central para conservar o reestablecer la salud (Ocampo Rosales, 2025) física y mental a través de ceremonias, ofrendas, rituales, bebidas, terapias, baños, entre otras técnicas que buscan curar enfermedades con dos cualidades de las plantas: su rareza y efectividad (Hirose López, 2025). En estos documentos, en conjunto, se identifican y describen 176 especies de plantas de las cuales 78 % son nativas de la zona maya y 10 domesticadas en Mesoamérica, señalando 43 especies de uso medicinal para padecimientos digestivos, hepáticos, linfáticos, nerviosos, oftálmicos, del oído, piel, reproductivos, respiratorios, sanguíneos, urinarios y otros (Pérez Martín, et al., 2020). En ese contexto, es necesario que el uso y conservación de los recursos naturales incluyan en la importancia biológica y ecológica de las especies un manejo integral que considere a los factores bioculturales y sociales (Chan-Quijano et al., 2024).

Actualmente, la Red Nacional de Jardines Etnobiológicos (RENAJEB) de México, es creada en 2023 con los objetivos de visibilizar, resguardar, recuperar, intercambiar y difundir el

conocimiento etnobiológico y de la riqueza biocultural del país. Esta propuesta presenta estrategias y líneas de acción para apoyar distintos objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (Lizama Pérez et al., 2025). En este trabajo se presentan las especies resguardadas en el jardín de plantas medicinales de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche, el cual tiene como uno de sus objetivos preservar especies vegetales con énfasis en la preservación de las técnicas y métodos de manejo ancestrales a partir del cultivo de especies de plantas peninsulares.

Materiales y Métodos

El terreno para el establecimiento del jardín de plantas medicinales se eligió cumpliendo las siguientes características: un espacio abierto y sin uso ubicado en el Campus V de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB) de la Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) al norte de la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche (figura 1).



Figura 1. Instalaciones de la FCQB – UACAM rodeadas de selva mediana. Imagen: A. Serrano R.

La superficie asignada al jardín es de 240 m^2 (30 x 8 m) y se encuentra ubicada en la porción norte de la FCQB – UACAM a un costado de la carretera antigua Campeche - Mérida. El

diseño del jardín consta de 12 circunferencias de 3 m de diámetro, representando cada uno de ellos a los sistemas corporales humanos reproductor, muscular, excretor, respiratorio, digestivo, circulatorio, esquelético, tegumentario, endocrino, sensorial, nervioso y linfático (figura2).



Figura 2. Antes y después de la colocación de los círculos del jardín. Fotografías: G. Cabrera M.

La siembra de las especies vegetales se realizó mediante directo trasplante en suelo, en macetas, estructuras de madera y metal buscando las condiciones de su hábitat natural. Se colocó malla sombra para proteger las plantas contra la irradiación del sol y mejorar la cantidad de luz, temperatura y humedad para las plantas, logrando unas condiciones más favorables para su desarrollo y crecimiento. Una vez establecidas, se realizó mantenimiento, limpieza, poda y riego diario por las mañanas o tarde. El material vegetal pasó por un periodo

de cuarentena con el propósito de evitar la proliferación de hongos, insectos y plagas que pudieran afectar a otras especies de plantas.

El tratamiento de ingreso al jardín se realizó de la siguiente manera:

Raíz. Se desinfectó el material y se colocó en bolsa negra de polietileno hasta alcanzar el tamaño adecuado para su posterior siembra,

Estaca. Se utilizó una hormona enraizadora previo a su colocación en bolsas plásticas.

Rizoma. Se sembró directamente al suelo, posterior al período de cuarentena.

Semilla. Se germinaron en bolsas plásticas y en maceteros hasta que las plántulas alcanzaron una talla adecuada.

Los nombres comunes y científicos y clasificaciones taxonómicas actualizadas de las especies fueron verificados en las bases de datos The Global Biodiversity Information Facility (www.gbfi.org) y Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (www.cicy.mx).

Resultados

Actualmente, se cuenta con 68 especies de plantas, 53 nativas, 13 introducidas pertenecientes a 44 Familias. Los sistemas corporales con mayor número de especies utilizadas son el digestivo, excretor reproductor y con 10, 9 y 8 plantas respectivamente, seguido del nervioso, endocrino y tegumentario con 7 plantas cada uno. Las familias más representadas son Lamiaceae y Euphorbiaceae con 5 y 4 especies, respectivamente. Siete especies son consideradas estructurales (cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de especies del jardín de plantas medicinales de la UACAM. * Especie estructural. Sistemas: T: tegumentario; D: digestivo; M: muscular; N: nervioso; REP: reproductor; RES: respiratorio; C: circulatorio; ES: esquelético; L: linfático; EX: excretor; EN: endócrino; S: sensorial. INT: Introducida; NAT: Nativa.

Familia	**Especie**	**Nombre común**	**Sistema**	**Origen**
Asphodelaceae	*Aloe vera (L.)* Burm. f.	Sábila	T	INT
Bromeliaceae	*Ananas comosus* (L.) Merr	Piña	D	INT
Araceae	*Anthurium schlechtendalii* Kunth	*Pool boox*	M	NAT
Acanthaceae	*Aphelandra scabra (Vahl)* Sm.	*Chakanal*	N	NAT
Asclepiadaceae	*Asclepias curassavica* L.	*Pool kuuts'*	REP	NAT
Fabaceae	*Bauhinia divaricata* L.	*Ts'uruntok'*	RES	NAT
Bixaceae	*Bixa orellana* L.	Achiote	D	NAT

Nytaginaceae	*Bougainvillea spectabilis* Willd.	Bogambilia	RES	INT
Bromeliaceae	*Bromelia karatas* L.	*Ch'oom*	C	NAT
Malpighiaceae	*Bunchosia swartziana* Griseb.	*Sipche'*	ES	NAT
Burseraceae	*Bursera excelsa* (Kunth) Engl.	*Nabanche'*	L	NAT
Burseraceae	*Bursera simaruba* (L.) Sarg.	*Chaká* *	T	NAT
Cannaceae	*Canna indica* L.	Platanillo	EX	NAT
Caricaceae	*Carica papaya* L.	*Puut*	REP	NAT
Apocynaceae	*Cascabela gaumeri* (Hemsl.) Lippold	Campanita	N	NAT
Urticaceae	*Cecropia peltata* L.	Guarumbo	EX	NAT
Chenopodiaceae	*Chenopodium ambrosioides* L.	Epazote	REP	NAT
Rutaceae	*Citrus aurantium* L.	Naranja agria *	N	INT
Euphorbiaceae	*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.	Chaya silvestre *	REP	NAT
Euphorbiaceae	*Cnidoscolus chayamansa* McVaugh	Chaya *	L	NAT
Bixaceae	*Cochlospermun vitifolium* (Willd.) Spreng.	*Chuum*	EN	NAT
Boraginaceae	*Cordia dodecandra* DC.	Ciricote	D	NAT
Poaceae	*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf	Zacate limón	N	NAT
Dioscoreaceae	*Dioscorea sp.*	*Macal*	RES	NAT
Ebenaceae	*Diospyros anisandra* S. F. Blake	*K'aalche'*	T	NAT
Moraceae	*Dorstenia contrajerva* L.	*Kambal jau*	D	NAT
Apocynaceae	*Echites yucatanensis* Millsp. ex Standl.	*Kalis aak'*	N	NAT
Euphorbiaceae	*Euphorbia tithymaloides* L.	*Ya'ax jalal che'*	T	NAT
Zygophyllaceae	*Guaiacum sanctum* L.	Guayacán	D	NAT
Fabaceae	*Haematoxylum campechianum* L.	Tinto	EN	NAT
Rubiaceae	*Hamelia patens* Jacq.	*Xk'anan*	EN	NAT
Malvaceae	*Helicteres baruensis* Jacq.	*Sutup*	S	NAT
Malvaceae	*Hibiscus sabdariffa* L.	Jamaica	EX	INT
Cactaceae	*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose	Pitahaya *	EX	NAT
Convolvulaceae	*Ipomoea batatas* (L.) Lam.	Camote	EX	NAT
Convolvulaceae	*Ipomoea carnea* Jacq.	*Choko kat*	EX	NAT
Rubiaceae	*Ixora coccinea* L.	Cocinera	REP	INT

Euphorbiaceae	*Jatropha gaumeri* Greenm.	*Pomol che'*	S	NAT
Verbenaceae	*Lantana camara* L.	*Mo'ol peek'*	T	NAT
Lamiaceae	*Mentha spicata* L.	Mentha	D	INT
Rubiaceae	*Morinda royoc* L.	*Jooyok'*	T	NAT
Annonaceae	*Mosannona depressa* (Baill.) Chatrou	*Éelemuy*	EX	NAT
Lamiaceae	*Ocimum basilicum* L.	Albaca	N	NAT
Lamiaceae	*Ocimum campechianum Mill.*	*X kakaltuum*	T	INT
Cactaceae	*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill.)	Nopal	D	NAT
Lamiaceae	*Origanum sp.*	Orégano	EN	INT
Cactaceae	*Pachycereus pringlei* (S.Watson) Britton & Rose	Cardón	EN	NAT
Asteraceae	*Parthenium hysterophorus* L.	*Jaway*	EN	NAT
Phytolaccaceae	*Petiveria alliacea* L.	*Páay che'*	ES	NAT
Lamiaceae	*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng	Óregano	D	INT
Asteraceae	*Pluchea carolinensis* (Jacq.) G. Don	*Chal che'*	REP	NAT
Myrtaceae	*Psidium guajava* L.	Guayaba *	D	NAT
Lythraceae	*Punica granatum* L.	Granada	C	INT
Rutaceae	*Ruta chalepensis* L.	Ruda	REP	INT
Asparagaceae	*Sansevieria trifasciata* Prain	Lengua de suegra	REP	INT
Selaginellaceae	*Selaginella convoluta* (Arn.) Spring	*Xmuch'uuch'*	EX	NAT
Fabaceae	*Senna sp.*	Frijolillo	RES	NAT
Solanaceae	*Solanum donianum* Walp.	*Chal che'*	REP	NAT
Anacardiaceae	*Spondias sp.*	Ciruela *	L	NAT
Bignoniaceae	*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC.	*Jok'ab mak'ulis*	EN	NAT
Bignoniaceae	*Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth	*K'an lool*	EN	NAT
Commelinaceae	*Tradescantia spathacea* Sw.	Maguey morado	D	NAT
Orchidaceae	*Vanilla sp.*	Vainilla	C	NAT
Solanaceae	*Withania somnifera* (L.) Dunal	Ginseng indio	N	INT
Zamiaceae	*Zamia prasina* W. Bull	*Chak wa*	T	NAT
Rutaceae	*Zanthoxylum caribaeum* Lam.	*Si nan' che'*	S	NAT
Poaceae	*Zea mayz* L.	Maíz	EX	NAT
Zingiberaceae	*Zingiber officinale* Roscoe	Jengibre	C	INT

La transformación del espacio utilizado por el jardín ha permitido la interacción con especies de distintos grupos taxonómicos debido a factores como la disponibilidad de agua, así como la cercanía a la matriz de vegetación que rodea las instalaciones del Campus V de la UACAM. Es probable que, la selva mediana circundante al jardín sea fuente de propágulos y que arriben especies vegetales que se establecen en condiciones naturales. Sin embargo, la marcada estacionalidad, falta de agua durante meses y la escasa profundidad del suelo generan condiciones adversas para el establecimiento, sobrevivencia y reproducción de las plantas.

Discusión

El número de especies con las que cuenta actualmente el jardín se encuentra en el intervalo reportado para sistemas agroforestales del estado de Campeche: 43 – 311 especies de plantas (García de Miguel, 2000; Góngora, 2014; Neulinger et al., 2016; Ruenes y Montañez, 2016), donde un conjunto de especies les dan forma y estructura a los sistemas agroforestales con una mezcla de especies perennes arbóreas nativas (guanábanas, ramón, nance, chayas, huayas, zapotes, guayabas) e introducidas (cítricos, plátanos, mangos, tamarindos, cocos) que, consistentemente, son las mismas en el trópico húmedo y subhúmedo mexicano (Ruenes y Montañez, 2016; Castañeda et al., 2018). Las especies estructurales muestran un patrón recurrente en la composición florística de al menos la mitad de los sistemas agroforestales peninsulares (García de Miguel, 2000) incluyendo los huertos y *Pet Koot* que protegen las especies útiles seleccionadas ancestralmente por los mayas (Rico Gray y García Franco, 1991). Estos agroecosistemas son espacios donde el ser humano ha seleccionado a las especies vegetales con base en las necesidades de la población local, preservando las características estructurales y procesos ecológicos que se desarrollan de manera natural (Moreno Calles et al., 2016) en las selvas.

La falta de eficacia, efectos secundarios, costos y a veces escasez de medicamentos y tratamientos alopáticos, potencian el uso de los conocimientos locales, el arraigo cultural y la herbolaria para la atención de la salud requiriendo conocer el olor, dureza, tamaño, color, textura, forma de las plantas, sus flores, frutos, raíces, cortezas, así como información sobre el tipo de suelo, vegetación, localización y distribución geográfica (Huicochea et al., 2021). El uso de recetarios médicos establece la recolección, temporalidad, dosis e instrucciones precisas sobre el uso de las plantas apegado a una estructura que incluye el nombre de la enfermedad, su diagnóstico, sintomatología y análisis estableciendo una nomenclatura, descripción, dosificación, preparación y administración de las plantas con dosis precisas (Ocampo Rosales, 2025).

Los parches de vegetación modificados intencionalmente por el ser humano configuro a las actuales selvas peninsulares a través de distintas técnicas de manejo de las especies aprovechables las cuales son encontradas comúnmente en los jardines de los hogares dotando

de refugio a una gran cantidad de especies útiles que permiten resistir la variabilidad climática (Nigh y Diemont, 2013). La riqueza florística de los huertos familiares en la PY oscila entre 46 y 310 especies aprovechadas incluyendo árboles, arbustos y herbáceas, así como especies nativas e introducidas, algunas de las cuales son consideradas estructurales, generalmente árboles frutales manejados ancestralmente, además de especies como cítricos, plátano, mango, tamarindo, coco (Ruenes y Montañez, 2016). Los jardines botánicos son espacios ampliamente extendidos en el mundo y con gran presencia en México donde se conservan ex situ a una gran cantidad de especies y el patrimonio biocultural nacional, por lo que actualmente se cuenta con 40 sitios dedicados a preservar la diversidad biológica vegetal conservando cerca de 5 000 especies (Lizama Pérez et al., 2025). En consecuencia, la importancia de estos espacios de conservación adquiere mayor relevancia, puesto que la medicina convencional se ha caracterizado cada vez más por escasez de medicamentos, personal médico y costos elevados (Huicochea Gómez, et al., 2021).

Conclusiones

Los sistemas agroforestales multipropósito como el *Pet Koot*, han jugado un papel muy importante en la subsistencia de grupos humanos asentados en áreas tropicales del planeta. Esta arboricultura y silvicultura basada principalmente en especies locales, ha subsistido a pesar de la pérdida de cobertura forestal y el recambio generacional en gran parte del mundo. La población del sur de México, región con una gran riqueza biocultural y a la par con alto grado de desigualdad, es proclive en consecuencia a padecer afecciones y tasas de mortalidad más altas que otras zonas del país, por lo que el mantenimiento de estos reservorios de especies vegetales es fundamental para la supervivencia de millones de personas.

Las plantas sembradas en el jardín cumplen con múltiples funciones biológicas y culturales en el contexto de los huertos peninsulares en un sentido amplio, con la particularidad de que su inclusión en el jardín universitario se derivó de la necesidad permanente de contar con fuentes alternativas para la obtención de medicinas asequibles y permanentes, así como del compromiso institucional de compartir la información ancestral sobre el uso de las plantas en un entorno académico, donde las nuevas generaciones incorporan los saberes tanto en sus clases teórico – prácticas como en la práctica común en la vida cotidiana.

Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Campeche por las facilidades prestadas para realizar este trabajo. A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca posdoctoral para el primer autor, en el marco del Proyecto “Funcionalidad ecosistémica en paisajes culturales del sur de la Península de Yucatán”. Al Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) de la SECIHTI por la beca 35120 del segundo autor

Referencias

- Barrera-Bassols, N., y Toledo, V. M. (2005). Ethnoecology of the Yucatec Maya: Symbolism, knowledge and management of natural resources. *Journal of Latin American Geography* 9–41. https://doi:10.1353/lag.2005.0021.
- Brokaw, N., Ward, S. E., Beach, T., Luzzadder-Beach, S., Walling, S., Cortés-Rincón, M. y F. Valdéz. (2025). The ancient Maya and the modern forest. *Biotropica.* 57(1), e13370. https://doi.org/10.1111/btp.13370
- Can Ortiz, G. O., Aguilar Cordero, W. D. J., y Ruenes Morales, R. (2017). Médicos tradicionales mayas y el uso de plantas medicinales, un conocimiento cultural que continúa vigente en el municipio de Tzucacab, Yucatán, México. *Teoría y Praxis*, 21, 67-89. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456150029005
- Cahuich-Campos, D., Huicochea Gómez, L. y Mariaca Méndez, R. (2016). *Importancia de la presencia de la flora medicinal en los huertos familiares en X-Mejía, Hopelchén, Campeche*. 91-112. En: Alayón Gamboa, J.A. y Morón Ríos, A. (Eds.). El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural para sustentar los modos de vida campesinos en Calakmul, México: El Colegio de la Frontera Sur. ISBN: 978-607-7637-90-5.
- Carnevali Fernández Concha, G., Tapia Muñoz, J.L., Duno de Stefano, R. y I.M. Ramírez Morillo (Eds.). (2010). *Flora ilustrada de la Península de Yucatán listado florístico*. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
- Castañeda Navarrete, J., Lope Alzina, D.G. y Ordoñez, M. de J. (2018). *Los huertos familiares en la península de Yucatán.* 331-389. En: Ordoñez Díaz, M. de J. (Coord.) Atlas biocultural de huertos familiares en México: Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y península de Yucatán. México: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 9786073014007.
- Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY). (2026). Home Page. Disponible en: https://www.cicy.mx [24 Julio 2026]
- Chan-Quijano JG, Cach-Pérez MJ, Velasco-Alcudia C. y Zabicki-Duardo, E.I. (2024). *Manejo de los recursos naturales y los problemas del conocimiento.* 65 – 92. En: Chan-Quijano JG, Cach Pérez MJ (coords). Manejo sostenible de los recursos naturales: experiencias y retos a futuro. Jalisco, México: Universidad Autónoma de Guadalajara, Editorial Folia.
- Dupuy Rada, J.M., Durán García, R., García Contreras, G., Arellano Morín, J., Acosta Lugo, E., Méndez González, M.E. y Andrade, M. (2015). 169 – 193. *Conservation and Use*. En: Islebe G., Calmé S., León-Cortés J. y Schmook B. (Eds.) Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula. Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06529-8_3.
- Durán García, R., Méndez González, M. y Larqué Saavedra, A. (2016). The Biodiversity of the Yucatan Peninsula: A Natural Laboratory. *Progress in Botany* 78: 237-258. https://doi.org/10.1007/124_2016_8
- Fischer, J., Hartel, T., y Kuemmerle, T. (2012). Conservation policy in traditional farming landscapes. *Conservation Letters*. 5, 167–175. https://doi: 10.1111/j.1755-263X.2012.00227.x

- Foroughbakhch Pournavab, F., Hernández Vázquez, J., y Villareal Garza, J. A. (2019). *Plantas medicinales descripción, propiedades, principios activos, uso terapéutico y dosis*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Fuentealba, B. y González Esquivel, C. (2016). *Sistemas silvopastoriles tradicionales en México*. 240-261. En: Moreno-Calles AI, Casas A, Toledo V, Vallejo M. (Compiladores) Etnoagroforestería en México. México: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 978-607-01-8641-4
- García de Miguel, J. (2000). Etnobotánica Maya: Origen y evolución de los Huertos Familiares de la Península de Yucatán, México. Tesis Doctoral. España: Universidad de Córdoba.
- The Global Biodiversity Information Facility (GBIF) (2026), GBIF Home Page. Disponible en: https://www.gbif.org [24 Julio 2026]
- Gómez – Pompa, A., Salvador, J. y Sosa, V. (1987). El "Pet Kot": Una selva artificial de los Mayas. (1987). *Interciencia* 12 (1): 10-15.
- Gómez – Pompa, A. (1991). Learning from traditional ecological knowledge: insights from mayan silviculture. *Rain forest regeneration and management* 6: 335-341.
- Guzmán Maldonado, S. H., Díaz Huacuz, R. S., y González Chavira, M. M. (2017). Plantas medicinales la realidad de una tradición ancestral. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?/=1044
- Hirose López, J. (2025). *Reflexiones en torno al concepto de lo "sagrado" en las plantas medicinales de los mayas peninsulares*. 235-258. En: Valverde Valdés, M del C., Contreras Romero, R. y Sotelo Santos, L. (Coords.). Plantas sagradas mayas. Tradiciones y reelaboraciones. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-587-653-5
- Huicochea Gómez, L., Mondragón Ríos, R., Hirose López, J., Vargas Huicochea, I., y Cahuich Campos, D. (2021). 185-198. *Diversidad de creencias y prácticas alternativas y complementarias para la atención de la salud en grupos urbanos del sureste de México. Entre los determinantes estructurales y las experiencias cotidianas*. En: Huicochea Gómez, L. (Coord). Adversidades, memorias y territorios. Agencia y cambio social en el sureste mexicano. El Colegio de la Frontera Sur. E-ISBN: 978-607-8767-43-4.
- Iannitti, T., Morales-Medina, J. C., Bellavite, P., Rottigni, V., y Palmieri, B. (2016). Effectiveness and Safety of Arnica montana in Post-Surgical Setting, Pain and Inflammation. *American Journal Therapeutics*, 23(1), e184-97. https://doi:10.1097/MJT.0000000000000036
- Ibarra-Manríquez, G., Luis Villaseñor, J., Durán, R. y J. Meave. (2002). Biogeographical analysis of the tree flora of the Yucatan Peninsula. *Journal of Biogeography*. (29): 17–29. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00648.x
- Islebe, G.A., Sánchez-Sánchez, O., Valdéz-Hernández, M. y Weissenberger, H. (2015). *Distribution of Vegetation Types*. 39-53. En: Islebe G., Calmé S., León-Cortés J. y Schmook B. (Eds.) Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula. Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06529-8_3.
- Lara Reimers, E.A., García Hernández, A.R., Cruz García, F., Uresti Duran, D., Gonzáles Fuentes, J.A., Encina Domínguez, J.A. y Uribe Salazar, Y. (2023). Estudio de plantas

medicinales en el municipio de Pachuca de Soto Hidalgo, México. *Polibotánica*, (55), 197-211. Recuperado de https://doi.org/10.18387/polibotanica.55.13

- Lizama Pérez, F., Huicab García, Y., Sánchez Albores, A. C. y Landero Valenzuela, K. (Coords). (2025). *Jardines Etnobiológicos Alternativa de gestión turística sostenible y conservación de la biodiversidad. Centro de Investigación y Desarrollo*. https://doi.org/10.37811/cli_w1260
- Martín-López, B., Iniesta-Arandia, I., García-Llorente, M., Palomo, I., Casado-Arzuaga, I., García del Amo, D., Gómez-Baggethum, E., …Montes, C. (2012). Uncovering ecosystem service bundles through social preferences. *PloS ONE*, 7(6), e38970. https://doi: 10.1371/journal.pone.0038970
- Méndez, M., y Durán, R. (1997). Diagnóstico del conocimiento etnobotánico actual de las plantas medicinales de la Península de Yucatán. *Botanical Sciences*, (60), 15-24.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Toledo, V. M., y Vallejo, M. (2016*). Etnoagroforestería en México, los proyectos y la idea del libro*. 10-24. En: Moreno-Calles AI, Casas A, Toledo V, Vallejo M. (Compiladores) Etnoagroforestería en México. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 978-607-01-8641-4
- Neulinger, K., Alayón-Gamboa, J.A. y Reinhard Vogl, Ch. (2014). *Uso de la diversidad vegetal para su conservación en los huertos familiares de grupos étnicos en Calakmul, Campeche*. 56-73. En: Alayón Gamboa, J.A. y Morón Ríos, A. (Eds.). El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural para sustentar los modos de vida campesinos en Calakmul, México: El Colegio de la Frontera Sur. ISBN: 978-607-7637-90-5.
- Nigh., R. y Diemont, S. (2013). The Maya milpa: fire and the legacy of living soil. Frontiers in *Ecology and the Environment*, 11(s1), e45-e54. https://doi:10.1890/120344
- Ocampo Rosales, M. G. R. (2025). *Manos que confieren poder: los médicos mayas, ah dzacoob y las plantas sagradas.* 179-204. En: Valverde Valdés, M del C., Contreras Romero, R. y Sotelo Santos, L. (Coords.). Plantas sagradas mayas. Tradiciones y reelaboraciones. México: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-587-653-5
- Pérez Martín, C., Escalante Rebolledo, S., Vergara Yoisura, S. y Larqué Saavedra, A. (2020*). Las plantas de los libros sagrados mayas Popol Vuh (Pop Wuj) y Chilam Balam*. 390 páginas. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. ISBN: 9786077823414
- Peterson, L. C. y G.H. Haug. (2005). Climate and the collapse of Maya civilization: A series of multi-year droughts helped to doom an ancient culture. *American Scientist*. 93(4), 322-329.
- Phillips, A. (2002). *Directrices de manejo para las áreas protegidas de la categoría V de la UICN: Paisajes terrestres y marinos protegido*s. Reino Unido: UICN Gland, Suiza and Cambridge. Disponible en: https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/PAG-009-Es.pdf
- Rico Gray, V. y García Franco, J.G. (1991). The Maya and the vegetation of the Yucatan Peninsula. *Journal of Ethnobiology* 11 (1): 135-142.
- Rivera-Núñez, T., Fargher, L. y Nigh, R. (2020). Toward an Historical Agroecology: An academic approach in which time and space matter. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(8), 975-1011.

- Rössler, M. (2006). World heritage cultural landscapes: a UNESCO flagship programme 1992-2006. *Landscape Research*, 31(4), 333–353. https://doi: 10.1080/01426390601004210
- Ruenes Morales, M del R. y Montañez Escalante, P. I. (2016). *Comprensión de la diversidad biocultural de los huertos de la península de Yucatán*. 95-107. En: Moreno Calles, A.I., Casas, A., Toledo, V.M. y Vallejo Ramos, M. (Compiladores). Etnoagroforestería en México. México: Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 978-607-01-8641-4
- Sluyter, A. (2004*). Los orígenes ecológicos y las consecuencias de la ganadería en la Nueva España durante el siglo XVI. De las marismas de Guadalquivir a la costa de Veracruz: Cinco perspectivas sobre cultura ganadera. Veracruz, México*. México: Instituto Veracruzano de Cultura.
- Toledo, V. M., N. Barrera-Bassols, E. García-Frapolli y Alarcón-Chaires, P. (2008). Uso múltiple y biodiversidad entre los mayas yucatecos (México). *Interciencia* 33 (5):345–52.
- Turner, B. L. y Sabloff, J.A. (2012). Classic Period collapse of the Central Maya Lowlands: Insights about human–environment relationships for sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(35): 13908-13914. https://doi.org/10.1073/pnas.1210106109.
- Urquijo, P. S. (2020). *Paisaje cultural: un enfoque pertinente. Huellas en el paisaje, geografía, historia y ambiente en las Américas*, 17-38. En: Urquijo Torres, Pedro S. y Boni Noguez, Andrew F. [coordinadores]. Huellas en el paisaje. Geografía, historia y ambiente en las Américas. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Valencia Gutiérrez, M del C., Cabrera Mis, G.G., López Méndez, M. del R. y L.A. Manzanero Acevedo. (2023). Las plantas. Patrimonio Natural Sustentable de Campeche. México: Universidad Autónoma de Campeche. ISBN: 978-607-8907-13-7

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Saberes locales asociados a las variedades de maíz nativo del municipio de Comapa, Veracruz, México

Estrella Yamilet Paredes Caval[1], Alejandra Ramírez Martínez[2], Gustavo López Romero[3], Elizabeth León García[4]

Resumen

En el municipio de Comapa, Veracruz, las familias campesinas conservan variedades de maíz nativo y los saberes asociados a su selección, manejo y aprovechamiento. Sin embargo, la información publicada sobre estos saberes en el municipio es limitada. El objetivo del presente estudio fue documentar los saberes locales asociados al maíz nativo. El estudio se realizó en 15 localidades del municipio de Comapa, Veracruz. La investigación combinó la observación en campo con entrevistas estructuradas a 31 productores de maíz y 31 personas responsables de la preparación de alimentos en el hogar, de las cuales tres correspondieron a los mismos productores entrevistados. Las entrevistas fueron grabadas y transcritas para su posterior análisis. Los participantes fueron seleccionados mediante la técnica de bola de nieve. Se identificaron cinco variedades de maíz nativo reconocidas localmente por el color del grano: blanco, crema, morado o negro, rojo y amarillo, además de la presencia de maíz híbrido de grano blanco. Se documentaron saberes locales relacionados con las prácticas de selección y conservación de semillas, manejo del cultivo y usos productivos y alimentarios del maíz. Los resultados muestran que estos saberes se construyen a partir de la experiencia y se transmiten entre generaciones, aunque presentan cambios en algunas prácticas, particularmente en la preparación de alimentos. Los conocimientos de productores y personas responsables de la preparación de alimentos corresponden a experiencias diferentes que se relacionan con las distintas formas de manejo y aprovechamiento del maíz nativo.

Palabras clave: maíz nativo, saberes locales, variedades, familias campesinas

Abstract

In the municipality of Comapa, Veracruz, farming families preserve native corn varieties and the knowledge associated with their selection, management, and use. However, published information regarding this knowledge in the municipality is limited. The objective of this study was to document local knowledge associated with native corn. The study was conducted in 15 localities within the municipality of Comapa, Veracruz. The research combined field observation with structured interviews with 31 corn producers and 31 individuals responsible for household food preparation three of whom were the same producers interviewed. The interviews were recorded and transcribed for subsequent

[1] Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. CP 91690. Correo electrónico: paredes.estrella@colpos.mx
[2] Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. CP 91690. Correo electrónico: ramirez.alejandra@colpos.mx
[3] Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. México. CP 91690. Correo electrónico: gustavolr@colpos.mx
[4] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental La Posta, Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 22.5, Paso del Toro, Medellín de Bravo, Veracruz. México. CP 94277. Correo electrónico: eliibq@gmail.com

analysis. Participants were selected using the snowball sampling technique. Five native corn varieties, locally recognized by kernel color: white, cream, purple or black, red, and yellow, were identified, alongside the presence of white kernel hybrid corn. Local knowledge regarding seed selection and conservation practices, crop management, and the productive and culinary uses of corn was documented. The results show that this knowledge is built from experience and transmitted between generations, although they present changes in some practices, particularly in food preparation. The knowledge held by producers and those responsible for food preparation stems from diverse experiences linked to the various ways native maize is managed and utilized.

Keywords: native corn, local knowledge, varieties, farming families

Introducción

En las comunidades rurales, los saberes locales se construyen y transmiten a partir de la experiencia directa con el territorio y el sentido de pertenencia al ecosistema (Maldonado & García, 2022). En este sentido, Toledo (2005) propone el sistema complejo de corpus, praxis y kosmos, que integra los conocimientos, las prácticas productivas y los sistemas de creencias construidos mediante la apropiación y el tejido social. Asimismo, Toledo (2012) destaca la interacción permanente entre el ser humano y la naturaleza, que describe como un metabolismo, expresado en prácticas, valores y formas de conocimiento orientadas a la observación, el uso y el cuidado de los recursos naturales.

Debido a la diversidad de formas en que estos saberes se construyen y transmiten, en la literatura han sido abordados mediante diversas denominaciones, como conocimientos tradicionales, locales, campesinos o indígenas, entre otras. Estas denominaciones se emplean según el contexto sociocultural y los actores sociales que los generan y trasmiten (Valladares y Olive, 2015; Maldonado-García, 2020). La UNESCO señala que no existe una definición única de los conocimientos indígenas y locales, debido a que estos se comprenden y generan de distintas maneras, responden a diversos propósitos y se construyen desde diferentes cosmovisiones. En el marco del programa Sistemas de Conocimientos Locales e Indígenas (LINKS), los define como las "prácticas, conocimientos, habilidades, competencias, filosofías y cosmovisiones desarrolladas por sociedades con una larga historia de interacción con su entorno natural y una continua dependencia de los recursos naturales" (UNESCO, 2024). Estos saberes son específicos de cada territorio e integran la lengua, las prácticas de uso de los recursos, los sistemas alimentarios y los mecanismos de transmisión intergeneracional, además de formar parte de la identidad cultural de las comunidades (Ortega-Ramírez et al., 2026; Guevara-Hernández et al., 2019).

En los agroecosistemas tradicionales, Koohafkan y Altieri (2010) destacan el uso de conocimientos tradicionales, la conservación de una elevada diversidad biológica y el mantenimiento de sistemas agrícolas diversificados, asociados con la seguridad alimentaria y la capacidad de adaptación frente a cambios ambientales y sociales. Altieri y Toledo (2011) señalan que la complejidad de estos sistemas agrícolas favorece la sustentabilidad y la resiliencia, destacando el uso de semillas nativas como una de las prácticas que

contribuyen a ello. La conservación de variedades locales adaptadas a las condiciones ambientales de cada región favorece la estabilidad de los cultivos frente a plagas, enfermedades y sequías, además de contribuir a una mayor diversidad alimentaria.

Entre los cultivos que forman parte de estos agroecosistemas, el maíz está estrechamente vinculado con los saberes locales, ya que la conservación, selección y uso de sus variedades nativas se relacionan con los conocimientos, experiencias y prácticas desarrolladas por las y los productores a lo largo del tiempo para satisfacer necesidades alimentarias, productivas, ambientales y culturales, lo que ha contribuido a la diversidad del maíz (Cruz et al., 2020; Louette y Smale, 2000; Magdaleno

Hernández et al., 2016). Estos procesos involucran a distintos actores dentro de las comunidades rurales. Tanto hombres como mujeres participan en las actividades relacionadas con el cultivo y la preparación de alimentos a base de maíz (Paredes et al., 2026). Quienes participan en el cultivo consideran atributos relacionados con el desempeño agronómico de las variedades, como la resistencia a enfermedades y plagas, la tolerancia a condiciones ambientales adversas y su capacidad de adaptación (Fernández-Suárez et al., 2013; Rendón-Aguilar et al., 2015). Por su parte, quienes participan en la preparación de alimentos valoran características relacionadas con sus propiedades físicas y atributos organolépticos, como el color, la textura y el tamaño del grano, los cuales influyen en los usos alimentarios (Muñoz, 2005; Bellon y Berthaud, 2006; Kato-Yamakake et al., 2009).

En este contexto, en el municipio de Comapa, Veracruz, las variedades de maíz nativo presentan diversos usos productivos y alimentarios, asociados con razones expresadas por los productores y por las personas encargadas de la preparación de alimentos (Paredes et al., 2026). Sin embargo, aún es necesario comprender cómo los saberes locales de ambos actores se relacionan con las razones que sustentan la selección y el uso de las variedades. El reconocimiento de estos saberes puede aportar elementos para comprender los procesos locales de selección, conservación y uso de las variedades, así como su importancia para la sustentabilidad de las comunidades rurales y el fortalecimiento de estrategias de conservación *in situ* del maíz nativo en la región.

Se plantea como hipótesis que los saberes locales de los productores y de las personas encargadas de la preparación de alimentos se relacionan con las razones que sustentan la selección y el uso de las variedades de maíz nativo, y que las experiencias de ambos actores pueden complementarse. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar los saberes locales asociados con las variedades de maíz nativo en el municipio de Comapa, Veracruz, a partir de las experiencias de los productores y de las personas encargadas de la preparación de alimentos, para comprender cómo estos saberes se relacionan con las razones que sustentan la selección y el uso de las variedades y cómo se complementan entre sí.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en 15 localidades del municipio de Comapa, Veracruz, México,

durante el periodo 2023-2025. El municipio comprende 67 localidades, de las cuales 65 son rurales. Su territorio presenta un gradiente altitudinal de 287 a 1270 m s. n. m (Google, 2026). La agricultura es la principal actividad económica, siendo el maíz el principal cultivo, dentro de un sistema agrícola caracterizado principalmente por la subsistencia y el secano (H. Ayuntamiento de Comapa, 2022; Paredes et al., 2025).

Participantes y obtención de información

Para este estudio se retomó la información obtenida mediante entrevistas a 31 productores de maíz y 31 personas encargadas de la preparación de alimentos en los hogares, pertenecientes a las mismas unidades familiares. Los productores fueron 29 hombres y 2 mujeres, mientras que las personas encargadas de la preparación de alimentos fueron 28 mujeres y 3 hombres; estos últimos también eran productores y responsables de la preparación de alimentos en sus hogares, por lo que respondieron ambos cuestionarios. Los participantes fueron seleccionados mediante la técnica de bola de nieve, con el apoyo de un informante clave. La descripción detallada de los instrumentos, el procedimiento de aplicación y las características de los participantes se encuentra en Paredes-Caval et al. (2026). Las respuestas fueron registradas en papel y, en algunos casos, mediante grabaciones de audio, con el consentimiento de los participantes para su registro y uso.

Análisis de la información

Las respuestas se organizaron de acuerdo con los usos señalados por los participantes. A partir de la información obtenida, los usos se agruparon en dos ámbitos: productivo y alimentario (Paredes-Caval et al., 2026). Para analizar los saberes locales asociados con las variedades de maíz nativo, se consideraron el tiempo que llevan sembrando cada variedad, la procedencia de la semilla, los criterios utilizados para la selección de semillas, así como las prácticas de almacenamiento. Posteriormente, se analizaron las razones expresadas por ambos grupos de participantes en relación con la selección y el uso de las variedades. La información se organizó en una base de datos en Microsoft Excel 365.

Resultados y discusión

Reconocimiento local de las variedades de maíz identificadas

En el municipio de Comapa, Veracruz, los productores reconocieron como maíces nativos las variedades de grano blanco, crema, morado o negro, rojo y amarillo, las cuales distinguen principalmente por el color del grano, característica morfológica ampliamente utilizada para diferenciar los maíces (CONABIO, 2020; Esquivel-Esquivel et al., 2023). Asimismo, señalaron la siembra de maíz híbrido de grano blanco. La coexistencia de maíces nativos e híbridos ha sido documentada en comunidades rurales, donde ambos pueden presentar diversos usos productivos y alimentarios (Louette et al., 1997; Aceves-Ruíz et al., 2002; Bellon y Hellin, 2011).

Aunque los productores reconocieron las variedades de maíz nativo, algunos presentaron dificultad para identificar sus nombres específicos. Esto sugiere que el conocimiento local de las variedades no depende únicamente de su denominación, sino también de atributos

observables y de la experiencia adquirida mediante su cultivo y uso. La dificultad para identificar los nombres específicos resalta la importancia de documentar los nombres locales como parte de los saberes asociados con la diversidad de maíces nativos y su conservación *in situ*.

Asimismo, los productores manifestaron preferencia por sembrar maíz nativo, asociándolo con una menor dependencia de insumos externos. Esta percepción coincide con Aguilar-Jiménez et al. (2025), quienes señalan que la agricultura tradicional se caracteriza por una baja inyección de insumos externos al sistema de producción. Un productor expresó:

> "El maíz criollo es el que se da mejor, porque menos te daña y en cambio el otro te puede dañar. El que viene comprado se refiere a las químicas que trae, y el criollo está limpio" (Entrevista a productor de maíz nativo, 2023).

Saberes asociados a la selección y conservación del maíz nativo

La selección de semilla se realiza a partir de la propia cosecha. Los productores seleccionan la que consideran mejores, provenientes de las mazorcas más grandes y saludables, para utilizarlas en el siguiente ciclo agrícola (**Figura 1**).



Figura 1. Selección de mazorcas de maíz nativo destinadas a la obtención de semilla para el siguiente ciclo agrícola.

Fuente: fotografía propia, tomada durante una visita a un productor de maíz nativo, 2024.

Como señaló un productor:

"Cuando se llega el tiempo de cosecha, guarda uno una parte de los kilos de cosecha, pero que sean los granos de una mazorca grande para sembrarla para el siguiente año" (Productor de maíz nativo, 2023).

Algunos también separan las semillas de la parte media de la mazorca y la almacenan por separado en botellas de plástico. Cuando no disponen de semilla propia, recurren al intercambio, regalo o compra con familiares y amigos. Estas prácticas no solo mantienen las variedades locales, sino que también funcionan como estrategias de conservación orientadas al manejo y circulación de las semillas entre los productores (Magdaleno-Hernández et al., 2016; Ayala-Angulo et al., 2023).

Los productores expresaron distintas razones productivas para el uso tanto de maíz nativo como de maíz híbrido. El maíz híbrido fue valorado principalmente por su mayor rendimiento, el maíz criollo se mantiene por su capacidad de adaptación a las condiciones locales, particularmente ante periodos de sequía. Un productor mencionó:

"El maíz criollo, la seca no lo afecta tanto" (Productor de maíz nativo, 2023)

Asimismo, algunos productores consideran que anteriormente el maíz criollo presentaba un mejor comportamiento en campo:

"Antes se daba mejor el maíz criollo" (Productor de maíz nativo, 2023).

Aunque reconocieron que el maíz híbrido presenta mayor producción, algunos productores mantienen la siembra del maíz criollo debido a su importancia dentro de sus prácticas agrícolas y alimentarias. Como señaló un productor:

"Se ha estado sembrando otro maíz porque dicen que da mayor peso, pero yo mi maíz criollo no lo dejo de producir siempre lo he sembrado, aunque pese menos" (Productor de maíz nativo, 2023).

Además de las características productivas, algunos productores atribuyeron al maíz nativo un valor relacionado con su origen y pertenencia al territorio:

"Es original de su tierra" (Productor de maíz nativo, 2023).

La conservación del maíz nativo también se relacionó con prácticas aprendidas desde edades tempranas y transmitidas dentro del ámbito familiar. Algunos productores señalaron que aprendieron estas prácticas durante la infancia, al acompañar a sus padres en las labores



agrícolas (**Figura 2**).

Figura 2. Madre e hija con mazorcas de maíz nativo de grano blanco y rojo de Comapa, Veracruz, México.

Fuente: fotografía propia, tomada a la persona encargada de la preparación de alimentos en el hogar de un productor de maíz nativo, 2024.

Un productor mencionó:

> "Preservo desde que era chiquillo, en ese tiempo mi papá sembraba y yo conocí semillas del criollo;
>
> el híbrido es el que compra uno de bolsa" (Productor de maíz nativo, 2023).

Otro productor señaló:

> "Mi papá no la dejaba perder y cuando la perdía íbamos con alguien que tuviera" (Productor de maíz nativo, 2023).

La transmisión de estos conocimientos mediante la práctica cotidiana y la participación en las actividades agrícolas ha sido señalada como un mecanismo de continuidad de los conocimientos tradicionales entre generaciones (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). En este sentido, las experiencias compartidas dentro de la familia permiten mantener prácticas relacionadas con la selección y conservación de las semillas de maíz nativo.

Después de la cosecha, los productores realizan prácticas de almacenamiento orientadas a conservar el grano para el consumo y disponer de semilla para el siguiente ciclo agrícola. Las mazorcas se trasladan del campo al hogar en bolsas para su desgrane, aunque este proceso también puede realizarse en el mismo campo antes del transporte. Una vez obtenido el grano, este se limpia y se almacena en los recipientes conocidos localmente como toneles metálicos (**Figura 3**). Este tipo de estructura ha sido descrito como una alternativa sencilla para el almacenamiento de granos, cuya utilización puede adaptarse a las condiciones locales región



(FAO, 1993).

Figura 3. Toneles metálicos utilizados para el almacenamiento de granos de maíz después de la cosecha.

Fuente: fotografías propias, tomadas a personas encargadas de la preparación de alimentos en hogares de productores de maíz nativo, 2024.

Saberes locales asociados con los usos de las variedades de maíz nativo

En Comapa, se identificaron tres usos del maíz: autoconsumo, venta y alimentación animal. Los mayores niveles de venta se asociaron con el maíz híbrido, mientras que el autoconsumo y la alimentación animal estuvieron principalmente relacionados con el maíz nativo (Paredes-Caval et al., 2026). Esta diferenciación se relaciona con las características que los productores reconocen y valoran en cada tipo de maíz. El maíz híbrido fue valorado por su mayor rendimiento, mientras que en el maíz nativo se señalaron como razones el menor costo de la semilla y la tolerancia a la sequía (Paredes-Caval et al., 2026).

Estos criterios coinciden con los reportados por Delgado-Ruiz et al. (2018) en productores de Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, quienes consideraron el rendimiento como un criterio importante para la selección de maíces híbridos, mientras que para los maíces locales

señalaron, entre otros, la tolerancia a la sequía y el menor costo de la semilla. Los autores señalan que estos criterios forman parte del conocimiento local utilizado por los productores para seleccionar las semillas que utilizarán en la siembra. En Comapa, la presencia de criterios similares muestra que los productores reconocen diferencias entre los tipos de maíz y las consideran de acuerdo con las condiciones en que los cultivan y los usos que les dan.

Saberes locales asociados con los usos alimentarios

Los saberes locales asociados con el maíz también se manifiestan en la preparación de alimentos. Las personas encargadas de cocinar señalaron razones organolépticas, culturales, nutricionales y de disponibilidad para el consumo de productos elaborados con maíz nativo, entre las cuales predominaron las de tipo organoléptico (Paredes-Caval et al., 2026). Estos conocimientos se relacionan con las características que se desean en los productos finales (Lazos y Chauvet, 2012).

La preparación de tortillas también refleja estos saberes. En Comapa, las personas entrevistadas reconocieron diferencias entre las tortillas elaboradas con distintas variedades, relacionadas con el color, rendimiento de la masa, sabor, suavidad, olor, esponjosidad, brillo, tradición y valor nutritivo (Paredes-Caval et al., 2026) (**Figura 4**).



Figura 4. Elaboración de tortillas de maíz nativo en Comapa, Veracruz, México.

Fuente: fotografías propias, tomadas a las personas encargadas de la preparación de alimentos en hogares de productores de maíz nativo, 2024.

Un productor que también participa en la preparación de alimentos señaló:

> “La tortilla es primordial para mí” (Productor y persona que cocina, 2023).

Asimismo, señaló:

> "La tortilla es para el consumo diario" (Productor y persona que cocina, 2023).

Estos conocimientos se construyen a partir de la experiencia cotidiana con el maíz y su transformación en alimentos. La elaboración artesanal de tortillas contiene saberes y prácticas que forman parte de la identidad cultural (Rodríguez-Calderón et al., 2016), mientras que Ortega-Ortega et al. (2017) encontraron que las mujeres que elaboran tortillas poseen conocimientos sobre la transformación del maíz y reconocen características de los materiales que utilizan.

Por ejemplo, una persona encargada de cocinar combina maíz negro con blanco para preparar las tortillas porque no le agrada el color que adquieren cuando utiliza únicamente maíz negro. Esta práctica muestra que los conocimientos sobre las variedades también se construyen durante su preparación y orientan decisiones sobre qué maíz utilizar de acuerdo con las características que se buscan en el alimento. El color, además, forma parte de los atributos considerados en la aceptación de las tortillas, aunque su valoración puede variar entre los consumidores (Escobedo-Garrido y Jaramillo-Villanueva, 2019).

Los saberes relacionados con la preparación de alimentos también muestran cambios entre generaciones. Una mujer entrevistada, quien se identificó "mujer de un campesino", señaló:

> "Antes había más mujeres que preparaban alfajores en metate, ahora ya las jóvenes no hacen nada de eso, porque cuesta trabajo hacerlo. Se tuesta la semilla de maíz, luego se muele en el metate hasta tener el polvo; para eso ya tienes que tener la panela derretida para echarle y extenderlo en el metate, esperar a que se enfríe y se cortan pedazos pequeños ya para comer. Yo los hago, pero ya por mi edad, de vez en cuando" (Persona que cocina, 2023).

El testimonio evidencia que algunas prácticas culinarias transmitidas entre generaciones han disminuido debido al trabajo que requieren y a la menor participación de las mujeres jóvenes. Esta disminución puede afectar la continuidad de estos conocimientos, ya que su transmisión depende en gran medida de la práctica y del contacto con quienes poseen mayor experiencia (Hernández, 1980). La forma en que la entrevistada se identifica como "mujer de un campesino" permite reconocer el vínculo que tiene con la unidad de producción familiar y con las actividades que se desarrollan en ella. Asimismo, el uso del metate en la elaboración de estos alimentos también se relaciona con prácticas culinarias tradicionalmente vinculadas con las mujeres rurales (Chávez-Torres, 1997). En Comapa, la menor participación de las jóvenes en estas prácticas muestra cambios en la transmisión de estos saberes, aunque aún se conservan entre las mujeres de mayor edad.

Complementariedad de los saberes entre productores y personas encargadas de la preparación de alimentos

Los saberes locales identificados entre productores y personas encargadas de la preparación de alimentos se construyen a partir de experiencias diferentes, pero se relacionan con el manejo y aprovechamiento del maíz. Esta diferenciación coincide con Toledo y Barrera-Bassols (2008), quienes señalan que el conocimiento tradicional se construye a partir de la

experiencia directa y de la interacción cotidiana con el entorno, y que su adquisición y transmisión se relacionan con las actividades que realizan los integrantes de la familia.

En este sentido, los conocimientos corresponden a diferentes momentos del manejo del maíz dentro de la unidad familiar. Su transmisión se realiza mediante la tradición oral y la práctica de generación en generación (Moreno-López et al., 2020), mientras que la memoria constituye un recurso importante para mantenerlos a través del tiempo (Alarcón-Cháires, 2019; Toledo, 2012).

Esta transmisión se observó en los productores que señalaron haber aprendido de sus padres prácticas relacionadas con la conservación de las semillas, así como en las personas que mantienen conocimientos sobre la preparación de alimentos tradicionales. Sin embargo, los testimonios también muestran cambios entre generaciones.

Conclusiones

Los saberes locales asociados con los maíces nativos en Comapa comprenden conocimientos sobre su reconocimiento, selección, conservación y uso, construidos a partir de la experiencia y transmitidos entre generaciones. Los testimonios muestran que estos saberes se mantienen, pero también presentan cambios de acuerdo con las experiencias y prácticas de quienes los reciben y transmiten. Las variedades nativas continúan siendo reconocidas y utilizadas en actividades productivas y alimentarias, formando parte de las prácticas cotidianas y de la cultura de las familias. Asimismo, las experiencias de productores y personas encargadas de la preparación de alimentos muestran conocimientos diferentes que se relacionan en el manejo y aprovechamiento del maíz. En conjunto, estos resultados permiten valorar los saberes locales como conocimientos vivos que las familias de Comapa construyen, mantienen y transforman a través de sus prácticas.

Literatura Citada

- Aceves-Ruíz, E., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., & Volke-Haller, V. (2002). Comportamiento agronómico del híbrido H-137 y materiales criollos de maíz en el Valle de Puebla. *Revista de Fitotecnia Mexicana*. 25(4): 339–347. https://doi.org/10.35196/rfm.2002.4.339
- Aguilar-Jiménez, C. E., Martínez-Aguilar, F. B., Vázquez-Solís, H., Llaven-Martínez, J., Gómez-Padilla, E., & Galdámez-Galdámez, J. (2025). Manejo de maíces nativos en la milpa Ch'ol de Salto de Agua, Chiapas, México. *Siembra*. 12(2): 1–13. https://doi.org/10.29166/siembra.v12i2.8435
- Alarcón-Cháires, P. (2019). Epistemologías otras. Conocimientos y saberes locales desde el pensamiento complejo. México. Tsíntani, A.C./IIES, UNAM.
- Altieri, M. A, & Toledo, V. M (2011). La revolución agroecológica en América Latina: rescatar la naturaleza, garantizar la soberanía alimentaria y empoderar a los campesinos. *The Journal of Peasant Studies*. 38(3): 587–612. https://doi.org/10.1080/03066150.2011.582947
- Ayala-Angulo, M., González, E. J., Ureta, C., Chávez-Servia, J. L., González-Ortega, E., Vandame, R., de Ávila-Bloomberg, A., Martínez-Guerra, G., González-Díaz, S., Ruíz-

González, R. O., Diego-Flores, P., Álvarez-Buylla, E. R., & Piñeyro-Nelson, A. (2023). Local and Regional Dynamics of Native Maize Seed Lot Use by Small-Scale Producers and Their Impact on Transgene Presence in Three Mexican States. *Plants*. *12*(13): 1–17. https://doi.org/10.3390/plants12132514

- Bellon, M. R., & Berthaud, J. (2006). Traditional Mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. *Agriculture and Human Values*. 23(1): 3–14. https://doi.org/10.1007/s10460-004-5861-z
- Bellon, M. R., & Hellin, J. (2011). Plantando híbridos, conservando razas locales: Modernización y tradición agrícola entre pequeños productores de maíz en Chiapas, México. *World Development*. 39(8): 1434–1443. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.12.010
- Chávez-Torres, M. (1997). Mujeres de rancho, de metate y de corral: Socialización femenina y división del trabajo en la sociedad ranchera jalmicheña [Tesis de maestría en Antropología Social]. El Colegio de Michoacán, México.
- CONABIO. (2020). Razas de maíz de México. Biodiversidad Mexicana. [En línea]. Ciudad. de México. México. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz [Consultado en agosto de 2026].
- Cruz-Hernández, S., Torres-Carral, G. A., Cruz-León, A., Salcedo-Baca, I., & Victorino-Ramírez, L. (2020). Saberes tradicionales locales y el cambio climático global. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(8): 1917–1928. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2748
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández, F. y Acosta-Roca, R. (2018). Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *CienciaUAT*. 13(1): 123–134. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985
- Escobedo-Garrido, J. S., & Jaramillo-Villanueva, J. L. (2019). Las preferencias de los consumidores por tortillas de maíz. El caso de Puebla, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 29(53): 1–25. https://dx.doi.org/10.24836/es.v29i53.627
- Esquivel-Esquivel, A. G., Vizcarra-Bordi, I., Moctezuma-Pérez, S., & Massieu-Trigo, Y. C. (2023). Valorización campesina de maíces pigmentados frente a la demanda de mercados especializados en Ocoyoacac, México. *Encrucijadas*. 23(1): 1–22.
- FAO. (1993). "Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural". [En línea]. Chile. Disponible en: https://www.fao.org/4/x5027s/x5027S00.htm#Contents [Consultado en agosto de 2026].
- Fernández-Suárez, R., Morales-Chávez, L. A., & Gálvez-Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(Supl. 3-A): 275–283. https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.275
- Google., 2026. *Google Earth Pro* (Versión 7.3.6), [Software]. Google Inc. https://www.google.com/earth/ [Consultado en agosto de 2026].
- Guevara-Hernández, F., Hernández-Ramos, M. A., Basterrechea-Bermejo, J. L., Pinto-Ruiz, R., Venegas-Venegas, J. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., & Cadena-Iñiguez, P. (2019). Maíces locales: Una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo*. 51(1): 369–381.

- H. Ayuntamiento de Comapa. (2022). Plan de Desarrollo Municipal de Comapa, Veracruz 2022–2025. Disponible en: https://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2022/PMD/PMD%20Comapa.Veracruz.2022-2025.pdf [Consultado en agosto de 2026].
- Hernández, E. (1980). "Agricultura tradicional y desarrollo". En: Xolocotzia. Obras de Efraím Hernández Xolocotzi, Tomo I. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 419–422.
- Kato-Yamakake, T.A., Mapes-Sánchez, C.M., Mera-Ovando, L.M., Serratos-Hernández, J.A., & Bye-Boettler, R.A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Ciudad de México: UNAM-CONABIO.
- Koohafkan, P., & Altieri, M. A. (2011). *Globally important agricultural heritage systems: A legacy for the future*. Rome. UN-FAO.
- Lazos, E., & Chauvet, M. (2012). "Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México". CONABIO. [Página web]. México. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/genes/files/analisis_socio_cultural_maices.pdf [Consultado en agosto de 2026].
- Louette, D., & Smale, M. (2000). Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. *Euphytica*. 113(1): 25–41.
- Louette, D., Charrier, A., & Berthaud, J. (1997). *In situ* conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany.* 51: 20–38. https://doi.org/10.1007/BF02910401
- Magdaleno-Hernández, E., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velázquez, M. A., Sánchez-Escudero, J., & García-Cué, J. L. (2016). Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 13(3): 437–447.
- Maldonado-García, J. (2020). Un estudio comparativo de conocimientos ecológicos locales en comunidades rurales en México e Italia. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 24(1): 61–80.
- Maldonado-García, J., & García-Vázquez, A. I. (2022). Saberes locales y transición agroecológica en dos comunidades rurales de Sierra de Lobos, Guanajuato. *Entreciencias*. 10(24): 1–15. https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.82865
- Moreno-López, N. M., Sánchez-Torres, A. I., Pérez-Raigoso, A. D. P., & Alfonso-Solano, J. N. (2020). Tradición oral y transmisión de saberes ancestrales desde las infancias. *Panorama*. 14(26): 184–194. https://doi.org/10.15765/pnrm.v14i26.1489
- Muñoz-Orozco, A., 2005. *Centli-Maíz; Prehistoria e historia, Diversidad, potencial, Origen genético y Geográfico*. México. Editorial América.
- Ortega-Ortega, T., Vázquez-García, V., Flores-Sánchez, D., & Núñez-Espinoza, J. F. (2017). Agrobiodiversidad, género y soberanía alimentaria en Tlaxiaco, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 8(spe18): 3673–3682. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.213
- Ortega-Ramírez, L. A., Flores-Sánchez, D., Sánchez-Escudero, J., & Mendoza-Elos, M. (2026). El papel de las mujeres en la conservación del maíz nativo: vínculos de identidad, resistencia y sustentabilidad en Salvatierra, Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*. 41: 1–5.
- Paredes-Caval, E. Y., López-Romero, G., León-García, E., & Ramírez-Martínez, A. (2026). Usos del maíz identificados en el municipio de Comapa, Veracruz, México.

Tropical and Subtropical Agroecosystems. 29: Art. No. 065. 1–13. http://doi.org/10.56369/tsaes.6716

- Rendón-Aguilar, B., Aguilar-Rojas, V., Aragón-Martínez, M. D. C., Ávila-Castañeda, J. F., Bernal-Ramírez, L. A., Bravo-Avilez, D., & Ortega-Packzca, R. (2015). Diversidad de maíz en la sierra sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica*. (39): 151–174. https://doi.org/10.18387/polibotanica.39.9
- Rodríguez-Calderón, T. de J., Chávez-Mejía, M. C., Thomé-Ortiz, H., & Miranda-Román, G. (2017). "Elaboración y consumo de tortillas como patrimonio cultural de San Pedro del Rosal, México". *Revista de Antropología Experimental*. (17): 155–179.
- Toledo, V. (2005). La memoria tradicional: La importancia agroecológica de los saberes locales. *Revista de Agroecología*, 20(4): 16–19.
- Toledo, V. (2012). La Etnoecología hoy: panorama, avances y desafíos. *Etnoecología.* 9(1): 1–16.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. España: Icaria Editorial.
- UNESCO. (2024). "Nuestra misión". Sistemas de Conocimientos Locales e Indígenas (LINKS). [Página web]. París, Francia. Disponible en: https://www.unesco.org/es/links/mission [Consultado en agosto de 2026].
- Valladares, L., & Olivé, L. (2015). ¿Qué son los conocimientos tradicionales? Apuntes epistemológicos para la interculturalidad. *Cultura Y Representaciones Sociales*. 10(19): 61–101.

15° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
División de Ciencias Económico-Administrativas
Universidad Autónoma Chapingo

Saberes tradicionales y manejo ecológico poscosecha de insectos en maíces nativos de Ixtenco, Tlaxcala

Felipe Reyes Fuentes[1] y Ameyali Hernández Hernández[2]

Resumen

México es centro de origen, domesticación y diversificación del maíz, cuya diversidad genética y biocultural ha sido conservada por pueblos indígenas. En San Juan Ixtenco, Tlaxcala, los maíces nativos constituyen un componente de la identidad y la organización territorial otomí. Sin embargo, los productores enfrentan pérdidas poscosecha que pueden alcanzar hasta 50 % del maíz almacenado debido a insectos intracotiledóneos. Esta investigación tiene como objetivo evaluar, mediante bioensayos, el efecto insecticida de extractos vegetales para disminuir las pérdidas de semillas nativas durante el almacenamiento. Se desarrolla mediante una estrategia interdisciplinaria que integra exploración etnoentomológica, revisión sistemática sobre biopesticidas, exploración etnobotánica y bioensayos experimentales. Los resultados obtenidos identificaron como principales plagas al gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*) y la palomilla del maíz (*Sitotroga cerealella*). La revisión bibliográfica permitió reconocer metabolitos secundarios con actividad insecticida, entre ellos terpenoides, alcaloides, flavonoides y compuestos fenólicos. Asimismo, la exploración etnobotánica documentó especies utilizadas tradicionalmente para proteger las semillas, como chicalote, tabaquillo, romero, maguey, chile y ruda. Actualmente se desarrollan bioensayos para evaluar la eficacia de sus extractos sobre la mortalidad de insectos, el daño al grano y la capacidad germinativa. Se concluye que la validación de estos recursos vegetales puede contribuir a reducir pérdidas poscosecha y el uso de plaguicidas sintéticos, al tiempo que fortalece la conservación del germoplasma nativo y revaloriza los conocimientos tradicionales asociados al maíz.

Palabras clave: insectos intracotiledóneos, extractos vegetales, metabolitos secundarios

Abstract

Mexico is the center of origin, domestication, and diversification of maize, whose genetic and biocultural diversity has been conserved by Indigenous peoples. In San Juan Ixtenco, Tlaxcala, native maize varieties constitute a key component of Otomi identity and territorial organization. However, farmers face postharvest losses that can reach up to 50% of stored maize due to internal-feeding insects. This research aims to evaluate, through bioassays, the insecticidal effect of plant extracts to reduce native seed losses during storage. An interdisciplinary methodological strategy is employed, integrating ethnoentomological exploration, a systematic review of biopesticides, ethnobotanical exploration, and experimental bioassays. The results identified the maize weevil (*Sitophilus zeamais*) and the Angoumois grain moth (*Sitotroga cerealella*) as the main storage pests. The literature review identified secondary metabolites with insecticidal activity, including terpenoids, alkaloids, flavonoids, and phenolic compounds. The ethnobotanical exploration also documented plant

[1] Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. Correo: freyesf@chapingo.mx
[2] Profesora investigadora de la Universidad Autónoma Chapingo, Correo: ameyalihdez@yahoo.com.mx

species traditionally used to protect seeds, including Mexican prickly poppy, tree tobacco, rosemary, agave, chili pepper, and rue. Bioassays are currently being conducted to evaluate the effectiveness of their extracts on insect mortality, grain damage, and seed germination capacity. It is concluded that validating these plant resources may contribute to reducing postharvest losses and the use of synthetic pesticides, while strengthening native germplasm conservation and revaluing traditional knowledge associated with maize.

Keywords: internal-feeding insects, plant extracts, secondary metabolites

Introducción

México constituye el centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), condición que ha permitido el desarrollo de una extraordinaria diversidad genética y biocultural mantenida durante milenios por los pueblos indígenas. Entre estas regiones destaca San Juan Ixtenco, Tlaxcala, única comunidad de origen otomí del estado, reconocida por la conservación de maíces nativos, la permanencia del sistema milpa y la continuidad de conocimientos agrícolas, gastronómicos y rituales asociados a este cultivo. En este territorio, el maíz trasciende su función alimentaria para constituirse como un eje articulador de la identidad cultural y de la organización territorial.

En las últimas décadas, instituciones gubernamentales y académicas han impulsado procesos de transición agroecológica para fortalecer la conservación de los maíces nativos. Sin embargo, uno de los principales problemas identificados por los productores corresponde al manejo poscosecha. Diversos agricultores reportan pérdidas que pueden alcanzar hasta el 50 % de la producción almacenada debido al ataque de insectos intracotiledóneos, los cuales deterioran la calidad física, comercial y fisiológica de la semilla destinada tanto al consumo como a la siembra.

Las pérdidas poscosecha representan uno de los factores que mayor impacto económico generan en la agricultura familiar. A diferencia de los daños ocasionados durante el desarrollo del cultivo, el deterioro del grano almacenado ocurre cuando prácticamente se ha realizado toda la inversión del ciclo agrícola. Estudios realizados en México estiman pérdidas superiores al 25 % durante el almacenamiento, mientras que en pequeños productores pueden superar el 40 % (García-Lara et al., 2003; Markham et al., 1994).

Tradicionalmente, los productores de Ixtenco han desarrollado diversas estrategias para conservar sus semillas, entre ellas el uso de trojes, cuexcomates y estructuras tradicionales de almacenamiento, así como la aplicación empírica de plantas con propiedades repelentes e insecticidas. No obstante, estos conocimientos enfrentan procesos de erosión cultural y carecen de suficiente validación experimental que permita incorporarlos como alternativas tecnológicas sustentables.

En este contexto, los extractos vegetales representan una opción promisoria para desarrollar bioinsecticidas compatibles con la conservación del germoplasma nativo, reduciendo simultáneamente la dependencia de insecticidas sintéticos y fortaleciendo los saberes agroecológicos locales.

El objetivo general del presente proyecto consiste en evaluar, mediante bioensayos, el efecto insecticida de extractos vegetales sobre insectos intracotiledóneos del maíz para disminuir las pérdidas de semillas nativas durante el manejo poscosecha en Ixtenco, Tlaxcala.

De manera específica los objetivos pretenden:

- Identificar las principales especies de insectos asociadas al almacenamiento del maíz.
- Documentar especies vegetales con potencial insecticida mediante estudios etnobotánicos.
- Analizar el estado del arte sobre biopesticidas empleados en granos almacenados.
- Evaluar experimentalmente la eficacia de extractos vegetales mediante bioensayos.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrollará mediante una estrategia metodológica interdisciplinaria integrada por cuatro fases complementarias.

La primera corresponde a una exploración etnoentomológica basada en entrevistas semiestructuradas, recorridos de campo y observación participante para identificar las especies de insectos intracotiledóneos presentes en el maíz almacenado, documentando simultáneamente el conocimiento local sobre su manejo.

Posteriormente se realizará una revisión sistemática de la literatura científica sobre biopesticidas empleados contra plagas del almacenamiento, identificando especies vegetales, metabolitos secundarios, mecanismos de acción, dosis, formas de aplicación y niveles de eficacia reportados.

En una tercera etapa se llevará a cabo una exploración etnobotánica mediante entrevistas y recorridos con productores para registrar especies vegetales utilizadas tradicionalmente como repelentes o insecticidas, documentando partes empleadas, formas de preparación y disponibilidad territorial.

Finalmente, se diseñarán bioensayos experimentales donde se evaluarán extractos vegetales obtenidos a partir de especies prioritarias de la región. Se analizarán diferentes concentraciones y tratamientos para determinar su efecto sobre la mortalidad de insectos, el nivel de daño al grano y la protección de la capacidad germinativa de las semillas.

Resultados

Los resultados concretados hasta el momento están circunscritos en los tres primeros objetivos específicos que inician con el diagnóstico etnoentomológico específico para los maíces nativos almacenados en Ixtenco, donde se identificó las especies de insectos de mayor incidencia, su estacionalidad y las condiciones que favorecen su desarrollo. En este contexto, se identificaron las dos principales plagas intracotiledoneas del maíz en Ixtenco son las siguientes:

1. Gorgojo del maíz: *Sitophilus zeamais Motschulsky*,
2. Palomilla del maíz; *Sitotroga cerealella*

Asimismo, se realizó la revisión bibliográfica que permitió identificar los extractos vegetales con mayor potencial para el manejo de plagas del almacenamiento, integrando evidencia científica sobre metabolitos secundarios como terpenoides, alcaloides, flavonoides y compuestos fenólicos con actividad insecticida.

Posteriormente se llevó a cabo la exploración etnobotánica permitirá construir un inventario de especies nativas utilizadas tradicionalmente por los agricultores para proteger sus semillas, fortaleciendo el diálogo entre el conocimiento científico y el conocimiento tradicional.

Cuadro 2. Conocimiento popular sobre plantas útiles en el manejo de insectos intracotiledóneos del maíz.

Nombre común	**Nombre botánico**	**Componente químico de referencia**
Chicalote	*Argemone mexicana* L.	Berberina (alcaloides isoquinolínicos)
Tabaquillo*	*Nicotiana glauca* Graham	Anabasina (alcaloides nicotínicos)
Romero	*Rosmarinus officinalis* L.)	1,8-cineol (eucaliptol).
Maguey	*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck (o especies de *Agave*)	Saponinas esteroidales
Chile	*Capsicum annuum* L.	Capsaicina y dihidrocapsaicina (capsaicinoides)
Ruda	*Ruta graveolens* L.	Rutina, 2-undecanona, metilnonilcetona y furanocumarinas

La investigación se encuentra en la fase de bioensayos que posibilitaran generar la evidencia experimental sobre la eficacia de diversos extractos vegetales para reducir la infestación de insectos intracotiledóneos, identificando tratamientos con potencial para incorporarse como tecnologías agroecológicas de bajo impacto ambiental.

En conjunto, la investigación contribuirá a disminuir las pérdidas poscosecha, fortalecer la conservación del germoplasma nativo y revalorizar los conocimientos tradicionales asociados al manejo de semillas.

Conclusiones

La conservación de los maíces nativos requiere estrategias que trasciendan la producción en campo e incorporen tecnologías sustentables para el manejo poscosecha. La validación científica de extractos vegetales con actividad insecticida representa una alternativa viable para reducir las pérdidas ocasionadas por insectos intracotiledóneos, disminuir el uso de plaguicidas sintéticos y fortalecer la soberanía alimentaria de las comunidades indígenas.

Además de sus aportes entomológicos, el proyecto contribuye a preservar el patrimonio biocultural asociado al maíz, al reconocer que las prácticas tradicionales de almacenamiento y el conocimiento etnobotánico constituyen componentes fundamentales para la conservación de la diversidad genética y cultural de los maíces nativos de México.

Referencias bibliográficas

- García-Lara, S., Burt, A. J., Serratos, J. A., Díaz-Pontones, D. M., Arnason, J. T., & Bergvinson, D. (2003). *Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de Sitophilus zeamais*. **Revista de Educación Bioquímica, 22**, 138–145.
- Issaka Ndebugri, A. A., Kugbe, J. X., Adu-Acheampong, S., & Kyerematen, R. (2024). Two plant extracts protect stored maize against infestation of *Sitophilus zeamais* in Northern Ghana. *Journal of Natural Pesticide Research, 10*, 100102. https://doi.org/10.1016/j.napere.2024.100102
- Kato, A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. (2013). *Origen y diversidad del maíz*. En E. Álvarez-Buylla & A. Piñeyro (Coords.), *El maíz en peligro ante los transgénicos*. Universidad Veracruzana.
- Markham, R. H., Bosque-Pérez, N. A., Borgemeister, C., & Meikle, W. G. (1994). Developing pest management strategies for the maize weevil and the larger grain borer in the humid and sub-humid tropics. *FAO Plant Protection Bulletin, 42*, 125–136.