Contribuciones científicas para la sustentabilidad



Coordinadoras:
Xenia Mena Espino
María Esther Mena Espino

Contribuciones científicas para la sustentabilidad

Xenia Mena Espino
María Esther Mena Espino
(Coordinadoras)

CON TEXTOS DE:

Nazly Zharikc Vargas Moreno, J. Guadalupe Martínez Granados, Ma. De los Ángeles Martínez Ortega, Alan Jesús Torres Sandoval, María Elena Tavera Cortés, Yolanda Donají Ortiz Hernández, Yesica María Domínguez Galicia, Adolfo Burkart Flores, Pedro Ulysses Lozano Bavo, Raúl Junior Sandoval Gómez, Jorge Alberto Mendoza Domínguez, Isela Janeth López Valle, Loreto Mendoza Núñez, Yolanda Guadarrama Alba, Guillermo Reyna Cabrera, Gabriela Rodríguez Licea, Juvencio Hernández Martínez, Andrea Daniela García Torres.

© Editorial ASOCIACIÓN MEXICANA DE
INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA
ASMIIA, A.C.

Texcoco Estado de México, México

Contribuciones científicas para la sustentabilidad

Texcoco, Estado de México.
© Editorial ASMIIA, 2026
115p. 21 cm.
Incluye referencias bibliográficas.
ISBN: 978-970-96411-0-3 (e-book/pdf)

Coordinadoras
Xenia Mena Espino
María Esther Mena Espino

Contribuciones Científicas para la sustentabilidad

Primera edición digital 2026
© Editorial ASMIIA, 2026

115p. 21 cm.

ISBN: 978-970-96411-0-3 (e-book/pdf)
DOI: http://doi.org/10.59955/9789709641103
Este libro fue dictaminado con el método de doble ciego y ha seguido lineamientos rigurosos de edición académica.
La Editorial ASMIIA, es miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana Socio #3907
Derechos Reservados.

INTRODUCCIÓN……6
PROCESO DE REVISIÓN POR PARES……..8

Capítulo 1. Accesibilidad a espacios verdes urbanos, visión desde la óptica de Estados Unidos, Alemania y China. …….. 9
Accessibility to urban green spaces: A perspective that includes the viewpoints of the United States, Germany, and China.
Nazly Zharikc Vargas Moreno, J. Guadalupe Martínez Granados, Ma. de los Ángeles Martínez Ortega

Capítulo 2. Compostaje y economía circular: estrategias para la valorización de residuos del cultivo de nopal en México…….....22
Composting and circular economy: strategies for the valorization of waste from nopal cultivation in Mexico
Alan Jesús Torres Sandoval, María Elena Tavera Cortés, Yolanda Donají Ortiz Hernández

Capítulo 3. Integración de productos y residuos agroindustriales a la economía circular, estudio exploratorio……...32
Integration of agro-industrial products and waste into the circular economy, exploratory study.
Yesica María Domínguez Galicia, María Elena Tavera Cortés, Adolfo Burkart Flores

Capítulo 4. La política pública ambiental y los contrasentidos de su implementación en México……..46
Environmental public policy and the contradictions in its implementation in Mexico
María Elena Tavera Cortés, Pedro Ulysses Lozano Bavo, Raúl Junior Sandoval Gómez

Capítulo 5. Optimización sostenible de la cadena de suministro frutícola en Michoacán: Un enfoque en innovación logística y saberes locales…….62
Sustainable optimization of the fruit supply chain in Michoacán: A focus on logistical innovation and local knowledge
Raúl Junior Sandoval Gómez, Jorge Alberto Mendoza Domínguez, Isela Janeth López Valle.

Capítulo 6. Sargazo en el Caribe Mexicano: Funciones Ecológicas Impacto Socioeconómico y vías de valorización sostenible……..73
Sargassum in the Mexican Caribbean: Ecological functions, socioeconomic impact, and pathways for sustainable valorization
Loreto Mendoza Núñez, Yolanda Guadarrama Alba, Guillermo Reyna Cabrera.

Capítulo 7. Análisis de la vulnerabilidad productiva y económica del sector agropecuario mexicano ante la alternancia de sequías y lluvias……..101
Analysis of the Productive and Economic vulnerability of the Mexican Agricultural sector under alternating droughts and rainfall
Gabriela Rodríguez Licea, Juvencio Hernández Martínez, Andrea Daniela García Torres

INTRODUCCIÓN

El libro que se presenta fue titulado Desarrollo Sustentable: Perspectivas multidisciplinarias para un futuro sostenible, está conformado por siete capítulos de investigación que analizan diversas problemáticas y soluciones propuestas para el desarrollo sustentable de nuestro país. Este libro presenta en el capítulo 1, denominado Accesibilidad a espacios verdes urbanos, visión desde la óptica de Estados Unidos, Alemania y China, un trabajo escrito por Nazly Zharikc Vargas Moreno, J. Guadalupe Martínez Granados, Ma. De los Ángeles Martínez Ortega, este trabajo tuvo como propósito realizar una revisión bibliográfica y comparar los estudios realizados en los últimos cinco años, desde el 2020 hasta el 2025, sobre la accesibilidad a los espacios verdes urbanos en Estados Unidos, Alemania y China. Esta revisión comparó las metodologías y los resultados expresados con mapas temáticos elaborados con sistemas de información geográfica. Se continúa con el capítulo 2. Compostaje y economía circular: estrategias para la valorización de residuos del cultivo de nopal en México, trabajo de investigación escrito por Alan Jesús Torres Sandoval, María Elena Tavera Cortés y Yolanda Donají Ortiz Hernández. En el Capítulo 2 se toca el tema de las limitaciones en recursos económicos que afrontan los campesinos en México, así como también la falta de acceso a tecnologías e insumos externos, lo que incrementa la necesidad de tener alternativas sostenibles que permitan mantener la productividad y reducir los impactos ambientales. El objetivo de su trabajo es analizar el compostaje como estrategia de economía circular aplicada a la producción agrícola, enfatizando su papel como herramienta técnica, ambiental y social para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Se propone, desde una perspectiva socioeconómica, el aprovechamiento de residuos agrícolas mediante compostaje para fortalecer de esta forma la autonomía productiva al generar biofertilizantes y reducir costos de producción.

El capítulo 3, Integración de productos y residuos agroindustriales a la economía circular, estudio exploratorio de los autores Yesica María Domínguez Galicia, María Elena Tavera Cortés, Adolfo Burkart Flores, en este capítulo nos enseñan cómo la economía circular aplicada al sector agroindustrial plantea el reto de reincorporar subproductos y residuos agrícolas en nuevos ciclos productivos, ya sea como insumos energéticos, fertilizantes orgánicos, bioinsumos o materias primas para otras industrias. Su estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, descriptivo y analítico. La unidad de análisis está conformada por documentos académicos, normativos y técnicos relacionados con la economía circular, la agricultura climáticamente inteligente y el sector agroindustrial en México. Es de suma importancia conocer, particularmente entre pequeños y medianos productores, las implicaciones de la política pública. Resaltan la necesidad de fortalecer los mecanismos de financiamiento climático mediante beneficios fiscales accesibles, incentivos fiscales y la coordinación interinstitucional, con el fin de facilitar la adopción y el

escalamiento de estas prácticas en México, particularmente entre pequeños y medianos productores.

En el capítulo 4, se presenta La política pública ambiental y los contrasentidos de su implementación en México de María Elena Tavera Cortés, Pedro Ulysses Lozano Bravo, Raúl Junior Sandoval Gómez. Este estudio emplea un enfoque cuantitativo-descriptivo, utilizando datos oficiales del gobierno federal. Se compara la producción de combustibles fósiles con el gasto en protección ambiental y se contrastan propósitos normativos con asignaciones presupuestales a las instituciones encargadas de la gestión ambiental. Es decir, la visión de un gasto ambiental estancado en alrededor del 0,6% del PIB solamente amplía la brecha con el costo ambiental que se está pagando. Debilitar la capacidad operativa de la gestión ambiental y la supervisión regulatoria crea contrasentidos intersectoriales, hay que entender que limitar la alineación hacia energías limpias, genera un riesgo muy alto por conservar el medio ambiente a largo plazo. En el capítulo 5 se propone un modelo de negocio sostenible que optimiza la distribución de frutas, reduce la huella de carbono y valora el conocimiento tradicional de las comunidades locales, a través del diseño de un modelo de negocio que mejore la distribución de frutas de Michoacán para exportación, minimizando el impacto ambiental y reconociendo la sabiduría local, incorporando conocimientos tradicionales en el proceso logístico y fomentando la capacitación en comunidades productoras. En el capítulo 6 se trata sobre el arribo del sargazo a las costas del Caribe mexicano y cómo puede llegar a valorizarse. Existen muchos proyectos donde se trabaja para poder aprovecharlo y que no solo sea una problemática ecológica. Puede utilizarse como bloques para construcción o bien para la producción de biogás. El capítulo se realiza un análisis de la vulnerabilidad productiva y económica del sector agropecuario mexicano ante la alternancia de sequías y lluvias, Se considero que nuestro país enfrentó una variabilidad climática caracterizada por sequías que afectaron al norte y centro del país; y, lluvias intensas asociadas a tormentas tropicales y huracanes que ocasionaron daños agropecuarios y de mercado principalmente en el Golfo, Pacífico y Sureste. En este contexto, se evalúo la vulnerabilidad productiva-económica agropecuaria frente a la alternancia de sequías y lluvias, identificando territorios con mayor exposición a extremos hídricos. Se utilizaron datos estatales de CONAGUA, SIAP e INEGI (2000–2025), incorporando la precipitación, rendimiento, producción, precios rurales, superficie de temporal y eventos extremos

Los capítulos mencionados anteriormente están enfocados al desarrollo sustentable y aportan diversas estrategias de conservación ambiental, involucrando acciones económicas, sociales, agronómicas, ecológicas y biológicas en torno a diversas ciencias, alternativas regionales, tecnologías e innovación en México, lo que permite superar los desafíos que actualmente estamos atravesando en el siglo XXI.

Xenia Mena Espino
María Esther Mena Espino

PROCESO DE REVISIÓN POR PARES

Esta obra se sometió al sistema de dictaminación a “doble ciego” por especialistas en la materia. Los resultados de los dictámenes fueron emitidos por los evaluadores de forma positiva. De igual manera, las evaluaciones positivas se emitieron a los autores a través del comité editorial. En la presente publicación el Consejo Editorial designó al siguiente grupo de evaluadores.

Dr. Roberto Carlos Vásquez Euan, Universidad Autónoma de Yucatán

Dra. Norma Angélica Noguez Méndez, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

Dr. Carlos Alberto Cruz Cruz, Universidad Veracruzana

Dra. Denisse Fabiola González Ramírez, IPN-CINVESTAV

M. en C. Miguel Alfonso Tzec Simá. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

Dr. Miguel Ángel Canseco Pérez, Universidad Politécnica de Chiapas

Dra. Claudia Marissa Aguilar Melo, UPIBI-IPN

Dra. Genoveva Rosano-Ortega, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Dra. Margarita Castillo Téllez, Universidad Autónoma de Campeche.

Dra. Cinthya Guadalupe Caamal Olvera, Universidad Autónoma De Nuevo Leó**n**

Capítulo 1. Accesibilidad a espacios verdes urbanos, visión desde la óptica de Estados Unidos, Alemania y China.

Accessibility to urban green spaces: A perspective that includes the viewpoints of the United States, Germany, and China.

Nazly Zharikc Vargas Moreno
Instituto Politécnico Nacional; nmvargas2101@alumno.ipn.mx
ORCID: 0009-0008-7154-2452
Dr. J. Guadalupe Martínez Granados
Instituto Politécnico Nacional; jogugra@hotmail.com
ORCID: 0000-0001-6345-5166
Ma. De los Ángeles Martínez Ortega
Instituto Politécnico Nacional; mmartinezo@ipn.mx
ORCID: 0000-0002-8483-9844

Recibido 20 de marzo 2026; Aceptado 18 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411031

Resumen

Los espacios verdes urbanos son de gran importancia en las ciudades, pues la mayoría de las personas alrededor del mundo vive en áreas urbanas. Estos espacios proveen servicios recreacionales, sociales, culturales para expresión comunitaria y ambientales. Este trabajo tuvo como propósito revisar y comparar estudios realizados en los últimos cinco años, desde el 2020 hasta el 2025, sobre la accesibilidad a los espacios verdes urbanos en Estados Unidos, Alemania y China. Esta revisión comparó las metodologías y los resultados expresados con mapas temáticos elaborados con sistemas de información geográfica. Este análisis se realizó consultando la literatura disponible en las plataformas de Scopus, Science Direct, MDPI, ResearchGate y Elsevier; así se seleccionaron únicamente los documentos donde el área de estudio fue en América, Europa y Asia. Los patrones resultantes muestran distribución y acceso no homogéneo en las ciudades, vecindarios de mayor estrato socioeconómico con espacios verdes más equipados, y zonas densamente pobladas y con residentes de bajos ingresos económicos sin acceso ni dotación de área verde. Lo que permitió observar que, mayormente, los residentes de zonas con mayor ingreso socioeconómico gozan de mayor accesibilidad a espacios verdes urbanos en ubicación, distribución, superficie y dotación.

Palabras clave. accesibilidad, espacios verdes urbanos, estrato socioeconómico.

Abstract

Urban green spaces are of great importance in cities, as most people around the world live in urban areas. These spaces provide recreational, social, cultural services for community expression, and environmental benefits. This work aimed to review and compare studies conducted in the last five years, from 2020 to 2025, on the accessibility of urban green spaces in the United States, Germany, and China. This review compared the methodologies and results expressed with thematic maps created using geographic information systems. This analysis was conducted by consulting the literature available on the Scopus, Science Direct, MDPI, ResearchGate, and Elsevier platforms; thus, only documents where the study area was in America, Europe, and Asia were selected. The resulting patterns show non-homogeneous distribution and access in cities, neighborhoods with higher socioeconomic status having better-equipped green spaces, and densely populated areas with low-income residents lacking access to or provision of green spaces. Which allowed us to observe that, mostly, residents of areas with higher socioeconomic income enjoy greater accessibility to urban green spaces in terms of location, distribution, surface area, and provision.

Keywords. accessibility, urban green spaces, socioeconomic status.

Introducción

Relación entre el acceso a los espacios verdes y el estrato socioeconómico

Hoy día, alrededor del mundo, la mayoría de los habitantes viven en áreas urbanas (Naciones Unidas, 2018). Dichas áreas no solo deben satisfacer necesidades básicas a sus habitantes, sino también proveer el contexto urbano adecuado para vivir. Dentro de estos ambientes se consideran los Urban Green Spaces (UGS) o espacios verdes urbanos, en los cuales se pueden desarrollar diferentes actividades al aire libre (Addas, 2025), de tipo recreativo (Sorense et al., 1998) e incluso de expresión sociocultural y todo esto en conjunto, construye la calidad de vida de quienes habitan diariamente las áreas urbanas (Borja & Muxí, 2003).

La disponibilidad de espacios verdes urbanos es importante en diferentes contextos, como en el ambiental, pues favorecen la reducción de las altas temperaturas y mitigan la contaminación atmosférica (Pico, 2022), por el contrario, la disminución del área disponible de los mismos puede influir la calidad del aire, posibles inundaciones y la extinción de la biodiversidad que en ellos habita (Carrasco, 2024). Teniendo en cuenta la importancia de los UGS entidades como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), recomiendan una superficie especifica de espacio verde para cada habitante, al igual que, vivir en cercanía no menor a 300 metros de distancia de un parque.

Respecto a la accesibilidad a los espacios verdes urbanos, investigaciones resientes evidencian que, la accesibilidad a escala urbana y la ubicación de los habitantes no es homogénea (Deng & Ning, 2024) la alta densidad de población en una ubicación sobrepasa

la oferta disponible de UGS generando así inaccesibilidad, así también población etaria puede presentar buena o pésima accesibilidad dependiendo de sus ingresos económicos (Jin et al., 2023) las personas con mejores ingresos económicos tienden a vivir en áreas con mejor visibilidad verde desde sus ventanas (Bolte et al., 2025) grupos raciales/étnicos viven en zonas con menor cobertura vegetal (Tang & Li, 2024) y mas alejados por distancia de los espacios verdes urbanos (Miller, Seyfried, Heard, & Meindl, 2022).

De acuerdo con lo expuesto en los parrafos anteriores, se observa la importancia de investigar la accesibilidad a los espacios verdes urbanos con relación al ingreso socioeconomico, precio de la vivienda o del suelo según la zona y factores de raza o etnia. Puesto que, así se pueden generar patrones que no solo muestren la accesibilidad por distancia, tiempo, o tipo de transporte, sino también que permitan evaluar el contexto en el que residen diferentes grupos sociales o etnicos en el area urbana. El proposito de este capitulo es revisar y comparar la metodologia y los resultados de estudios realizados entre los años 2020 y 2025, que estudiaron la accesibilidad a los espacios verdes urbanos UGS en Estados Unidos, Alemania y China como áreas de estudio.

Marco Conceptual

En este apartado se presentan los conceptos que guiaron el desarrollo de este capítulo de libro. Sobre el término accesibilidad, Pourramazani & Miralles i García (2022) citaron la definición de Wachs, M. & Kumagai, T.G (1973) la cual menciona que: “la accesibilidad es la facilidad o dificultad con la que se pueden obtener oportunidades (por ejemplo, empleo) o servicios desde un lugar.”[1] (pp. 437 - 456).

Con relación al término Urban Green Spaces, Zhou & Parves Rana (2012) citan en su investigación la definición de Tzoulas et al., (2007), quienes originalmente se refirieron a la infraestructura verde, pero que fue consideraron apropiado para definir los UGS diciendo que: “El espacio verde urbano puede entenderse como un área integrada que comprende terrenos verdes naturales, seminaturales o artificiales, y que ofrece múltiples beneficios a diferentes grupos de personas dentro del ámbito urbano (Tzoulas et al., 2007).”[2] (p. 174) Comprendiendo de esta forma los terrenos que específicamente se encuentran dentro de áreas urbanas.

Finalmente, sobre el término estrato socioeconómico Varnum et al. (2012) afirman que el estrato socioeconómico (social class) se define como: “En esta literatura, la clase social generalmente se define por el nivel educativo de los padres (al menos un padre con un título

[1] “Accessibility is the ease or difficulty with which opportunities (for example, employment) or services can be obtained from a place.” (p. 50).

[2] “Urban green space can be understood as an integrated area comprising natural, seminatural, or artificial green land, providing manifold benefits to different groups of people within the city extent (Tzoulas et al., 2007).” (p. 174).

de licenciatura o un título más avanzado frente a ninguno de los padres con un título"[3] (p. 518). Siendo entonces la educación lo que define el nivel socioeconómico de las personas.

Metodología

Nivel de medición y diseño

La revisión de literatura para este documento es a través del método deductivo, el cual se caracteriza por recopilar datos de forma sucesiva para medir variables en un contexto especifico. A través del cual se busca calcular y evaluar información puntual (Hernández Sampieri et al., 2014). Para este caso de estudio se realizo una busqueda en plataformas como Scopus, Science Direct, MDPI, ResearchGate y Elsevier. En cada una de ellas se realizó la busqueda con los términos: "accessibility", "urban green spaces" y "socioeconomic status", seleccionando el periodo del 2020 al 2025 y, que el área de estudio fuese en Estados unidos, Alemania y China. Esto último teniendo en cuenta que, en fuentes como Scopus estos tres paises son los que más realizaron estudios de este tipo.

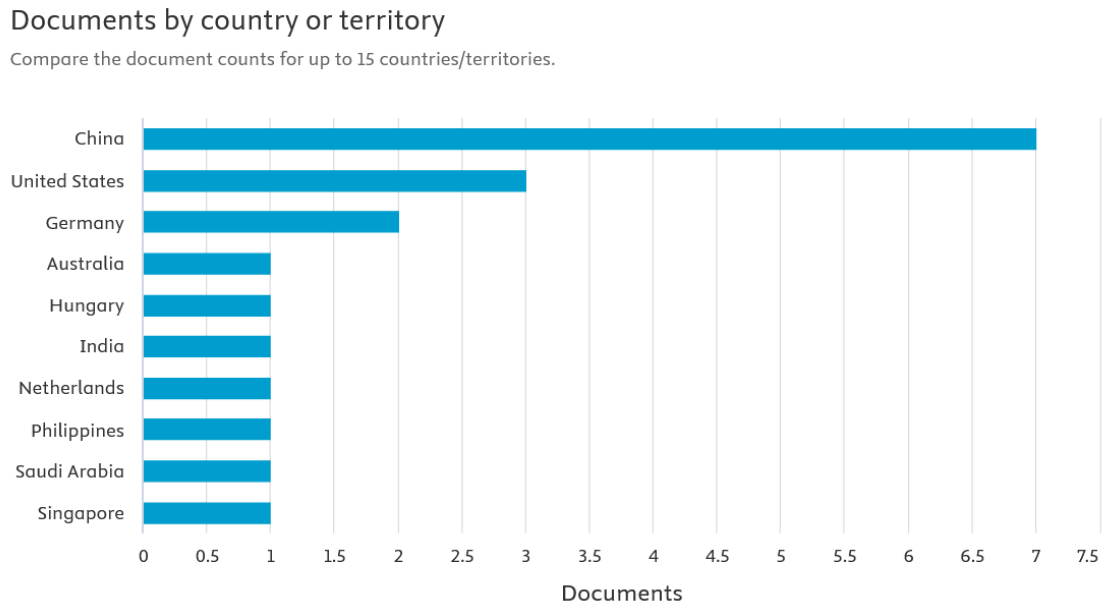


Figura 1 Documentos por territorio según Scopus.

Fuente: Tomado de la plataforma de Scopus al realizar búsqueda por palabras clave de accessibility, urban green spaces y socioeconomic status.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se continuó examinando los documentos que arrojo la búsqueda de forma manual, verificando que efectivamente cumplieran con el periodo de tiempo establecido, que el área de estudio correspondiera a los tres países de

[3] "In this literature, class is usually defined by parental educational attainment (at least one parent with a bachelor's or more advanced degree vs. neither parent with a degree" (p. 518).

América, Europa y Asia, y esas investigaciones tuvieran en conjunto las tres variables citadas en el anterior párrafo. De forma visual se apreció que la accesibilidad al espacio verde urbano en relación con rasgos de estrato socioeconómico, educación, etnia, raza o edad, no sobresale tanto como las primeras dos variables juntas, motivo por el cual se seleccionaron al menos dos artículos para cada ubicación. Esto dio como resultado la información plasmada en la siguiente tabla.

Tabla 1 Artículos elegidos para este análisis.

TÍTULO DEL DOCUMENTO	AÑO	ÁREA DE ESTUDIO
Racial Disparities in Access to Public Green Spaces: Using Geographic Information Systems to Identify Underserved Populations in a Small American City	2022	Binghamton, New York, United States
The Disparity of Greenness Accessibility across Major Metropolitan Areas in the United States from 2013 to 2022	2024	31 metropolitan divisions
Equality in access to urban green spaces: A case study in Hannover, Germany, with a focus on the elderly population	2020	Hannover, Germany
(Un)just Distribution of Visible Green Spaces? A Socio-Economic Window View Analysis on Residential Buildings: The City of Cologne as Case Study	2025	Cologne, Germany
Assessing the Accessibility and Equity of Urban Green Spaces from Supply and Demand Perspectives: A Case Study of a Mountainous City in China	2023	Chongqing, China
Inequity in accessibility to urban parks in environmental gentrification areas based on Multi-G3SFCA: A case study of Wuhan's main urban districts	2024	Wuhan, Hubei, China

En la tabla a continuación, se expone la información correspondiente a cada una de las investigaciones mencionadas en la tabla 1. En las tablas 2, 3 y 4 se incluyó: área de estudio, objetivos, herramientas, datos utilizados, metodología aplicada y principales resultados. Esta información fue la base para la revisión y posterior comparación de las metodologías y resultados de todas las investigaciones en conjunto.

Tabla 2 Investigaciones realizadas en Estados Unidos

ESTADOS UNIDOS	**Racial Disparities in Access to Public Green Spaces: Using Geographic Information Systems to Identify Underserved Populations in a Small American City (Miller, Seyfried, Heard, & Meindl, 2022).**	**The Disparity of Greenness Accessibility across Major Metropolitan Areas in the United States from 2013 to 2022 (Tang & Li, 2024).**
Área de estudio	Binghamton, New York	31 áreas metropolitanas

Objetivo	Examinar la relación entre la accesibilidad a espacios verdes y los grupos raciales en Binghamton, Nueva York.	Análisis exhaustivo de la dinámica de accesibilidad a los espacios verdes urbanos (UGS) de 2013 a 2022.
Herramientas	Sistemas de información geográfica (SIG) Network Analysis	Sistemas de información geográfica (SIG) Estadística espacial
Datos	Uso del suelo a nivel de parcela Dato demográfico censo EE. UU. Datos de red vial	Base de datos nacional de cobertura terrestre Variables socioeconómicas de distritos censales de EE. UU. Archivo shapefile de límites metropolitanos
Metodología	• Delimitar área de estudio. • Identificación y delimitación de espacios verdes según uso del suelo. • Análisis a través de GIS para calcular distancias peatonales desde áreas residenciales a espacios verdes. • Cálculo de accesibilidad en términos de proximidad y cobertura. • Integración de datos demográficos y socioeconómicos a unidad censal. • Análisis de estadístico de la accesibilidad a espacios verdes y el aspecto socioeconómico.	• Selección de las 31 áreas metropolitanas más pobladas de Estados unidos. • Obtención de datos de cobertura de suelo para identificar las áreas verdes. • Delimitación de unidades espaciales. • Calculo de porcentaje de cobertura vegetal por unidad espacial. • Integración de variables socioeconómicas, raciales y étnicas. • análisis estadísticos para evaluar desigualdades en la distribución de espacios verdes.
Resultado	Los vecindarios con población asiática se encuentran lejos de los UGS, el resultado para la población negra no hallo desigualdad, la población hispana esta mejor ubicada con respecto a los UGS, para grupos minoritarios la desigualdad no es homogénea. En el modelo de regresión la accesibilidad no es uniforme entre grupos de minorías.	El Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada (NDVI) no mejoro ni empeoro para ningún grupo racial. La exposición de NDVI fue baja para personas hispanas y mayor para personas blancas. Según el índice de Gini se encontró desigualdad alta para la población hispana y mejor para los habitantes de las islas del océano pacifico (Hawai, Samoa, Guam, Tonga, Fiyi y otras). Por otra parte, la exposición de NDVI superior al promedio fue para las personas blancas, caso contrario de los demás grupos (asiáticos, negros, hispanos, nativos, americanos y pacific islanders) que muestran baja exposición.

Tabla 3 Investigaciones realizadas en Alemania

ALEMANIA	**Equality in access to urban green spaces: A case study in Hannover, Germany, with a focus on the elderly population (Wen, Albert, & Von Haaren, 2020).**	**(Un)just Distribution of Visible Green Spaces? A Socio-Economic Window View Analysis on Residential Buildings: The City of Cologne as Case Study (Bolte, Kistemann, Dehbi, & Kötter, 2025).**
Área de estudio	Hannover, Germany	Cologne, Germany
Objetivo	Comprender la desigualdad espacial en el acceso a la infraestructura verde y azul con relación a los adultos mayores.	Examinar la equidad de acceso a espacios verdes de niños y adultos mayores con relación a su estrato socioeconómico.
Herramientas	Sistemas de información geográfica (SIG)	Sistemas de información geográfica (SIG) Imágenes de Street View Análisis de visibilidad
Datos	Uso del suelo (áreas verdes y azules) Redes viales Datos demográficos (grupo de edades) Dato tipo de vegetación	Imágenes de Google Street View Huella de construcción Datos socioeconómicos residenciales Uso del suelo
Metodología	• identificación y clasificación de áreas verdes y azules en el área urbana. • Integración de datos de red vial (distancia de desplazamiento). • Aplicación de método de Two-Step Floating Catchment Area (2SFCA) para calcular el área per-capital de Urban Green and Blue Infraestructure UGBI. • Aplicación de índice de Gini. • Incorporación de tipo de vegetación, elementos hídricos, atractivo natural y estructura de red urbana. • Integración de datos demográficos por grupos etarios (especialmente adultos mayores). • Comparación de niveles de accesibilidad entre diferentes grupos poblacionales.	• identificación de edificios en el área urbana. • Obtención de imágenes de Google Street View. • Calculo automático para cuantificar la vegetación visible. • Vinculación del edificio con los datos socioeconómicos. • Cálculo de índice de visibilidad. • Modelo estadístico de análisis de visibilidad de áreas verdes y estatus socioeconómico.
Resultado	Sobre la distribución de los espacios verdes y azules (UGBI), Hannover cuenta con 135 m² pero varia por distrito. Los parques de mayor tamaño y bosques están al sur y noroeste, no se encontró que los distritos donde viven adultos mayores tengan un mayor o menor acceso (no son el grupo más desfavorecido). Los distritos con baja accesibilidad “cold spots” están ubicados en el centro de la	Se evaluaron 160,532 edificios residenciales, y se encontró que quienes residen en el centro histórico tienen menor visibilidad de vegetación en comparación de quienes viven en la periferia, donde la visibilidad es mayor. Según el índice de Gini, la distribución es equitativa a escala global de toda la ciudad, pero en la distribución por distritos existe desigualdad.

	ciudad y parte del anillo medio. Las zonas con alta accesibilidad "hot spots" se encuentran en los bordes de la ciudad. Si se establece una distancia mayor de caminata hacia UGBI la accesibilidad mejora.	Sobre grupos vulnerables como niños menores a 6 y adultos mayores de 65 años, no son grupos desfavorecidos a escala de ciudad, pero si existe desigualdad para ellos en la zona centro. Se encontró correlación positiva baja pero significativa entre el ingreso medio y la visibilidad verde, es decir, que existe una tendencia leve que muestra que las personas con mayores ingresos económicos tienden a tener mejor visibilidad verde.

Tabla 4 Investigaciones realizadas en China

CHINA	**Assessing the Accessibility and Equity of Urban Green Spaces from Supply and Demand Perspectives: A Case Study of a Mountainous City in China**	**Inequity in accessibility to urban parks in environmental gentrification areas based on Multi-G3SFCA: A case study of Wuhan's main urban districts**
Área de estudio	Chongqing, China	Wuhan, Hubei, China
Objetivo	Examinar el patrón espacial de accesibilidad a los espacios verdes urbanos y la correlación con los factores socioeconómicos.	Analizar desigualdades en el acceso a parques urbanos en áreas gentrificadas y explorar el efecto de los factores físico-espaciales y diferencias socioeconómicas.
Herramientas	Sistemas de información geográfica (SIG) Análisis de regresión espacial	Modelo 2SFCA Análisis de densidad de Kernel Sistemas de información geográfica (SIG)
Datos	Datos estadísticos socioeconómicos anual Ubicación de espacios verdes urbanos Datos censales de población Datos de límites administrativos	Ubicación y área de los parques Distribución de población Estadística socioeconómica Dato de red vial
Metodología	• Identificación y mapeo de espacios verdes urbanos. • Delimitación de unidades espaciales administrativas para análisis socioeconómico. • Integración de datos socioeconómicos y de población • Aplicación de modelo de análisis de redes (medir la distancia real, no euclidiana). • Aplicación de método basado solo en la oferta (supply). • Método de oferta y demanda (Gaussian 2SFCA). • Aplicación de modelos de accesibilidad en sistemas de información geográfica.	• Identificación y clasificación de parques urbanos dentro del área urbana. • Obtención de datos demográficos y socioeconómicos. • Construcción de red vial para calcular distancias. • Aplicación de modelo multi-G3SFCA una versión avanzada del método Two-Step Floating Cachment Area 2SFCA para medir accesibilidad. • Análisis a través de coeficiente de Gini (medir desigualdad). • Evaluación de la relación entre accesibilidad a espacios verdes y características socioeconómicas a

	• Análisis de Hot Spot (Gi*). • Aplicación de análisis de regresión espacial para evaluar la relación entre las variables.	través de modelos OLS, GLM, SVM, XGBoots y Random Forest (RF).
Resultado	Según el análisis de oferta, el centro de Chongqing tiene mayor cobertura de áreas verdes; el desplazamiento es de 15 minutos y un 69,8% de las personas tienen acceso, a diferencia de los suburbios, con tan solo un 12% de personas con acceso, y en la zona marginal, solo para un 2,6% de la población. Para esta última área, hay existencia de "puntos ciegos" en los cuales no hay presencia de parques. En el centro se reduce la accesibilidad cuando se analiza por oferta y demanda, pues la demanda sobrepasa la oferta. En caso contrario, las periferias que no tienen infraestructura verde. Las personas con mayores ingresos socioeconómicos viven en ubicaciones con mejor accesibilidad. Respecto a los adultos mayores, existe inequidad etaria, pues tienen menor acceso a los UGS.	Con el método multi-G3SFCA se encontró desigualdad en la ubicación de los parques y la población. East Lake tiene mejor accesibilidad; Shahu tiene la peor. Esto se debe a la relación entre la oferta y la demanda de la superficie de los parques y la densidad poblacional. No hay coincidencia de ubicación de los parques con zonas de mayor población. A través del coeficiente de Gini se halló un resultado de 0,765 lo que significa que la distribución de los parques es pésima, pues el 80% de la población solo tiene acceso al 20% de los parques. Se encontró que barrios ricos donde residen adultos mayores hay más inversión en parques y mejor equidad, sin embargo, en barrios pobres con esta misma población disminuye significativamente la equidad. La desigualdad se da principalmente por el diseño urbano y la ubicación, y en menor medida es por el aspecto económico o social.

Resultados y discusión

Resultados comparativos por países

Hallazgos en común de Estados Unidos

Sobre las investigaciones de (Miller et al., 2022) y (Tang & Li, 2024) desarrolladas en Estados Unidos, los principales hallazgos en común mostraron que las poblaciones negras e hispanas presentan menor acceso a los UGS de gran tamaño en comparación con la población blanca. Las disparidades raciales sobre la exposición al NDVI fueron persistentes entre el 2013 y 2022. Pese al aumento del arbolado las brechas entre grupos raciales se mantuvieron estables, así como las minorías residen en barrios con menos acceso a espacios verdes. Estos hallazgos evidenciaron injusticia ambiental, y que el esfuerzo por aumentar la cobertura vegetal no redujo significativamente las desigualdades entre grupos raciales o étnicos. Finalmente, el patrón que persiste en estos dos estudios es de desigualdad aun cuando se evidencio un aumento del arbolado.

Diferencia entre los estudios de Estados Unidos

Tabla 5 Diferencias entre los estudios de Estados Unidos

Binghamton, New York (Miller, Seyfried, Heard, & Meindl, 2022).	**31 áreas metropolitanas (Tang & Li, 2024).**
Mide proximidad y tamaño de parques	Mide exposición NDVI ponderada por población
Estudio local	Estudio longitudinal a nivel nacional
No incluye periodo de tiempo	Incluye periodo de tiempo (2013-2022)

Hallazgos en común de Alemania

Sobre las investigaciones de (Wen, Albert, & Von Haaren, 2020) y (Bolte, Kistemann, Dehbi, & Kötter, 2025) desarrolladas en Alemania, los principales hallazgos en común muestran que: la accesibilidad per cápita varió según los diferentes distritos de la ciudad, los adultos mayores presentan menor acceso en áreas periféricas, la variable socioeconómica se encontró asociada con menos acceso y visibilidad de áreas verdes. Estos resultados permiten evidenciar que la infraestructura verde no cumple con el propósito de satisfacer la demanda de la población; mismo, la exposición visual se muestra como una dimensión importante de la equidad ambiental. Lo anterior sugiere realizar la planificación urbana teniendo en cuenta aspectos como la edad de la población y realizar evaluaciones que no solo incluyan la métrica de proximidad. El patrón que se repite en común es desigualdad asociada a la edad y el estrato socioeconómico.

Diferencia entre los estudios de Alemania

Tabla 6 Diferencias entre los estudios de Alemania

Hannover, Germany (Wen, Albert, & Von Haaren, 2020).	**Cologne, Germany (Bolte, Kistemann, Dehbi, & Kötter, 2025).**
Mide accesibilidad per cápita (2SFCA modificado)	Mide visibilidad verde (Green Window View Index)
Enfatiza en población de adultos mayores	Enfatiza en variable socioeconómica y exposición visual

Hallazgos en común de China

Sobre las investigaciones de (Jin, He, Hong, Lou, & Xiong, 2023) y (Deng & Ning, 2024) desarrolladas en China los principales resultados en común muestran que: no hay coincidencia positiva entre la oferta y demanda en los espacios verdes urbanos, pues la demanda puede superar la oferta. Los habitantes de bajos ingresos socioeconómicos y adultos mayores presentan menor accesibilidad a los UGS. Sí se aumentan los umbrales de tiempo de desplazamiento puede mejorar la accesibilidad, así como también la topografía y la expansión de las zonas urbanas influyen directamente en la inequidad espacial. Estos hallazgos muestran que la expansión urbana acelerada genera inequidad en la distribución de las áreas verdes y los grupos vulnerables son desfavorecidos en temas de accesibilidad. Lo anterior sugiere que la planificación urbana podría integrar análisis de oferta y demanda y accesibilidad por rango temporal de desplazamiento. Los patrones muestran que la

desigualdad está relacionada con el crecimiento urbano acelerado, que la topografía tiene una influencia negativa y las brechas suelen relacionarse con el tiempo.

Diferencia entre los estudios de China

Tabla 7 Diferencias entre los estudios de China

Chongqing, China (Jin, He, Hong, Lou, & Xiong, 2023)	**Wuhan, Hubei, China (Deng & Ning, 2024)**
Mide accesibilidad a UGS desde la oferta y la demanda, incluye análisis de red y umbral de tiempo	Mide distribución espacial de los UGS relacionado a la expansión urbana
Incluye umbral de tiempo	Incluye patrón de desarrollo urbano
Desajuste entre oferta y demanda en relación con la población	Configuración espacial y crecimiento urbano

Hallazgos en común de todas las investigaciones

Hablando de forma global sobre las seis investigaciones revisadas, estas coinciden en aspectos como: la influencia de factores socioeconómicos y demográficos en el acceso a los espacios verdes urbanos. Menor accesibilidad para grupos vulnerables, raciales, étnicos o de menor estatus socioeconómico y la existencia de desigualdad en el espacio urbano. Se demostró que el aumento de la cobertura vegetal no garantiza la equidad y confirma la desigualdad estructural en diferentes contextos urbanos, bien sean locales o nacionales. Los patrones de forma general representan vulnerabilidad social asociada con el bajo acceso, la alta densidad poblacional es una desventaja para la oferta de áreas verdes y la implementación de métricas más complejas revela mayores brechas en el análisis de accesibilidad.

Tabla 8 Aspectos diferenciales generales de las investigaciones

Estados Unidos	**Alemania**	**China**	**Metodología**
Desigualdad racial persistente longitudinalmente	Desigualdad con relación a la edad y la exposición visual	Desigualdad ligada a la expansión urbana y tiempo de movilidad	NDVI – 2SFCA - BGWVI – red temporal

Conclusiones

En conjunto al revisar estas seis investigaciones se evidencio efectivamente: desigualdad en el acceso, exposición o disponibilidad como un fenómeno estructural de la accesibilidad en diferentes contextos y con el uso de varios mecanismos. En los tres países analizados se observó la influencia significativa de factores socioeconómicos, raciales, étnicos o etarios que varían según el entorno urbano. En el ámbito estadounidense, la desigualdad estructural es racializada y no se corrige solo con aumentar la vegetación. Sobre Alemania, la inequidad se manifiesta no solo en rasgos socioeconómicos sino también de forma etaria y es relevante si las métricas son más precisas. Y en el caso de China, el fenómeno se manifiesta principalmente por la expansión urbana no planificada y la correspondencia entre la población y los espacios verdes urbanos.

De la revisión y comparación realizada se puede también concluir que: la desigualdad no es homogénea entre países, pero comparten un rasgo principal, los grupos socialmente vulnerables que suelen ser los menos favorecidos en el acceso a los espacios verdes urbanos, acceso que puede variar dependiendo incluso de su posición socioeconómica y la ubicación de residencia dentro de un ámbito urbano. Finalmente, es importante mencionar que la aplicación de diversas metodologías de análisis permite comprobar diferentes situaciones en un mismo escenario, estudios que pueden y deberían ser la base de la planeación urbana a futuro, priorizando así el bienestar de las personas en las áreas urbanas.

Referencias

Addas, A. (2025). Evaluating the impact of urban green spaces on public well-being and environmental sustainability in Saudi Arabian megacities. *Discover Sustainability*, 6, 277. doi:https://doi.org/10.1007/s43621-025-01160-6

Bolte, A.-M., Kistemann, T., Dehbi, Y., & Kötter, T. (2025). (Un)just Distribution of Visible Green Spaces? A Socio-Economic Window View Analysis on Residential Buildings: The City of Cologne as Case Study. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis, 9*(17). doi:10.1007/s41651-025-00214-7

Borja, j., & Muxí, Z. (2003). *El espacio público, ciudad y ciudadanía.* Barcelona, España: Electa. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Zaida-Martinez/publication/31731154_El_espacio_publico_ciudad_y_ciudadania_J_Borja_Z_Muxi_prol_de_O_Bohigas/links/543fbcd00cf2be1758cf9779/El-espacio-publico-ciudad-y-ciudadania-J-Borja-Z-Muxi-prol-de-O-Bohigas.pdf

Carrasco, P. (2024). *La Prensa*. Obtenido de https://oem.com.mx/la-prensa/metropoli/islas-de-calor-la-consecuencia-de-tener-pocas-areas-verdes-en-cdmx-13069917

Crawford, D., Timperio, A., Giles-Corti, B., Ball, K., Hume, C., Roberts, R., . . . Salomon, J. (2008). Do features of public open spaces vary according to neighbourhood socio-economic status? *Health & Place* , 889-893.

Deng, Z., & Ning, L. (2024). Inequity in accessibility to urban parks in environmental gentrification areas based on Multi-G3SFCA: A case study of Wuhan's main urban districts. *Ecological Indicators, 169*, 1470-160X. doi:10.1016/j.ecolind.2024.112899

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). España: McGraw Hill España.

Jin, Y., He, R., Hong, J., Lou, D., & Xiong, G. (2023). Assessing the Accessibility and Equity of Urban Green Spaces from Supply and Demand Perspectives: A Case Study of a Mountainous City in China. *Land, 12*(9), 1793. doi:10.3390/land12091793

Miller, E. B., Seyfried, S. E., Heard, K., & Meindl, G. A. (2022). Racial Disparities in Access to Public Green Spaces: Using Geographic Information Systems to Identify Underserved Populations in a Small American City. *Environmental Justice, 15*(4), 246-256. doi:10.1089/env.2021.0067

Naciones Unidas. (16 de mayo de 2018). *Noticias ONU*. Recuperado el 11 de marzo de 2025, de https://www.un.org/es/desa/2018-world-urbanization-prospects

Pico, R. (29 de julio de 2022). *ethic*. Obtenido de ethic.es: https://ethic.es/2022/07/por-que-los-espacios-verdes-contribuyen-a-mejorar-la-salud-mental/

Pourramazani, H., & Miralles i García, J. L. (2022). Concep of accessibility in sustainable transport: criterial and perspectives. *Urban and Marirtime transport 2022*. doi:https://doi.org/10.2495/UMT220051

Reyes, S., & Figueroa, M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *EURE*. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19615724004

Sorense, M., Barzette, V., Keipi, K., & John, W. (1998). Obtenido de https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:WSt2NEPMqgEJ:scholar.google.com/+perdida+de+areas+verdes+nivel+mundial&hl=es&as_sdt=0,5

Tang, M., & Li, X. (2024). The Disparity of Greenness Accessibility across Major Metropolitan Areas in the United States from 2013 to 2022. *Land, 13*(8), 1182. doi:10.3390/land13081182

Varnum, M. E., Na, J., Murata, A., & Kitayama, S. (2012). Social Class Differences in N400 Indicate Differences in Spontaneous Trait Inference. *Journal of Experimental Psychology: General, 141(3)*, 518–526. doi:https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0026104

Wen, C., Albert, C., & Von Haaren, C. (2020). Equality in access to urban green spaces: A case study in Hannover, Germany, with a focus on the elderly population. *Urban Forestry & Urban Greening, 55*, 1618-8667. doi:10.1016/j.ufug.2020.126820

Zhou, X., & Parves Rana, M. M. (2012). Social benefits of urban green space: A conceptual framework of valuation and accessibility measurements. *Management of Environmental Quality An International Journal*.

Capítulo 2. Compostaje y economía circular: estrategias para la valorización de residuos del cultivo de nopal en México

Composting and circular economy: strategies for the valorization of waste from nopal cultivation in Mexico

Alan Jesús Torres Sandoval
Instituto Politécnico Nacional – CIIDIR Oaxaca; atorress1404@alumno.ipn.mx
ORCID: 0009-0008-9840-0390
María Elena Tavera Cortés
Instituto Politécnico Nacional – UPIICSA; mtavera@ipn.mx
ORCID: 0000-0002-2179-2735
Yolanda Donají Ortiz Hernández
Instituto Politécnico Nacional – CIIDIR Oaxaca; yortiz@ipn.mx
ORCID: 0000-0003-1637-8924

Recibido 22 de marzo 2026; Aceptado 19 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411032

Resumen

En México, los productores agrícolas enfrentan limitaciones en recursos económicos, acceso a tecnología e insumos externos, lo que incrementa la necesidad de alternativas sostenibles que permitan mantener la productividad y reducir los impactos ambientales. El objetivo de este trabajo es analizar el compostaje como estrategia de economía circular aplicada a la producción agrícola, enfatizando su papel como herramienta técnica, ambiental y social para el aprovechamiento de residuos orgánicos. La metodología se basó en una revisión de literatura científica sobre economía circular, agricultura sostenible y compostaje, complementada con el análisis de experiencias reportadas en sistemas agrícolas mexicanos, particularmente en el aprovechamiento de residuos de nopal, La evidencia demuestra los beneficios integrales del compostaje: a nivel de campo, incrementa la calidad del suelo, su almacenamiento de agua y su diversidad biológica; a nivel sistémico, alivia la carga operativa de los sistemas de gestión de basura y limita la emisión de gases de efecto invernadero. Desde una perspectiva socioeconómica, el aprovechamiento de residuos agrícolas mediante compostaje fortalece la autonomía productiva al generar biofertilizantes y reducir costos de producción. Se concluye que el compostaje constituye una estrategia clave en los modelos de economía circular de la agricultura, con potencial para impulsar sistemas agroalimentarios más sostenibles, resilientes y adaptados a las condiciones locales.

Palabras clave: biofertilizantes, resiliencia agrícola, sostenibilidad rural, gestión de nutrientes.

Abstract

In Mexico, farmers often face limitations in financial resources, technology, and access to external inputs, increasing the need for sustainable alternatives that maintain productivity while reducing environmental impacts. This manuscript analyzes composting as a circular economy strategy applied to agricultural production, emphasizing its role as a technical, environmental, and social tool for organic waste valorization. The methodology consisted of a literature review on circular economy, sustainable agriculture, and composting, complemented by the analysis of reported experiences in Mexican agricultural systems, particularly those related to cactus (Opuntia spp.) residues. Results indicate that composting improves soil fertility, enhances water retention, and promotes microbial biodiversity while reducing pressure on landfills and mitigating greenhouse gas emissions. From a socio-economic perspective, composting strengthens farmers' autonomy by generating local biofertilizers and reducing production costs. The study concludes that composting represents a key strategy within circular economy models in agriculture, with significant potential to promote more sustainable and resilient agri-food systems.

Keywords: biofertilizers, agricultural resilience, rural sustainability, nutrient management.

Introducción

La gestión de volúmenes cada vez mayores de desechos orgánicos se ha consolidado como un obstáculo medioambiental prioritario dentro de los esquemas agrológicos y alimentarios contemporáneos. El incremento de la producción agrícola y el cambio en los patrones de consumo han provocado un aumento significativo de residuos agrícolas y agroindustriales, cuya gestión inadecuada puede generar contaminación del suelo, agua y aire, además de emisiones de gases de efecto invernadero (Cartay et al., 2023).

Anualmente, la generación global de basura municipal rebasa los 2,000 millones de toneladas. De este volumen, un segmento considerable es de naturaleza orgánica, lo que representa una excelente oportunidad para someterlo a esquemas de reciclaje biológico, siendo la generación de composta uno de los más viables (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). En América Latina, los residuos orgánicos representan aproximadamente el 52 % de los residuos generados, lo que evidencia el potencial para implementar estrategias de aprovechamiento basadas en la economía circular (Cuvi, 2015).

La economía circular propone una transformación del modelo productivo tradicional basado en el esquema lineal producir–usar–desechar, promoviendo sistemas en los que los residuos son reintegrados al ciclo productivo como recursos capaces de generar nuevo valor (Geissdoerfer et al., 2017). Mediante la recuperación de subproductos, el reciclaje y la reutilización, este modelo procura extender la durabilidad de los elementos y optimizar la gestión de insumos, frenando así la generación de desperdicios. De este modo, la economía

circular ofrece una vía efectiva y sostenible para salvaguardar los ecosistemas y reducir la huella ecológica de la industria tradicional.

En el ámbito agrícola, esta perspectiva adquiere especial relevancia debido a la gran cantidad de residuos orgánicos generados durante las actividades de producción, cosecha y procesamiento de alimentos. La adopción de principios de economía circular en la agricultura implica promover prácticas que favorezcan el cierre de ciclos de nutrientes, la reincorporación de materia orgánica al suelo y el aprovechamiento de subproductos agrícolas que tradicionalmente han sido considerados desechos (Vargas Murcia et al., 2025). Estas alternativas no solo mitigan el uso intensivo de fertilizantes industriales, sino que también dotan de mayor resiliencia a los esquemas de producción ante problemáticas como la crisis climática, el empobrecimiento nutricional y la degradación física del terreno.

Dentro de este enfoque, el compostaje se ha consolidado como una de las estrategias más relevantes para la valorización de residuos orgánicos en los sistemas agrícolas (Vargas Murcia et al., 2025; Romero-Sáez, 2022). Esta técnica permite transformar residuos provenientes de cultivos, estiércoles, restos de cosecha y otros subproductos agrícolas en enmiendas orgánicas de alto valor agronómico. Al reincorporar estos materiales al suelo, se promueve la recuperación de nutrientes esenciales y se mejora la estructura y calidad del suelo, contribuyendo al desarrollo de agroecosistemas más sostenibles (Vargas Murcia et al., 2025; Polonio et al., 2024).

El compostaje se fundamenta en la degradación microbiana de materiales orgánicos para producir un producto enriquecido y térmicamente estabilizado. Su desarrollo promueve alteraciones fisicoquímicas que, de manera simultánea, logran la maduración de los residuos, la supresión térmica de patógenos y la síntesis de compuestos húmicos que benefician estructuralmente al suelo. El compost resultante mejora la fertilidad del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y favorece la actividad microbiana, lo que se traduce en mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes (Polonio et al., 2024; Sánchez et al., 2025).

En México, el cultivo de nopal (Opuntia spp.) representa un ejemplo relevante para la evaluación de la economía circular dentro de la agricultura. De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción nopalera a nivel nacional supero las 860,000 toneladas en 2024, siendo cultivadas en 12,600 hectáreas, generando un valor económico superior a los 3 mil millones de pesos. Sin embargo, durante el proceso de producción y comercialización se generan grandes cantidades de residuos de cladodios que, en muchos casos, no son aprovechados adecuadamente.

A pesar de su importancia productiva, el sistema agrícola del nopal enfrenta diversos desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental y el manejo de residuos formados durante la producción y comercialización. Durante las etapas de cosecha, limpieza, desespinado, clasificación y transporte se generan cantidades significativas de biomasa residual,

compuesta principalmente por cladodios descartados, espinas y material vegetal deteriorado. Se estima que aproximadamente el 63% de la producción de nopal en la Ciudad de México no llega al mercado, generando pérdidas significativas y un aumento en la disponibilidad de residuos orgánicos que requieren estrategias de manejo adecuadas (SEDESOL, 2018).

Diversos estudios han demostrado que estos residuos pueden ser valorizados mediante compostaje, generando biofertilizantes capaces de mejorar el contenido de materia orgánica del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes (Polonio et al., 2024; Torres-Sandoval et al., 2025). Adicionalmente, el uso de biocompostas de origen agrícola resulta una medida clave para potenciar la respuesta productiva de las hortalizas y consolidar la resiliencia climática de los modelos agrícolas.
Bajo esta premisa, el propósito central de esta investigación radica en evaluar la biotransformación de residuos como un modelo de economía circular integrado a las prácticas agronómicas.

Metodología

El diseño del estudio fue de naturaleza cualitativa, estructurado mediante una revisión sistemática de literatura. El análisis buscó posicionar la valorización de desechos como una táctica clave de circularidad enfocada en la gestión de residuos agrícolas Este enfoque permitió examinar y sintetizar información que aborda temas como economía circular, agricultura sostenible, manejo de residuos orgánicos y valorización de subproductos agrícolas.

La revisión se planteó con un carácter analítico y descriptivo, buscando identificar tendencias, enfoques conceptuales y resultados reportados en investigaciones recientes relacionadas con el reaprovechamiento de desechos orgánicos en sistemas productivos agrícolas.

Las fuentes de información estuvieron conformadas por publicaciones científicas y documentos académicos relacionados con el manejo de residuos orgánicos, el compostaje y la economía circular en sistemas agrícolas. En particular, se consideraron artículos científicos, capítulos de libro y reportes técnicos que abordaran el uso del compostaje como alternativa para la valorización de residuos agrícolas. Se dio especial atención a investigaciones desarrolladas en México o en contextos agrícolas comparables, con el fin de identificar aportes relevantes para la gestión sostenible de residuos en sistemas productivos similares.

La búsqueda de información se efectuó en Google Scholar, Scopus y Web of Science, plataformas elegidas por su pertinencia agroambiental. Se implementaron algoritmos de búsqueda combinando descriptores bilingües sobre circularidad, tratamiento de residuos y compostaje agronómico mediante operadores booleanos (AND, OR). Este método de filtrado permitió acotar los resultados a investigaciones empíricas y teóricas de alta relevancia editadas dentro del periodo 2015-2025.

Los estudios revisados fueron examinados considerando tres dimensiones principales:

- Dimensión ambiental.
  Se analizaron los efectos del compostaje sobre los sistemas ecológicos, particularmente en relación con la mejora de la calidad del suelo, el aumento de la biodiversidad microbiana, la reducción de emisiones de GEI y aprovechamiento de residuos orgánicos que de otro modo podrían generar impactos ambientales negativos.
- Dimensión económica.
  Se examinaron los posibles beneficios del compostaje en términos de eficiencia productiva, incluyendo la reducción del uso de fertilizantes químicos, el aprovechamiento de residuos agrícolas como recursos productivos y la generación de bioinsumos locales que pueden contribuir a disminuir los costos de producción.
- Dimensión social.
  Se consideró el papel del compostaje en el fortalecimiento de capacidades locales, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la transición hacia modelos productivos basados en principios de economía circular.

Dado que el estudio se basa en revisión documental, no se aplicaron pruebas de validación estadística de instrumentos. Sin embargo, se priorizó el uso de fuentes académicas revisadas por pares, con el fin de asegurar la confiabilidad y calidad de la información analizada.

Resultados y discusión

Economía circular en sistemas agrícolas

La economía circular busca erradicar la ineficiencia de los modelos clásicos al frenar la emisión de desechos y optimizar el flujo de materiales. Esto exige un cambio de visión radical: transitar de la eliminación de excedentes orgánicos hacia su aprovechamiento integral como insumos base para nuevos procesos agrarios.

Diversos estudios han señalado que la transición hacia modelos circulares en la agricultura puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental, al reducir el uso de fertilizantes sintéticos y mejorar la gestión de nutrientes en los agroecosistemas (Gomiero et al., 2011; Urías et al., 2025; Neyra-Carrión, 2025).

Compostaje para la valorización de residuos

Como eje de la agro-circularidad, el compostaje resulta indispensable para la biovalorización de sustratos. Al reconvertir los excedentes orgánicos en bioinsumos útiles, el sistema agrícola consolida la recirculación ininterrumpida de sus nutrientes y logra sustituir, de manera eficaz, la demanda de fertilizantes de síntesis química.

En entornos donde el acopio inadecuado de biomasa residual representa un desafío operativo y de contaminación, la estabilización de estos materiales se proyecta como una estrategia de

sostenibilidad. Evaluaciones empíricas recientes confirman que el uso de bioabonos maduros logra restaurar la fertilidad, elevar la oferta nutricional y dinamizar la microbiota del perfil edáfico, garantizando así la continuidad productiva del campo (Bernal et al., 2009; Edwards et al., 2021).

En consecuencia, la generación de compost supera la mera eliminación de desperdicios posicionándose como un elemento clave de la sustentabilidad. Al reciclar los componentes orgánicos se optimiza el rendimiento biológico y se fomenta la autonomía del sistema agrícola. La reincorporación de residuos orgánicos mediante compostaje contribuye además a mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de agua y estimular la actividad microbiana, lo que favorece procesos biogeoquímicos esenciales para la fertilidad del suelo (Adhikari et al., 2019; Palma et al., 2011).

Frente a las externalidades negativas que provoca la disposición incorrecta de los desechos orgánicos, el modelo circular encuentra en la generación de compost una de las vías más competentes para enfrentar dicho deterioro ambiental. La valorización de residuos mediante compostaje permite disminuir el volumen de desechos que son enviados a rellenos sanitarios o que se descomponen de forma descontrolada en el ambiente, lo que contribuye a reducir la generación de lixiviados contaminantes y emisiones asociadas a la degradación anaerobia de la materia orgánica (Díaz-González et al., 2024).

Caso de estudio: valorización de residuos de nopal

En el caso particular de los residuos derivados del cultivo de nopal (*Opuntia spp.*), la evidencia empírica reciente muestra que el compostaje constituye una de las principales estrategias de valorización evaluadas en México. Estudios recientes han identificado diferentes alternativas para el aprovechamiento de estos residuos, entre las que destacan el compostaje aeróbico, la fermentación anaerobia y la incorporación directa de residuos al suelo. Entre estas opciones, el compostaje aeróbico ha sido una de las estrategias más utilizadas, debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones de manejo y a su capacidad para generar enmiendas orgánicas con alto potencial agronómico (Escamilla-García et al., 2025; González-Torres et al., 2024; Rodas-Gaitán et al., 2019; Alvarado-Raya et al., 2016)

Las investigaciones analizadas también muestran que el compostaje de residuos de cladodios de nopal puede generar productos con contenidos significativos de materia orgánica y nutrientes, capaces de mejorar las propiedades del suelo y apoyar la productividad de los cultivos. Por ejemplo, estudios realizados en sistemas agrícolas mexicanos han reportado compost con relaciones carbono-nitrógeno cercanas a 25:1 y contenidos relevantes de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que evidencia su potencial como biofertilizante en sistemas agrícolas locales (Escamilla-García et al., 2025; Alvarado-Raya et al., 2016)

En conjunto, estos resultados evidencian que el compostaje desempeña un papel fundamental en la transición hacia sistemas agrícolas más sostenibles. Al canalizar los residuos orgánicos

de vuelta a al proceso productivo, este bioproceso maximiza el aprovechamiento de los insumos y rehabilita el sustrato, materializando así los fundamentos de la bioeconomía en el campo.

Retos para la implementación de modelos circulares

A pesar de sus beneficios, la adopción del compostaje enfrenta diversos desafíos. Entre los principales se encuentran:

- escasa capacitación técnica de productores
- ausencia de protocolos estandarizados para la producción de compost
- limitaciones en políticas públicas de apoyo

Superar estas barreras requiere fortalecer los programas de apoyo agrícola, promover la investigación aplicada y desarrollar políticas públicas orientadas al aprovechamiento sostenible de los residuos agrícolas.

Conclusiones

Los resultados del análisis muestran que el compostaje constituye una estrategia relevante para la valorización de residuos agronómicos dentro del enfoque de economía circular aplicado a la agricultura. La evidencia revisada muestra que la transformación de residuos agrícolas en enmiendas orgánicas permite reincorporar nutrientes al suelo, mejorar su estructura y fortalecer los procesos biológicos que sustentan la productividad agrícola. Bajo esta premisa, el aprovechamiento de la biomasa ejerce un doble impacto: por una parte, resuelve el manejo ecológico de los residuos biodegradables y por otra, fomenta la consolidación de esquemas agroproductivos optimizados en la explotación de sus insumos.

A nivel nacional, la biovalorización de los excedentes generados por la producción de *Opuntia spp.* constituye un elemento estratégico para consolidar sistemas agrícolas de base sustentable. La implementación de estas dinámicas no solo mitiga la acumulación de residuos biodegradables, sino que neutraliza las problemáticas ecológicas derivadas de un manejo deficiente.

Sin embargo, el análisis de la literatura también evidencia que, aunque el compostaje ha sido ampliamente estudiado desde una perspectiva agronómica, aún existen vacíos en la integración de estos enfoques dentro de estrategias más amplias de economía circular. Para asegurar una reincorporación exitosa de la biomasa agroindustrial en las cadenas de valor, es indispensable acortar la brecha existente entre la generación de conocimiento y el diseño de políticas de Estado.

En este contexto, el compostaje debe entenderse no únicamente como una técnica de manejo de residuos, sino como un componente importante dentro de estrategias dirigidas para la sostenibilidad en los agroecosistemas. La adopción de esquemas basados en la circularidad

presenta un alto potencial para optimizar la asimilación edáfica de elementos vitales y mitigar la huella ecológica. Paralelamente, dota a los agroecosistemas de una mayor capacidad adaptativa para resistir el embate de las anomalías climáticas y frenar el empobrecimiento físico-químico del terreno.

Futuras investigaciones deberían abordar enfoques integrados que analicen no solo la eficiencia agronómica del compostaje, sino también sus implicaciones económicas, sociales y ambientales dentro de sistemas productivos específicos. Permitiendo de esta manera identificar estrategias más efectivas para escalar el aprovechamiento de residuos agrícolas y consolidar modelos de producción dirigidos a la implementación de economía circular.

Referencias

Alvarado-Raya, H. E., Salinas-Callejas, E., & Ortiz-Huerta, G. (2016). Peso fresco y calidad de nopalito (*Opuntia ficus-indica* L.) fertilizado con composta de estiércol de vaca. *Tecnociencia Chihuahua, 10*(1), 13–22.

Cartay, R., Ordóñez, J. C., Intriago, J. R., & Varela, A. (2023). Estrategias para la reducción de los residuos agrícolas sólidos potencialmente contaminantes desde una perspectiva de sostenibilidad ambiental. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(3), 1–14.

Cruz-Méndez, A. S., Ortega-Ramírez, E., Lucho-Constantino, C. A., Arce-Cervantes, O., Vázquez-Rodríguez, G. A., Coronel-Olivares, C., & Beltrán-Hernández, R. I. (2021). Bamboo biochar and a nopal-based biofertilizer as improvers of alkaline soils with low buffer capacity. *Applied Sciences, 11*(14), 6502. https://doi.org/10.3390/app11146502

Cuvi, N. (2015). Residuos sólidos en América Latina: gestión, políticas públicas y conflictos socioambientales. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales*, (17), 1–3. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1627

Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H. E., Caire Alfaro, C., Dorantes Hernández, P. I., & Ángeles Tovar, L. C. (2025). Standardization process for the production of nopal-based (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) compost: A technical and economic analysis. *Compost Science & Utilization*, 32(3–4), 104–119. https://doi.org/10.1080/1065657X.2025.2498334

Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H. E., Caire Alfaro, C., Dorantes Hernández, P. I., & Ángeles Tovar, L. C. (2025). Standardization process for the production of nopal-based (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) compost: A technical and economic analysis. *Compost Science & Utilization*, 32(3–4), 104–119. https://doi.org/10.1080/1065657X.2025.2498334

FAO. 2021. The State of Food and Agriculture 2021. Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cb4476en

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The circular economy: A new sustainability paradigm. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences, 30*(1–2), 95–124. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355

González-Torres, G. Y., Bernardino-Nicanor, A., Fernández-Avalos, S., Acosta-García, G., Juárez-Goiz, J. M. S., & González-Cruz, L. (2024). Effects of nopal and goat manure on soil fertility and the growth, yield and physical characteristics of tomato and carrot plants. *Agronomy, 14*(6), 1221. https://doi.org/10.3390/agronomy14061221

Neyra-Carrión, J. P. (2025). Economía circular en la agricultura: Un análisis bibliométrico. *RIAGROP: Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology, 5*(1), 28–38. https://doi.org/10.25127/riagrop.2025.1.036

Polonio, D., Villanueva, A. J., & Gómez-Limón, J. A. (2024). Rentabilidad del compostaje del alperujo como una alternativa bioeconómica. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria*. https://doi.org/10.12706/itea.2024.004

Rodas-Gaitán, H. A., Palma-García, J. M., Olivares-Sáenz, E., Gutiérrez-Castorena, E. V., & Vázquez-Alvarado, R. (2019). Biodynamic preparations on static pile composting from prickly pear cactus and moringa crop wastes. *Open Agriculture, 4,* 247–257. https://doi.org/10.1515/opag-2019-0023

Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas, 25*(54). https://doi.org/10.22430/22565337.2505

Sánchez Tigrero, S., Ramírez-Vargas, D., & García Cruzatty, L. (2025). El compostaje en agroecología: Efectos sobre la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y los microorganismos beneficiosos. *Scientia Agropecuaria*, *17*(1), 211-225. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.015

SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social). 2018. *Desperdicio de alimentos en México*. http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.html

SIAP. (2024). *Producción agrícola de nopal verdura en México*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Torres-Sandoval, A. J., Ortiz-Hernández, Y. D., Tavera-Cortés, M. E., Acevedo-Ortiz, M. A., & Lugo-Espinosa, G. (2025). Closing the loop in *Opuntia* cultivation: Opportunities and challenges in residue valorization. *Agronomy*, 15, 2311. https://doi.org/10.3390/agronomy15102311

Urías Rivas , M. O., Lugo Hernández , L. T., Bórquez López, M. G., Romero Orduño, M., & Falomir Bórquez, E. A. (2025). Agricultura Sostenible con Enfoque en Economía Circular. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *9*(3), 8592-8608. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i3.18496

Vargas Murcia, E., Camelo Ocampo, L. F., Contreras Gamboa, E. A., & Ledesma Cepeda, P. C. (2025). Gestión de residuos orgánicos y economía circular: Viabilidad del compostaje comunitario en el corregimiento San Marcos, Yumbo, Colombia. *Revista Sapientia, 18*(35), 72–84. https://doi.org/10.54278/sapientia.v18i35.295

Capítulo 3. Integración de productos y residuos agroindustriales a la economía circular, estudio exploratorio.

Integration of agro-industrial products and waste into the circular economy, exploratory study.

Yesica María Domínguez Galicia
Instituto Politécnico Nacional – ESCA Tepepan; ydominguez@ipn.mx
ORCID: 0000-0002-5996-6710
María Elena Tavera Cortes
Instituto Politécnico Nacional – UPIICSA; mtavera@ipn.mx
ORCID: 0000-0002-2179-2735
Adolfo Burkart Flores
Instituto Politécnico Nacional – ESCA Tepepan; aburkartf2100@alumno.ipn.mx
ORCID: 0009-0000-2141-071X

Recibido 25 de marzo 2026; Aceptado 21 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411033

Resumen

La economía circular aplicada al sector agroindustrial plantea el reto de reincorporar subproductos y residuos agrícolas en nuevos ciclos productivos, ya sea como insumos energéticos, fertilizantes orgánicos, bioinsumos o materias primas para otras industrias. Este enfoque contribuye no solo a la reducción de impactos ambientales, sino también a la generación de valor económico y al fortalecimiento de la competitividad del sector. El análisis de la información se realizó mediante categorización temática, enfocándose en cuatro dimensiones respecto a los residuos orgánicos derivados de actividades agrícolas: ambiental, productiva, económica y fiscal. Garantizando así la coherencia del análisis y la transparencia en la interpretación de los resultados. El análisis se realizó mediante comparación temática y síntesis crítica de prácticas, mecanismos de financiamiento y resultados reportados. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, descriptivo y analítico. La unidad de análisis está conformada por documentos académicos, normativos y técnicos relacionados con la economía circular, la agricultura climáticamente inteligente y el sector agroindustrial en México. Son esenciales los incentivos fiscales para alentar a la adopción de modelos circulares. Para orientar la deducción de inversiones, la reducción de cargas impositivas y los estímulos vinculados hacia el financiamiento de proyectos sostenibles y fomentar la transición tecnológica agrícola. La adopción de prácticas climáticamente inteligentes en forma sistémica se convierte en un sistema de alertamiento y prevención ante

los riegos agroindustriales y puede mejorar la productividad agrícola, reducir riesgos climáticos y generar beneficios económicos cuando se acompaña de asistencia técnica y financiamiento adecuado. Asimismo, las implicaciones para la política pública resaltan la necesidad de fortalecer los mecanismos de financiamiento climático, mediante beneficios fiscales accesibles, incentivos fiscales y la coordinación interinstitucional, con el fin de facilitar la adopción y el escalamiento de estas prácticas en México, particularmente entre pequeños y medianos productores.

Palabras clave: sustentabilidad agroindustrial, residuos agrícolas, agricultura climáticamente inteligente, mitigación climática, políticas públicas.

Abstract

The circular economy applied to the agro-industrial sector poses the challenge of reincorporating agricultural by-products and waste into new production cycles, whether as energy inputs, organic fertilizers, bio-inputs or raw materials for other industries. This approach contributes not only to the reduction of environmental impacts, but also to the generation of economic value and the strengthening of the competitiveness of the sector. The analysis of the information was carried out through thematic categorization, focusing on four dimensions regarding organic waste derived from agricultural activities: environmental, productive, economic and fiscal. Thus guaranteeing the coherence of the analysis and transparency in the interpretation of the results. The analysis was carried out through thematic comparison and critical synthesis of practices, financing mechanisms and reported results. The study was developed under a qualitative approach of exploratory, descriptive and analytical type. The unit of analysis is made up of academic, regulatory and technical documents related to the circular economy, climate-smart agriculture and the agro-industrial sector in Mexico. Tax incentives are essential to encourage the adoption of circular models. To guide the deduction of investments, the reduction of tax burdens and the stimuli linked to the financing of sustainable projects and promote the agricultural technological transition. The adoption of climate-smart practices in a systemic way becomes a warning and prevention system for agro-industrial risks and can improve agricultural productivity, reduce climate risks and generate economic benefits when accompanied by technical assistance and adequate financing. Likewise, the implications for public policy highlight the need to strengthen climate finance mechanisms, through accessible tax benefits, tax incentives, and inter-institutional coordination, in order to facilitate the adoption and scaling up of these practices in Mexico, particularly among small and medium-sized producers.

Keywords: agroindustrial sustainability, agricultural residues, climate-smart agriculture, climate mitigation, public policy.

Introducción

El sector primario, específicamente el agroindustrial, desempeña un papel estratégico en el desarrollo económico y social de México, promueve la seguridad alimentaria del país y

genera empleo. Sin embargo, enfrenta desafíos extremos asociados al cambio climático, como las sequías, inundaciones ente otros. Lo que promueve la generación creciente de residuos agroindustriales. Estas circunstancias ponen en evidencia las limitaciones del modelo productivo agrícola lineal tradicional, basado en el uso del suelo, la producción agrícola y la generación de desechos.

En este contexto, la economía circular que promueve el uso de materiales reciclados; desde la perspectiva del medio ambiente; surge como un paradigma alternativo que busca optimizar el uso de recursos naturales, promoviendo la eficiencia, la reutilización y la valorización de residuos.

La economía circular aplicada al sector agroindustrial plantea el reto de reincorporar subproductos y residuos agrícolas en nuevos ciclos productivos, ya sea como insumos energéticos, fertilizantes orgánicos, bioinsumos o materias primas para otras industrias. Este enfoque contribuye no solo a la reducción de impactos ambientales, sino también a la generación de valor económico y al fortalecimiento de la competitividad del sector.

La conjunción de las perspectivas de prevención en el sector agrícola y la integración de tecnología ha impulsado la creación de la Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI), la cual se apoya en un sistema sistemas de notificación preventivos, basados en tecnología. A nivel internacional se reconoce como una estrategia integral para responder a los retos del cambio climático en los sistemas agroalimentarios.

La convergencia entre la economía circular y la ACI promueve la integración de prácticas circulares y climáticamente inteligentes en la agroindustria generando beneficios múltiples, tales como el aprovechamiento eficiente de residuos, la reducción de costos productivos, la mejora de la fertilidad del suelo y la diversificación de ingresos.

Sin embargo, la evidencia también señala la existencia de barreras estructurales que limitan su adopción, entre las que destacan los altos costos iniciales de inversión, el acceso restringido a financiamiento, la limitada asistencia técnica y la fragmentación institucional.

El informe del cierre agrícola de SEMARNAT del año 2024 informa integralmente que, durante los ciclos productivos de las especies perennes, en las modalidades de riego y temporal en México no se reportaron cultivos siniestrados, sin embargo, los rendimientos en tonelada por hectárea son heterogéneo entre las diversas especies.

A partir del citado informe se estiman los indicadores totales nacionales que se muestran en la tabla no. I

Tabla I Superficie sembrada y cosechada, producción y valor total agrícola en México en el año 2024.

Sembrada (ha)	Cosechada (ha)	Siniestrada	Volumen producción (t)	Rendi-miento prome-dio (t/ha)	Precio total rural	Valor producción total
20,000,788.3	19,184,600.20	816,188.1	535,372,784	27.9	$378,969,869	$855,777,228.42

Fuente: DGSIAP (2024). Anuario Estadístico de la Producción agrícola.

El inventario de residuos de la Ciudad de México indica que 1,347 t/día de residuos orgánicos ingresaron a la Planta de Composta (1,251 t de residuos orgánicos provenientes de recolección domiciliaria y de grandes generadores y 123 t de residuos de poda, con una producción de composta de 269 t/día) (SEMARNAT, 2020). A nivel nacional, se estiman 56,427 t/día de residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión (SEMARNAT, 2020).

La economía circular busca mantener los recursos en uso, reduciendo la necesidad de nuevos insumos mediante ciclos técnicos y biológicos. Los procesos para reutilizar reciclar o reprocesar materiales están ampliamente difundidos para los residuos inorgánicos, sin embargo, para los residuos orgánicos parece que solo se considera el compostaje. Entonces la economía circular de residuos orgánicos se vuelve en un modelo reparador y regenerativo que mantiene recursos en circulación.

A pesar del crecimiento de la literatura sobre economía circular y agricultura climáticamente inteligente, en el contexto mexicano persisten vacíos relevantes. En este contexto el sustentos jurídicos de los beneficios fiscales para la economía circular agroindustrial disponibles se encuentran en diversos artículos de la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) (1), de la Ley General de Economía Circular (2021) (2), de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) (3), de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS) (4) que en conjunto con la Política Nacional de Economía Circular (SEMARNAT, 2020), reconoce la necesidad de estímulos fiscales para reconversión productiva y valorización de residuos.

El procesamiento residuos orgánicos está documentado en casos de éxitos de diversos países, como en México en la producción de biogás a partir de nopal y estiércol, en Colombia el emplear mango deshidratado como cuero de mango para empaques, salsa de mango; así como empaques biodegradables con cáscara de huevo y bagazo de caña. En Europa resaltan casos en Dinamarca al utilizar aceite y harina de café reciclados para cosméticos y alimentos; en Holanda se elaboran moldes 3D con biopolímero y micelio, compostables al final de su vida

útil. En Portugal se elabora pintura con cascarón de huevo, proteínas y aceite de insectos, biogás con residuos vegetales y en España se obtiene compost y fertilizantes orgánicos a partir de poda de viñedos (Buraglia-Osorio, 2021) (Anaya-Villalpando, 2023).

Concepto y pilares de la Agricultura Climáticamente Inteligente

La FAO (2017) define la Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI) como un enfoque integral que busca transformar los sistemas agrícolas tradicionales mediante la implementación de prácticas, políticas e inversiones que promuevan tres objetivos centrales: aumentar sosteniblemente la productividad y los ingresos agrícolas, adaptar los sistemas productivos a los riesgos climáticos y aumentar su resiliencia y reducir o mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este enfoque no se limita a un conjunto fijo de técnicas, sino que propone paquetes tecnológicos flexibles y contextuales según las condiciones agroecológicas, económicas y sociales de cada región.

En México, la ACI se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los ODS 2 (Hambre Cero), 12 (Producción y consumo responsables) y 13 (Acción por el clima). Asimismo, contribuye a las metas de adaptación establecidas en la Contribución Nacional Determinada (NDC) que el país presentó ante el Acuerdo de París.

(1) Art. 34 fracción XIII: Deducción inmediata para maquinaria y equipo destinado a la reducción de contaminantes y tecnologías limpias.

Art. 34 fracción XV: Deducción para inversiones en equipos para el aprovechamiento de residuos y biomasa.

Art. 25 y 27: Permiten deducciones por inversiones necesarias para las actividades productivas (incluye tecnologías de aprovechamiento de residuos).

Art. 28: Facilita estímulos para sectores estratégicos alineados con sostenibilidad

(2) Art. 8, 11 y 15: Promueven incentivos económicos y fiscales para fomentar el aprovechamiento de residuos, ecodiseño y valorización de biomasa agroindustrial.

Art. 22-24: Establecen responsabilidad compartida y estímulos para tecnologías de valorización.

(3) Art. 15, 38, 126: Reconoce instrumentos económicos y fiscales para promover prácticas ambientales sostenibles, manejo de residuos y la prevención de contaminación.

(4) Art. 22, 28, 30 y 36: Impulsa incentivos, financiamiento y apoyos para proyectos innovadores en el sector agropecuario, incluyendo la valorización de residuos.

Prácticas de Agricultura Climáticamente Inteligente en México

Tabla II. Síntesis de proyectos de Agricultura Climáticamente Inteligente en México

Proyecto / Estudio	Localización principal	Prácticas ACI	Principales aliados / financiamiento	Resultados clave
Lithgow et al. (2024)	**Ameca-Mascota, Del Carmen, Jamapa**	Live fences, riparian restoration, silvopastoril	INECC, Banco Mundial	Carbono, conectividad, análisis costo-beneficio.
Jaramillo et al. (2020)	**Pilotos (México, Nicaragua)**	Water harvesting + goteo/aspersión/canal	FLAR, CFC, CIAT, USAID	Rendimientos 2–4×; hasta USD 2,000/ha.
Hellin / MasAgro (CIMMYT)	**Nacional**	Variedades tolerantes, reducción labranza	CIMMYT, redes MasAgro	Escalamiento mediante redes; adopción tecnológica.
Von Thaden et al. (2024)	**Ameca-Mascota, Jamapa**	Árboles aislados, riparian veg, live fences	Banco Mundial, CONECTA	Mejora de carbono y conectividad paisajística.
Vignola et al. (2022)	**Latinoamérica (incl. México)**	Agroforestería, conservación suelos	ICI, CASCADE	Beneficios multidimensionales; lagunas en evidencia socioeconómica.
Zavariz-Romero et al. (2014)	**Sinaloa / México**	Goteo, invernadero, compost	Extensión local	Aumento eficiencia hídrica; riego rentable en cultivos selectos.
Proyecto Cuenca Balsas (FIDA)	**Cuenca Balsas**	Captación agua, manejo suelos, agroforestería	FIDA + contrapartida nacional	Beneficia decenas de miles; mayor resiliencia.
Proyecto RÍOS (INECC / FMCN)	**Cuencas prioritarias**	Restauración, prácticas productivas	INECC, FMCN, GEF, GCF	Convocatorias para restauración; integración institucional.

Fuente: elaboración propia a partir de la investigación documental.

Como se muestra en la Tabla II, los proyectos de agricultura climáticamente inteligente en México presentan una diversidad de enfoques y escalas, pero coinciden en la búsqueda de mayor resiliencia climática y sostenibilidad productiva.

Problemática

En el caso de México, si bien existen avances normativos y programas orientados a la sostenibilidad agroalimentaria, la adopción sistemática de modelos de economía circular en el sector agroindustrial sigue siendo incipiente. Esto hace necesario un análisis riguroso que permita evaluar la viabilidad real de integrar productos y residuos agroindustriales a esquemas circulares, considerando tanto los beneficios potenciales como las condiciones económicas, fiscales y regulatorias que inciden en su implementación.

El sector agroindustrial enfrenta impactos del cambio climático que afectan la productividad y sostenibilidad.

Estos impactos se traducen en pérdidas frecuentes que son cuantiosas para el sector mermando la productividad. El análisis de residuos agroindustriales es escaso por lo que existe una limitada integración de éstos a nuevos procesos lo que les limita aún más la sostenibilidad de las actividades agrícolas.

Las prácticas y estrategias diseñadas para implementar la economía circular están diseñadas para las economías a grandes escalas, por lo que la adopción de éstas representa altos costos iniciales en tecnologías sostenibles y se enfrenta a las barreras de acceso a financiamiento climático y la falta de asistencia técnica para productores.

Esta investigación busca contribuir a cerrar dichos vacíos mediante un análisis documental integral que contribuya a articula prácticas productivas sostenibles con la valorización de los residuos orgánicos.

El objetivo general de este estudio es analizar la viabilidad de la integración de productos y residuos agroindustriales a la economía circular en México, con énfasis en los aspectos técnicos, económicos y fiscales.

Los objetivos específicos son: identificar las principales prácticas de economía circular aplicables al sector agroindustrial; analizar los beneficios ambientales y productivos derivados de su adopción; y examinar el papel de los incentivos fiscales y del marco normativo en la implementación de estas.

Metodología

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, descriptivo y analítico. La unidad de análisis está conformada por documentos académicos, normativos y técnicos relacionados con la economía circular, la agricultura climáticamente inteligente y el sector agroindustrial en México.

La investigación se desarrolló mediante un ejercicio de exploración de documentos especializados principalmente a través de Google académico. Las fuentes de información incluyen artículos científicos, informes institucionales, legislación fiscal y ambiental, así como lineamientos de congresos y organismos especializados. Se analizaron artículos científicos, informes técnicos y documentos institucionales publicados entre 2013 y 2024. Además, se exploró en las publicaciones de organismos internacionales, priorizando documentos del contexto mexicano.

La técnica principal de recolección de información fue la búsqueda de documentos que refirieran a los residuos orgánicos derivados de la actividad agrícola. La revisión documental sistemática permitió identificar conceptos clave, prácticas recurrentes, beneficios reportados y limitaciones estructurales. El análisis de la información se realizó mediante categorización temática, enfocándose en cuatro dimensiones respecto a los residuos orgánicos derivados de actividades agrícolas: ambiental, productiva, económica y fiscal. Garantizando así la coherencia del análisis y la transparencia en la interpretación de los resultados.

El análisis se realizó mediante comparación temática y síntesis crítica de prácticas, mecanismos de financiamiento y resultados reportados.

Resultados y discusión

Los primeros resultados derivados del análisis de la literatura y los documentos revisados permiten identificar que entre las prácticas más relevantes para para el aprovechamiento de residuos orgánicos derivados de la agricultura, se encuentra el uso de biodigestores, la producción de compost y biofertilizantes, y la generación de bioenergía. Estas estrategias permiten reducir la disposición final de residuos, disminuir emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia en el uso de recursos.

El análisis crítico de los factores comunes identificados en los proyectos permitió establecer la relación entre prácticas de integración de residuos orgánicos y los beneficios en las iniciativas encontradas y muestra que existe una alta prevalencia de prácticas basadas en agua y paisaje así como iniciativas en donde se requiere de inversiones en sistemas de riego por goteo, por ejemplo, o para infraestructura de captación de agua de lluvia.

Las alternativas para la reutilización de subproductos agroindustriales enfrentan barreras recurrentes, como son los costos iniciales, necesidad de capacitación, vacíos de política e incentivos locales, y dificultad para incluir pequeños productores sin mecanismos financieros adaptados.

En un muestreo orientado a proyectar la generación de residuos orgánicos por pérdidas de cosecha los resultados se muestran que el rendimiento promedio por hectárea ha disminuido en el tiempo, de 56.31 t/ha a 27.9 t/ha y aunque el análisis de las causas de esta disminución requiere profundización, habría de considerar condiciones climáticas entre los factores

críticos que han llevado a esta situación. En la tabla…. Se muestran las estimaciones de las pérdidas que representan los fenómenos y siniestralidad en las cosechas.

Tabla III Estimaciones de las pérdidas promedio nacionales en cosecha y valor por áreas siniestradas.

Superficie siniestrada (ha)	**Rendimiento promedio (t/ha)**	**Volumen (t) producción perdida - siniestrada**	**Pérdida de valor promedio rural**	**Valor perdido total**
816,188.1	27.9	22,771,647.99	$16,119,176.607	$36,399,791.67

Fuente: Elaboración propia partir de información de SEMARNAT, 2020 y 2024

Desde el punto de vista productivo, los resultados indican que la economía circular contribuye a la reducción de costos operativos y al incremento de la productividad, al sustituir insumos convencionales por productos derivados del propio proceso agroindustrial. Asimismo, se observa una mejora en la resiliencia de los sistemas productivos frente a riesgos climáticos y de mercado.

Son esenciales los incentivos fiscales para alentar a la adopción de modelos circulares. Para orientar la deducción de inversiones, la reducción de cargas impositivas y los estímulos vinculados hacia el financiamiento de proyectos sostenibles y fomentar la transición tecnológica agrícola. Cabe señalar que se debe garantizar que los beneficios fiscales sean accesibles para pequeños y medianos productores.

Análisis

El informe de SEMARNAT (2020) reporta que en México un indicador equivalente a 0.2 t de composta por cada t de residuo orgánico procesado, considerando las tecnologías usadas para generar composta, compost o biodigestión actuales.

La prospección de la generación de residuos orgánicos a nivel nacional, por origen, doméstico relacionado con los estilos de consumo, grandes generadores agroindustrales, agricultura, ganadería y pesca; poda, pérdida de cosechas y grandes generadores de residuos de alimentosa; puede contribuir para dimensionar alternativas tecnológicas a nivel escala para integrarlos a la economía circular.

Cabe señalar que las categorías más destacadas para los residuos orgánicos priorizan la capacidad del residuo para generar energía, y queda claro que existe una separación por industria generadora y por el estado de los residuos, sólidos y semisólidos y hasta líquidos, propiedad que influye en el potencial de utilización.

La importancia de reconocer la necesidad del manejo especial de los recursos orgánicos radica en la separación desde el punto de generación evitando la contaminación cruzada con

residuos no orgánicos o peligrosos, y en una segunda separación incluir criterios de clasificación entre los que se han de considerar el contenido de agua y otras propiedades que quedarían por definir como prospectiva para investigaciones futuras.

Los residuos derivados de actividades agroindustriales deben ser considerados residuos de manejo especial, por lo que requieren del diseño de un sistema de gestión integral especial. Que considere el manejo, separación y clasificación desde el punto de generación.

La propuesta inicial radica en la integración de residuos agroindustriales en procesos circulares para generar bioenergía, biofertilizantes y bioproductos. La estrategia clave se ha de apoyar en algunos principios como la aplicación de ecodiseño para productos sostenibles, el manejo eficiente del agua y conservación de suelos, el uso de tecnologías digitales y gestión sostenible del ganado. Los incentivos fiscales y financieros que faciliten e integren deducciones aceleradas en inversiones sostenibles, se adicionen créditos fiscales por reducción de emisiones, exención de impuestos y fondos compensatorios para pequeños productores; con el objetivo de facilitar la transición hacia un modelo agroindustrial resiliente, eficiente y bajo en emisiones

Referente a los aspectos clave del diseño de bioproductos se han de considerar aspectos técnicos como las propiedades físicas y químicas (resistencia, flexibilidad, biodegradación), el desempeño y aplicación del material. Aspectos estéticos como el color, textura, brillo, forma y acabado. Para fines específicos la experiencia sensorial, interpretativa y funcional.

La perspectiva productiva habrá de considerar procesos de transformación: licuado, mezclado, secado, prensado, troquelado con tecnologías de bajo consumo energético, como el secado solar entre otros y la conexión con la cadena productiva existente a gran escala.

Entre los aspectos ambientales es relevante el uso de recursos recuperados y biodegradación, el análisis de ciclo de vida y estrategias de ecodiseño para mitigar los impactos sobre salud humana y ecosistemas.

Las recomendaciones para detonar le integración de los residuos orgánicos agroindustriales invitan a Integrar las estadísticas nacionales de residuos agroindustriales para estimar el potencial de generación de valor circular al insertar los residuos en la cadena económica circular y poder considerar el escalamiento y simplificación de procesos para reducir costos y tiempos. Aproximar Incentivos fiscales y financieros para pequeños productores y empresas. Promoción de normativas y políticas públicas que faciliten la validación y uso de materiales alternativos. Fomentar la educación y conciencia ambiental en consumidores y actores del sector. Impulsar la investigación y formación académica en diseño y aprovechamiento de residuos agroindustriales. Conectar actores clave (productores, diseñadores, industria) para crear cadenas de valor sostenibles.

Integrar sistemas de control en las administración y gestión de los pequeños productores para brindar transparencia en la generación de residuos y su manejo interno, así como de los flujos

de efectivo para brindar garantías del potencial de la implementación de la tecnología y con ello ser garante para ser beneficiario de recibir financiamiento

Conclusiones

En la agroindustria, se puede transformar residuos orgánicos en productos útiles, contribuyendo a la sostenibilidad y mitigación del cambio climático. Apoyándose en Ciclos técnicos y biológicos para reducir la demanda de insumos nuevos. Se requiere del Diseño como estrategia: Productos duraderos, reparables y reutilizables. Al considerar ciclos cerrados los beneficios se traducen en la construcción de capital natural.

La economía circular es una alternativa viable y rentable para la agroindustria a mediano plazo. Genera impactos positivos en productividad, resiliencia y mitigación climática. El diseño actúa como articulador entre mercado, propiedades del material y sostenibilidad. Existen oportunidades en el uso de materiales recuperados, reduciendo impactos ambientales y sustituyendo insumos convencionales. Los procesos actuales son artesanales y costosos, por lo que se requiere escalamiento y simplificación técnica.

La aplicación de la economía circular en agroindustria requiere de la valorización de residuos para bioenergía, biofertilizantes y bioproductos y la integración del ecodiseño y ciclo de vida de los productos para lograr la minimización de impactos ambientales y sostenibilidad.

La integración de productos y residuos agroindustriales a la economía circular es técnicamente y económicamente viable en el contexto mexicano, y representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia un desarrollo agroalimentario más sostenible.

La investigación confirma que la implementación de la valorización de los residuos orgánicos contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero; sin embargo, se requiere la creación de cadenas circulares de valor para, además, incrementar la productividad de la actividad agrícola.

La creación de cadenas circulares, eslabones, de valor facilitaría la transición hacia modelos circulares; para lo cual, es necesario promover políticas públicas, normativas, incentivos fiscales, asistencia técnica, capacitación y formación académica.

Las tendencias actuales han favorecido que crezca un mercado interesado en productos sostenibles, y además existen mercados de carbono voluntarios y obligatorios, por lo que solo se requiere una mayor coordinación entre las instituciones responsables del desarrollo agroindustrial, para cerrar la cadena circular de valor e impulsar cada uno de sus eslabones.

En conjunto, estos elementos permitirán que la economía circular deje de ser una experiencia aislada y se convierta en un eje estructural del sector agroindustrial mexicano.

La integración de residuos agroindustriales a la economía circular no solo requiere de que se asignen presupuestos para crear cadenas de valor circular, orientada hacia la sustentabilidad con bucles de valor para integrar a las partes interesadas, que reciban los beneficios

generados, además requiere de observar principios de ecodiseño de bioproductos, considerar la generación de residuos agroindustriales a gran escala, orientar hacia la potencialización de beneficios fiscales existentes y soluciones basadas en la naturaleza enfocados en impulsar la viabilidad de la gestión de residuos orgánicos de manera especial.

Los resultados de este estudio tienen implicaciones teóricas al fortalecer el marco analítico que vincula la economía circular con la agricultura climáticamente inteligente, integrando el aprovechamiento de residuos agroindustriales como un componente clave para la sostenibilidad del sector agroalimentario. En términos prácticos, la evidencia analizada demuestra que la adopción de prácticas climáticamente inteligentes en forma sistémica se convierte en un sistema de alertamiento y prevención ante los riegos agroindustriales y puede mejorar la productividad agrícola, reducir riesgos climáticos y generar beneficios económicos cuando se acompaña de asistencia técnica y financiamiento adecuado. Asimismo, las implicaciones para la política pública resaltan la necesidad de fortalecer los mecanismos de financiamiento climático, los incentivos fiscales y la coordinación interinstitucional, con el fin de facilitar la adopción y el escalamiento de estas prácticas en México, particularmente entre pequeños y medianos productores.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional por las facilidades brindadas para elaborar esta investigación.

Referencias

Anaya-Villalpanda, M. (2023). La economía circular para la seguridad alimentaria y el procesamiento agroindustrial de alimentos. Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial, 7(2), e268. Escuela Superior de Cuadros del Estado y del Gobierno.

Buraglia-Osorio, M. (2021). El diseño como estrategia de circularidad en el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Revista Designia, 8(2), 131–151. Recuperado de revistasdigitales.uniboyaca.edu.co.

Ellen MacArthur Foundation. (s.f.). Circular Economy Principles.

FAO. (2013). Climate-smart agriculture sourcebook. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook

FAO. (2024). Climate-smart agriculture overview. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/climate-smart-agriculture

CGIAR. (2022). Climate-smart agriculture practices: Soil, water, and livestock management. CGIAR Knowledge Platform. https://www.cgiar.org

CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). (2021). CSA guide: Climate-smart agriculture guide. CGIAR / CCAFS. https://csa.guide

DGSIAP (2024). Anuario Estadístico de la Producción agrícola. Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/

Hellin, J. (2014). An innovation systems approach to enhanced farmer adoption of climate-ready germplasm and agronomic practices (MasAgro). CIMMYT.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). Climate change and land. IPCC. https://www.ipcc.ch/srccl

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Sixth assessment report (AR6): Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC. https://www.ipcc.ch/report/ar6-wg2

Jaramillo, S., Graterol, E., & Pulver, E. (2020). Sustainable transformation of rainfed to irrigated agriculture through water harvesting and smart crop management practices. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 1–14. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00045

Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). Ley del Impuesto sobre la Renta. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf (Artículos utilizados: 25, 27, 28, 34 fracc. XIII y XV.)

Ley General de Economía Circular (LGEC) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). Ley General de Economía Circular. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEC.pdf (Artículos utilizados: 8, 11, 15, 22–24.)

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf (Artículos utilizados: 15, 38, 126.)

Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Diario Oficial de la Federación. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LDRS.pdf (Artículos utilizados: 22, 28, 30 y 36.)

Lithgow, D., Von Thaden, J. J., Revollo-Fernández, D., Salazar-Vargas, M. P., & Rodríguez de los Santos, A. (2024). Assessing the feasibility and socioecological benefits of

climate-smart practices at the watershed scale. Sustainability, 16(3), 1–22. https://doi.org/10.3390/su16031045

Mcdonough, W., & Braungart, M. (2005). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things.

SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* Primera edición, mayo 2020. www.gob.mx/semarnat, www.gob.mx/inecc

Vignola, R., Esquivel, M. J., Harvey, C. A., Rapidel, B., Bautista-Solís, P., Alpizar, F., Donatti, C. I., & Avelino, J. (2022). Ecosystem-based practices for smallholders' adaptation to climate extremes. Agronomy, 12(5), 1–21. https://doi.org/10.3390/agronomy12051123

Von Thaden, J. J., Lithgow, D., Revollo-Fernández, D., Salazar-Vargas, M. P., & Rodríguez de los Santos, A. (2024). The effects of implementing three climate-smart practices with an integrated landscape approach. Land, 13(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/land13020145

World Bank. (2022). Financing climate-smart agriculture: Global lessons and opportunities for scaling up. The World Bank Group. https://documents.worldbank.org

World Bank. (2023). Climate-smart agriculture investment plan framework. The World Bank Group. https://www.worldbank.org/en/topic/climate-smart-agriculture

World Bank & CGIAR. (2021). Climate-smart agriculture in practice: Success stories from developing countries. World Bank Group. https://openknowledge.worldbank.org

Zavariz-Romero, B., Cervantes, C., Nowak, A., Lizarazo, M., Imbach, P., Halliday, A., & Prasodjo, R. (2014). Climate-smart agriculture in Mexico (caso Sinaloa). CATIE / CIAT.

Capítulo 4. La política pública ambiental y los contrasentidos de su implementación en México

Environmental public policy and the contradictions in its implementation in Mexico

María Elena Tavera Cortés
Instituto Politécnico Nacional (IPN), UPIICSA, México; mtavera@ipn.mx
ORCID: 0000-0002-2179-2735.
Pedro Ulysses Lozano Bravo
Instituto Politécnico Nacional (IPN), UPIICSA, México; plozanob2400@alumno.ipn.mx.
ORCID: 0009-0004-1082-6428.
Raúl Junior Sandoval Gómez
Instituto Politécnico Nacional (IPN), UPIICSA, México; rsandova@ipn.mx
ORCID: 0000-0001-9335-2176.

Recibido 22 de marzo 2026; Aceptado 23 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411034

Resumen

En México, con el Plan Nacional de Desarrollo (PND), las políticas ambientales se han expandido por la importancia que adquirió el cuidado de los ecosistemas y el cumplimiento de acuerdos internacionales en esta materia. Sin embargo, este robustecimiento normativo queda rezagado ante las metas impuestas por el gobierno para generar crecimiento económico. En los últimos años, las acciones que contribuyen a la generación de un desarrollo sostenible presentan una disyuntiva bajo una administración pública que antepone la austeridad presupuestaria priorizando los recursos petrolíferos del país y creando dificultades para lograr una sólida gobernanza ambiental. Este estudio emplea un enfoque cuantitativo-descriptivo, utilizando datos oficiales del gobierno federal. Se compara la producción de combustibles fósiles con el gasto en protección ambiental y se contrastan propósitos normativos con asignaciones presupuestales a las instituciones encargadas de la gestión ambiental. Es decir, la visión de un gasto ambiental estancado en alrededor del 0,6% del PIB solamente amplía la brecha con el costo ambiental que se está pagando. Debilitar la capacidad operativa de la gestión ambiental y la supervisión regulatoria crea contrasentidos intersectoriales, hay que entender que limitar la alineación hacia energías limpias, genera un riesgo muy alto por conservar el medio ambiente a largo plazo.

Palabras clave: política ambiental, desarrollo sostenible, austeridad, gobernanza ambiental, gestión ambiental.

Abstract

In Mexico, under the National Development Plan (PND), environmental policies have expanded due to the growing importance of protecting ecosystems and complying with international environmental agreements. However, this stronger regulatory framework tends to fall behind the government's economic growth goals. In recent years, efforts aimed at promoting sustainable development have faced a dilemma within a public administration that prioritizes budget austerity, gives preference to the country's oil resources, and creates obstacles to achieving strong environmental governance. This study uses a quantitative-descriptive approach based on official federal government data. It compares fossil fuel production with environmental protection spending and contrasts regulatory commitments with the actual budget allocations given to institutions responsible for environmental management. In short, environmental spending has remained stuck at around 0.6% of GDP, which only widens the gap compared to the environmental costs the country is paying. Weakening the operational capacity of environmental management and regulatory oversight creates intersectoral contradictions. Limiting the shift toward clean energy poses a high long-term risk to environmental protection.

Keywords: environmental policy, sustainable development, austerity, environmental governance, environmental management.

Introducción

Con el inicio del nuevo gobierno federal en 2018, encabezando la alternancia en el poder por Andrés Manuel López Obrador, la política ambiental que se aplicaba en México adquirió un nuevo horizonte al integrarse de manera categórica en el Plan Nacional de Desarrollo (PND). El instrumento rector de la planeación nacional estructuró sus objetivos políticos, sociales y económicos en tres grandes ejes: desarrollo económico, justicia y estado de derecho, y bienestar mediante la incorporación de una visión ambiental en estos pilares. Lo anterior supuso una reorganización en que el crecimiento del país no puede deslindarse del bienestar social de una sostenibilidad ecológica. Bajo esta "nueva" perspectiva, el principio rector es claro: atender las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Antecedentes

El eje "Desarrollo económico" en el PND se planteó dentro de un contexto de transformación acelerada, modificar la visión tradicional sobre el crecimiento basado en la extracción intensa

de recursos naturales hacia un desarrollo más sostenible. Entre los mayores desafíos se encontraron la productividad global en constante crecimiento y evolución, así como la integración de los criterios ambientales que contribuyen con una planificación económica adecuada para combatir el cambio climático, mediante los cuales se aspira a reducir costos derivados de la degradación y promover la creación de nuevos modelos de negocio.

A través de este eje, la inclusión de un modelo de sostenibilidad en la planeación económica busca, por ejemplo, fomentar una verdadera transición energética, no solo generar la eficiencia de recursos, así evitar que la degradación ambiental desarrolle pérdidas económicas a futuro. Conforme al índice de planeación económica sostenible, México ha iniciado consideraciones ante el impacto del cambio climático y la pérdida de biodiversidad en sus políticas fiscales y presupuestarias, aunque estos procesos enfrentan retos de implementación y recursos (SHCP, 2025).

Sin embargo, el gobierno llega a estancarse en el debate político al buscar aumentar su capacidad para crear una verdadera articulación entre sostenibilidad y crecimiento económico. En la práctica, por un lado, se cuenta con una planeación económica que pretende impulsar los proyectos de infraestructura necesarios para el desarrollo social que, de manera categórica, contemplan criterios ambientales como la evaluación continua del impacto ambiental y la protección o regeneración de ecosistemas. Por otra parte, el presupuesto nacional asignado a las instituciones encargadas de focalizar las actividades ambientales, registran múltiples reestructuraciones en partidas clave a lo largo del ejercicio fiscal, mientras que las prioridades y necesidades energéticas requieren mayores inversiones en sectores tradicionales como petróleo u obras de infraestructura con alto costo ambiental, lo cual genera discusiones respecto a la falta de congruencia entre el discurso y la práctica.

El segundo eje del PND “Justicia y estado de derecho”, refleja la relación entre las leyes, normas y reglamentos, la protección ambiental y la equidad social. Si bien, el eje habla de una operatividad judicial a nivel general, este estudio se centra en la justicia ambiental, que alude a la distribución equitativa de los beneficios y costos ambientales entre las actividades productivas del país, evitando que los sectores más vulnerables en la sociedad carguen desproporcionadamente con el costo de una degradación ecológica excesiva. En México, los grupos indígenas y comunidades rurales con menores recursos han sufrido históricamente las consecuencias de políticas para la sobreexplotación de recursos naturales como el uso indiscriminado y contaminación del agua. El enfoque del plan nacional en este eje busca el reconocimiento de un marco legal sólido, instituciones eficaces y mecanismos eficientes para acciones participativas de la ciudadanía que aseguren su cumplimiento. Esta inclusión representó un avance en cuanto a la posición del gobierno ante la política ambiental, buscando empoderar los sectores sociales para que formen parte en la toma de decisiones que impactan sus territorios.

Gracias a este principio de justicia ambiental, los mecanismos de planificación climática de largo plazo se han actualizado, con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), a través de la cual se establecen metas concretas de mitigación y adaptación a mediano y largo plazo que buscan no solo reducir emisiones, sino fortalecer la resiliencia económica y social de la población frente a los efectos del deterioro ambiental. La autoridad establece que esta estrategia "no solo debe enfocarse en reducir la contaminación… sino también en fortalecer los medios de subsistencia, la resiliencia y la prosperidad del país" (SEMARNAT, 2025).

Finalmente, el tercer eje "Bienestar", hace hincapié en la relación directa entre la calidad de vida de la población y la protección y cuidado del medio ambiente. Generar las condiciones para el acceso a agua potable, aire limpio, suelos fértiles y entornos saludables son componentes fundamentales del bienestar humano. En el PND se reconoce y se incorpora el enfoque ambiental como parte integral de las políticas en cuestión de salud pública, seguridad alimentaria y reducción de desigualdades. En este sentido, se establece una estrategia que proteja a los ecosistemas y, junto con una gestión sostenible de recursos naturales, son herramientas necesarias para garantizar los derechos básicos de la población, se evitan daños futuros que podrían agravar la pobreza, la inseguridad alimentaria o los impactos socioeconómicos de fenómenos climáticos extremos. Como ejemplo, el plan reconoce lo importante que es para la sociedad y la economía la conservación de bosques, preservar los cuerpos de agua naturales y el crecimiento y desarrollo de zonas o territorios productivos como parte de un enfoque integral del bienestar nacional.

En este enfoque integral, que precisa una visión a largo plazo, el desarrollo no debe centrarse únicamente en conseguir el crecimiento del PIB como forma de lograr una mejor la calidad de vida, sino como un proceso universal que logra equilibrar las dimensiones económicas, sociales y ambientales, es decir, la sostenibilidad, en esta lógica, forma parte de una creación abundante de condiciones para el progreso y no solo una cláusula para reducir el costo marginal a corto plazo. Es por ello por lo que la puesta en práctica de esta visión enfrenta grandes desafíos estructurales: la fragmentación o nula interrelación institucional, la insuficiencia de recursos (humanos y económicos), la escasa resiliencia de sectores productivos tradicionales y la falta de indicadores para obtener una evaluación funcional de las políticas mantienen las dificultades en la consolidación de una política ambiental realmente integrada.

Ahora bien, el PND estableció los principios, pero materializar una política ambiental efectiva lleva tiempo y exige un orden empezando por el fortalecimiento institucional. En un país como México, donde la participación gubernamental es imprescindible en todos los sectores económicos, se requieren estrategias sólidas para crear un compromiso constitucional en cuanto a normativa, incentivar la participación ciudadana y hacer crecer los mecanismos de evaluación que permitan no solo medir resultados a mediano y largo plazo, sino que en el corto plazo se puedan apropiar actividades que den seguridad operativa. El

gobierno ya reconoció la interdependencia entre medio ambiente y desarrollo social, ahora debe presionar lo suficiente para abrir la puerta hacia una transformación más profunda que requiere acciones concretas, una correcta focalización de recursos y coherencia entre la ley y su acción. Incorporar los criterios ambientales en la planeación nacional es, sin temor a equivocarse, un gran avance conceptual, pero el verdadero reto se ubica en poder materializar esa visión formalizando políticas públicas con impacto real y sostenible para la población actual y futura.

Marco teórico

La importancia del posicionamiento que debe tener la gobernanza ambiental como un eje central para las políticas públicas contemporáneas y, específicamente en el contexto mexicano, recae en el ordenamiento de la estructura institucional. Aun cuando los avances estén presentes, es necesario asumir que las mayores áreas de oportunidad se localizan dentro de la ejecución de las políticas ambientales y su coherencia con la política energética, la cual tiene total trascendencia para el gobierno.

México cuenta con un marco legal para la protección ambiental robustecido en los últimos años y aunque la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, promulgada en 1988, sigue siendo la columna vertebral en la regulación y gestión de los recursos naturales del país, es necesario que exista una convergencia entre la sociedad y el Estado. De igual forma, la participación nacional en acuerdos internacionales ha contribuido a aumentar los compromisos en el cuidado del medio ambiente, con altas metas en cuestión de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el incremento en la generación de energías limpias.

Tomando en cuenta lo anterior, se debe aceptar el papel del sector energético como motor de una economía, por lo que modificar las prioridades es un asunto que dificulta la relación con la sostenibilidad. A nivel internacional, conforme lo expuesto por Hancevic, Núñez & Rosellón (2022), el análisis de las políticas muestra que los marcos institucionales más amplios junto con mercados energéticos competitivos tienden a obtener mejores resultados al momento de realizar una transición a las energías limpias, en cambio, países con estructuras de mercado más persistentes o inflexibles, se enfrentan con problemas para crear condiciones idóneas de crecimiento económico y sostenibilidad ambiental.

Es por ello que la transición energética tiene una relación particular con la equidad y justicia ambiental, adoptar energías renovables, además de su importancia en la conservación ambiental, interviene directamente en el bienestar social que genera proporcionar recursos naturales y energéticos a comunidades rurales o zonas urbanas marginadas (Ren et al., 2025).

Al analizar el caso de México, el debate es más complicado, ya que el gobierno reconoce los problemas ambientales y ha favorecido la reformulación de políticas públicas sostenibles; sin embargo, la política energética prioriza la continua expansión en el uso de combustibles fósiles, la inversión en proyectos poco sustentables y subsidios que limitan la implementación de tecnología para obtener energía limpia.

La distancia entre los objetivos establecidos y los mecanismos para llegar a ellos es significativa en territorio nacional, identificar las inconsistencias regulatorias, las reglas en el mercado y las contradicciones en las que recae el gobierno al aceptar o no inversión y proyectos privados, son factores que desaceleran la sostenibilidad. Tener como meta la gobernanza ambiental es una ardua tarea que no depende solamente del marco jurídico, deben construirse las bases para alcanzar una estabilidad regulatoria que traduzca los compromisos y objetivos en resultados firmes y tangibles para la sociedad (Grande-Acosta et al., 2024). Sumado a esto, las limitantes seguirán aumentando si no existe innovación tecnológica ni los suficientes incentivos para la inversión, la transformación debe orientarse desde lo más profundo de las políticas (Magar et al., 2023).

Justificación

Ante el reto de fortalecer la gobernanza ambiental en México, resulta fundamental entender el contexto donde el desarrollo económico nacional enfrenta presiones sobre un bajo crecimiento, además de la resistencia que oponen las nuevas regulaciones derivadas del cambio climático y la degradación ambiental. Con base en la perspectiva internacional, la sostenibilidad como eje articulador del desarrollo, se consolido a partir de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, impulsada por la Organización de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015). Es en este marco de acción que los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se establecen para determinar metas claras en materia de energía accesible y no contaminante (ODS 7), acción por el clima (ODS 13) e instituciones sólidas (ODS 16), coadyuvando en la vinculación entre el bienestar social y una gobernanza ambiental.

Ahora bien, si en México la institucionalización de políticas ambientales y su alineación con los ODS representa un gran avance, se debe cambiar la estrategia de alguna manera, ya que organismos internacionales señalan ciertas discrepancias en su implementación y retrocesos en la política energética que en el corto y mediano plazo podrían comprometer la transición hacia energías limpias (OCDE, 2023). Asimismo, la política de austeridad impuesta por la actual administración ha buscado eficiencia presupuestaria, pero a costa de reducir los recursos para mantener la capacidad operativa en sectores estratégicos, lo que podría afectar los indicadores en materia ambiental y de supervisión de las políticas sostenibles en territorios clave (Azuela et al., 2024). Como consecuencia, en un análisis profundo, ubicar la coherencia entre gobernanza ambiental, política energética y un desarrollo económico

sostenible resulta tan relevante como difícil poder identificar si los compromisos se traducen en impactos reales y homogéneos dentro del territorio nacional.

Objetivo

El objetivo de esta investigación es analizar el fortalecimiento de la gobernanza ambiental en México y su contribución al desarrollo económico, a través de la coherencia entre la política ambiental y energética, además de su cumplimiento ante compromisos internacionales, lo anterior, con el fin de detectar una posible paradoja entre el *ser* y el *deber ser* que el mismo gobierno impulsa en materia ambiental, pero que poco se ve reflejado en un crecimiento sostenible.

Se debe considerar que el objetivo parte de un supuesto: la gobernanza ambiental implica una normatividad robustecida y su aplicación efectiva a través de una capacidad institucional congruente e intersectorial (Peters & Pierre, 2016). Desde una perspectiva económica, la transición hacia energías limpias podrá generar beneficios en términos de bienestar social y competitividad siempre que las condiciones regulatorias sean consistentes y exista un mercado estable (Yolcan, 2023). No obstante, es posible que los procesos de austeridad debiliten las estructuras burocráticas en la ejecución efectiva de políticas públicas, especialmente en sectores tan específicos como es la gestión de los recursos naturales, lo cual sugiere que el gobierno mexicano enfrenta serias restricciones que van más allá del diseño normativo (Azuela et al., 2024).

Con base en lo anterior, es posible plantear la siguiente hipótesis: un fortalecimiento normativo e institucional en materia ambiental en México genera avances formales respecto a la agenda nacional e internacional; sin embargo, la falta de coherencia entre la política intersectorial y las limitaciones de implementación derivadas de la austeridad presupuestaria reducen el impacto para alcanzar un desarrollo sostenible.

Metodología

En este estudio, se utilizó una metodología cuantitativa-descriptiva, analizando los datos disponibles en el periodo 2018-2024. Este enfoque permite localizar evidencia de los logros alcanzados por la política pública y de posibles obstáculos (sean de carácter institucional o normativo) para resolver la problemática ambiental en México.

El propósito central del enfoque utilizado es cuantificar y describir la situación real de las prioridades gubernamentales respecto al uso de combustible fósil, frente a los compromisos ambientales oficiales y metas declaradas en instrumentos normativos y acuerdos internacionales. Se trata de identificar si existe coherencia entre las metas ambientales establecidas por el Estado y la prioridad real a políticas y acciones energéticas.

Con el uso de la Base de Datos Institucional de Petróleos Mexicanos (PEMEX), se obtienen tablas y series cronológicas con la cual se pueden identificar tendencias formales como la participación de combustibles fósiles contra energías limpias, específicamente para la generación de energía eléctrica. Se establecen como base, algunos indicadores como la matriz energética (combustibles fósiles contra renovables), porcentaje de electricidad generada por tipo de fuente, subsidios otorgados por el gobierno dentro del sector eléctrico y las metas ambientales, con la finalidad de comparar las estadísticas en cuestión de uso y explotación de recursos.

Resultados y discusión

Conforme a los datos que proporciona PEMEX, en el último sexenio se registró un incremento constante en la producción de combustible fósil. En la tabla 1 se observa dicho comportamiento, donde, con cifras generales, se ve el constante aumento en los productos petrolíferos del 35%, como gasolinas, diésel, combustóleo y otros (aceites, lubricantes y parafinas), los cuales muestran un incremento por arriba del 40% desde 2018 a fines del sexenio. Las únicas excepciones son el gas licuado y el queroseno, que mostraron una reducción en su producción. Llama la atención el caso del gas licuado que, al ser una opción de energía limpia por las bajas cantidades de carbono que contiene, haya disminuido su producción en territorio nacional.

Tabla 1. Producción petrolífera 2018-2024.

Elaboración de productos petrolíferos
(miles de barriles diarios)

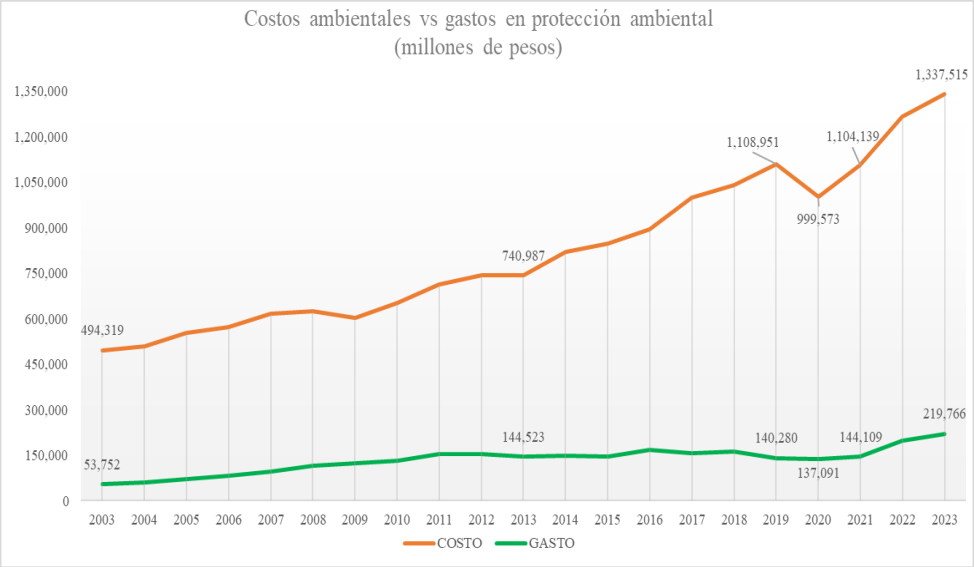
Descripción	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Dif.**
Total	**740.606**	**725.969**	**691.436**	**806.156**	**915.008**	**896.601**	**996.788**	35%
Gas licuado	122.242	107.553	100.46	92.151	92.217	102.335	95.547	-22%
Gasolinas	207.109	203.54	185.602	232.856	271.046	252.366	290.293	40%
Querosenos	34.653	29.009	17.495	28.421	33.068	36.295	33.526	-3%
Diesel	116.806	130.279	113.605	117.672	146.362	134.833	179.974	54%
Combustóleo	185.102	149.815	176.04	244.274	258.278	260.285	271.415	47%
Otros*	74.695	105.774	98.233	90.781	114.037	110.487	126.034	69%

*Aceite, lubricantes y parafinas,
** Diferencia porcentual entre 2018 y 2024

Fuente: BDI/PEMEX.

Del mismo modo, hablando de los recursos asignados a la protección ambiental se pueden tomar como medida las Cuentas Económicas y Ecológicas de México (CEEM, INEGI), que desde 2003 se han encargado de recopilar información sobre el impacto de la actividad económica en el medio ambiente. En la figura 1, se identifica el gasto que se ejerce en la protección del medio ambiente, que solo representa el 16% respecto al costo ambiental que se está pagando por mantener la actividad económica estable. Asimismo, se detecta que la tendencia seguirá extendiendo la brecha entre ambos rubros mientras la inversión se mantenga entre 0.5 y 0.6 % del PIB nacional conforme lo reportado por INEGI.

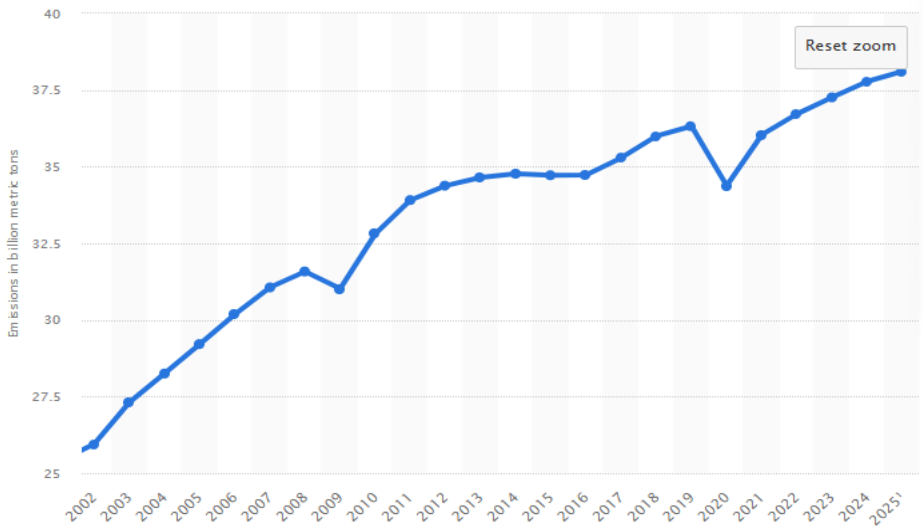
Figura 1. Costo ambiental vs gasto en protección ambiental 2003-2023.



Elaboración propia. Fuente: CEEM/INEGI 2024.

Uno de los hallazgos más importantes se da al comparar el comportamiento de costo ambiental con la emisión de gases de efecto invernadero a nivel mundial; la figura 2 muestra el histórico de las emisiones totales de CO2 en el mundo y la tendencia durante los últimos 6 años es la misma.

Figura 2. Emisiones totales de CO2 a nivel mundial 2002-2025.



Fuente: Statista Research Department 2026.

Regresando al tema presupuestal, la asignación para la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, los datos son más desalentadores. En la Cuenta Pública (SHCP, 2018-2024) se nota la iniciativa del gobierno por invertir en el cuidado y conservación ambiental; sin embargo, la realidad se ve en el momento en que se solicita y se aprueba el recurso, así como los ajustes presupuestales se hacen presentes durante el transcurso del ejercicio. Como se muestra en la tabla 2, el recurso anual ha sufrido dichos ajustes de manera constante, donde prevalecen las reducciones para la Secretaría.

Tabla 2. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Presupuesto proyectado vs aprobado: 2018-2024.

AÑO	PROYECTADO	APROBADO	Diferencia	Dif. Absoluta
2018	$37,045,635,702	$37,580,635,702	$535,000,000	$0
2019	$26,520,459,536	$31,020,459,536	$4,500,000,000	-$6,560,176,166
2020	$29,664,002,260	$29,869,450,777	$205,448,517	-$1,151,008,759
2021	$30,948,192,349	$31,348,192,349	$400,000,000	$1,478,741,572
2022	$40,795,855,575	$40,795,855,575	$0	$9,447,663,226
2023	$75,627,265,287	$75,627,265,287	$0	$34,831,409,712
2024	$70,245,482,469	$70,245,482,469	$0	-$5,381,782,818
2025	$44,370,522,371	$44,370,522,371	$0	-$25,874,960,098

Elaboración propia. Fuente: Cuenta Pública/SHCP.

Además, de acuerdo al análisis en la implementación de las políticas ambientales, en la tabla 3 se identificaron actividades específicas en donde se ha visto un mayor impacto negativo respecto a los recortes presupuestales en instituciones clave.

Tabla 3. Análisis de impacto institucional por recorte al presupuesto ambiental: 2018-2024.

Institución / Sector	Mandato principal	Tendencia presupuestal 2018–2024	Datos destacados del recorte	Impactos ambientales y operativos
SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)	Rectoría de política ambiental, regulación, coordinación interinstitucional.	Reducciones acumuladas significativas; debilitamiento institucional.	En 2024 su presupuesto se propone con **recorte cercano al 40%** en su conjunto.	Debilitamiento general de la rectoría ambiental, retraso en cumplimiento de normativas, menor capacidad de evaluación ambiental.
CONANP (Áreas Naturales Protegidas)	Administración de ANP, conservación de ecosistemas y biodiversidad.	Presupuesto históricamente bajo; leve aumento nominal reciente que **no compensa** pérdida de años previos ni inflación.	Incrementos menores en 2024, pero insuficientes frente al rezago acumulado.	Menor vigilancia, falta de personal, incapacidad para operar planes de manejo; **20 ANP sin planes publicados** en 2024.
CONAFOR (Forestal)	Manejo forestal sustentable, reforestación, combate de incendios.	Recortes constantes desde 2018; debilitamiento de programas forestales.	Afectada por reducciones en 2024 dentro del paquete ambiental.	Aumento de vulnerabilidad ante incendios, menor atención en reforestación, debilitamiento de manejo comunitario.
PROFEPA (Fiscalización)	Vigilancia, inspección y aplicación de normatividad ambiental.	Presupuesto estancado / recortado; pérdida de capacidad operativa.	Reducciones en el marco del recorte general ambiental para 2024.	Menor inspección de industrias, obras y actividades; **más impunidad ambiental**, debilitamiento del Estado de derecho ecológico.
CONAGUA (Agua y saneamiento)	Gestión del agua, infraestructura hídrica, cuencas, saneamiento.	Altamente afectada por recortes bruscos en 2024.	En 2024 registra un recorte de **82%** en el primer trimestre del año; gasto ambiental total cae **49.4%**.	Paralización de proyectos de suministro y saneamiento; riesgos para seguridad hídrica; dependencia de inversión privada.

Instituciones de hidrocarburos / energía con funciones ambientales	Evaluación de impacto ambiental en sector energético, regulación parcial.	Reducciones de recursos en 2024.	Recortes generalizados dentro del sector ambiente y energía.	Riesgo de baja supervisión ambiental en proyectos extractivos; aumento de pasivos ambientales.
Programas transversales (Cambio climático, educación ambiental, restauración)	Políticas climáticas, capacitación, investigación, restauración ecológica.	Sustancialmente reducidos o absorbidos por otras dependencias desde 2018.	Disminución sistemática de fondos y actividades.	Rezago en mitigación y adaptación al cambio climático; pérdida de capacidades técnicas; retroceso en educación ambiental.
Presupuesto ambiental nacional (global)	Conjunto del gasto ambiental del país.	Estancamiento 2018–2023 en alrededor de **0.7% del PIB**; desplome en 2024.	En 2023: 219,766 millones de pesos (~0.7% PIB). En 2024: caída de **49.4%** en primeros meses.	Reducción histórica de la capacidad estatal para proteger ecosistemas y cumplir compromisos climáticos; señal negativa frente a ODS y Acuerdo de París.

Elaboración propia.

Conclusiones

Desde la perspectiva del análisis de impacto ambiental, reconocer que el crecimiento económico moderno exige una presión constante sobre los ecosistemas, lo que genera externalidades negativas que comúnmente no son absorbidas por el mercado. Valorar económicamente el deterioro ambiental permite dimensionar costos directos e indirectos, marginales o no, con sus efectos de corto, mediano y largo plazo. La evidencia de que muchos proyectos productivos parecen viables financieramente en el presente, por lo general resultan social y ecológicamente costosos cuando se consideran daños acumulativos e irreversibles. Por ello, la necesidad de consolidar el análisis de impacto ambiental se debe volver un instrumento estratégico para la toma de decisiones bajo criterios de sostenibilidad intergeneracional.

No obstante, la existencia de mecanismos de evaluación no garantiza que su aplicación se lleve a cabo. La experiencia reciente con este gobierno demuestra que las grandes obras de infraestructura son impulsadas por una prioridad económica o política que supera criterios ambientales. Ahí es cuando el análisis de impacto pierde fuerza para convertirse en un

instrumento meramente formal y hasta cierto punto prescindible. Como consecuencia, el equilibrio entre desarrollo y conservación se distorsiona y pasa a comprometer la resiliencia ecológica y el bienestar social a largo plazo.

Por otro lado, la regulación constituye el pilar para corregir fallas de mercado. Sin intervención estatal, los recursos naturales tienden a ser sobreexplotados y es en este sentido cuando se puede asegurar que a México no le hace falta una política ambiental, pues cuenta con instrumentos de control, incentivos económicos, mecanismos y herramientas para el ordenamiento territorial que, en teoría, conforman un esquema bastante robusto de gobernanza ambiental. Sin embargo, la eficacia de todos estos instrumentos depende de tres condiciones: capacidad institucional, armonía política y suficiencia financiera.

Con una asignación de gasto público ambiental que representa alrededor del 0.6 % del PIB, en los últimos años han existido recortes inmediatos en el corto plazo. Esto provoca la reducción de actividades clave en la protección al medio ambiente, afectando a las instituciones encargadas de la gestión ambiental. La disminución continua de recursos restringe la ejecución de programas, además que agota a sobremanera las labores de supervisión, recopilación de información y, singularmente, la capacidad de sancionar los incumplimientos o quebrantos a la ley, que son ejes indispensables para un sistema regulatorio efectivo.

Ahora, en términos de desarrollo sostenible, el problema es más profundo. La sostenibilidad conlleva equilibrar el crecimiento económico, el bienestar social y la protección ambiental bajo una visión de mediano y largo plazo alineada a los compromisos internacionales como los ODS, que el gobierno adopta. Sin embargo, en ciclos políticos breves, los proyectos de infraestructura que generan un alto impacto ambiental en conjunto con una limitada inversión en restauración ecológica dificultan la transición energética que busca consolidarse en el país. Aún con los incentivos económicos en pro de la ecología como impuestos, subsidios o pagos por servicios ambientales, su alcance depende de la confianza en el gobierno por parte del sector privado que, generalmente requiere esfuerzos políticos en otras áreas productivas.

Con esto en mente, el análisis permite concluir que, en México, el mayor desafío radica en fortificar la gobernanza ambiental. Esto puede lograrse robusteciendo el modelo de operación para asegurar e incrementar recursos y mejorar la transparencia en el ejercicio del gasto. Consolidar a la autoridad ambiental garantiza la continuidad de programas estratégicos más allá de los cambios sexenales o prioridades políticas, es necesario fortalecer a las instituciones mediante una normativa sólida que otorgue injerencia real en la actividad productiva del país. Por lo anterior, sin una base financiera sólida, la política ambiental establecida corre el riesgo de convertirse en solo una estructura normativa sin la capacidad de supervisar el actuar de empresas y con indicadores de cumplimiento muy bajos o nulos.

Finalmente, alcanzar un verdadero impulso para mejorar la gestión ambiental representará un gran avance, pero su vínculo con el desarrollo sostenible hace que estos progresos estructurales queden vulnerables derivado de un gobierno que enfrenta la baja del crecimiento económico y lucha para conservar a flote la economía nacional que, lamentablemente, lo hace a costa del medio ambiente. Si esta tendencia continúa, el país podría enfrentar mayores costos ecológicos, sociales y económicos en el futuro, tal vez de manera irreversible. El deber está en comprender que dicha sostenibilidad no es el resultado de la existencia de normas y reglamentos, sino de una implementación efectiva, respaldada por voluntad política y empresarial que asuma el "riesgo" financiero, con una visión de largo plazo colocando al medio ambiente como un eje central del desarrollo regional y nacional.

Referencias

Azuela, A., Rodríguez, F. B., Carabias, J., Casar, J., Vianello, L. C., Cordera, R., ... & Woldenberg, J. (2024). El daño está hecho: Balance y políticas para la reconstrucción. Grano de sal.

Grande-Acosta, G. K., Islas-Samperio, J. M., & Carrasco-González, F. (2024). Energy Transition Policy of the Mexican Electricity Sector: A Representation in Terms of the Theory of Change. *Energies, 17(21), 5259*.

Hancevic, P. I., Núñez, H. M., & Rosellón, J. (2022). Mexico's Energy Prospects: Gains from Renewable Sources Over A Fossil Fuel-Dominated Environment. *Economics of Energy & Environmental Policy, 11(2)*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Cuentas económicas y ecológicas de México 2023. Cuentas Económicas y Ecológicas de México (CEEM) 2023

Magar, V., Peña, A., Hahmann, A. N., Pacheco-Rojas, D. A., García-Hernández, L. S., & Gross, M. S. (2023). Wind energy and the energy transition: Challenges and opportunities for Mexico. *Sustainability*, 15(6), 5496. https://doi.org/10.3390/su15065496

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2023). OECD Environmental Performance Reviews: Mexico 2023. *OECD Publishing*.

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015, Naciones Unidas, A/RES/70/1, 3/40.

Petróleos Mexicanos (PEMEX). (2024). Estadísticas petrolíferas 2018–2024. *Base de Datos Institucional (BDI)*. Petróleos Mexicanos | Base de Datos Institucional

Peters, B. G., & Pierre, J. (2016). Comparative governance: Rediscovering the functional dimension of governing. *Cambridge University Press*.

Ren, W., Guan, Y., Qiu, F., Levin, T., & Heleno, M. (2025). Energy justice and equity: a review of definitions, measures, and practice in policy, planning, and operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 222, 115900. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115900

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2019). Cuenta Pública 2018. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2020). Cuenta Pública 2019. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2021). Cuenta Pública 2020. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2022). Cuenta Pública 2021. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2023). Cuenta Pública 2022. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2024). Cuenta Pública 2023. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2025). Cuenta Pública 2024. https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (2025). Planeación económica y fiscal sostenible en México frente al cambio climático. *Finanzas sostenibles*.
https://finanzassostenibles.hacienda.gob.mx/es/finanzassostenibles/estrategia

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2025). La Estrategia Nacional de Cambio Climático es el camino hacia una economía sostenible.
https://www.gob.mx/semarnat/prensa/la-estrategia-nacional-de-cambio-climatico-es-el-camino-hacia-una-economia-resiliente-y-sostenible-alicia-barcena?idiom=es-MX

Statista Research Department (2026). Annual carbon dioxide (CO_2) emissions worldwide from 1940 to 2025. Gráfica Global CO2 emissions by year 1940-2025| Statista

Yolcan, O. O. (2023). World energy outlook and state of renewable energy: 10-Year evaluation. *Innovation and Green Development*, 2(4), 100070.

Capítulo 5. Optimización Sostenible De La Cadena De Suministro Frutícola En Michoacán: Un Enfoque En Innovación Logística Y Saberes Locales

Sustainable Optimization of the Fruit Supply Chain in Michoacán: A Focus on Logistical Innovation and Local Knowledge

Raúl Junior Sandoval Gómez
Sección de Estudios de Posgrado, UPIICSA-IPN; rsandova@ipn.mx
ORCID: 0000-0001-9335-2176
Jorge Alberto Mendoza Dominguez
Ingeniería en Control y Automatización, ESIME Zacatenco-IPN; jmendozad@ipn.mx
ORCID: 0000-0003-1454-6920
Isela Janeth López Valle
Sección de Estudios de Posgrado, ESIME Zacatenco -IPN; girljaneth@yahoo.com.mx
ORCID: 0000-0003-4865-2537

Recibido 24 de marzo 2026; Aceptado 24 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411035

Resumen

El presente proyecto propone un modelo de negocio sostenible que optimiza la distribución de frutas, reduce la huella de carbono y valora el conocimiento tradicional de las comunidades locales, a través del diseño de un modelo de negocio que mejore la distribución de frutas de Michoacán para exportación, minimizando el impacto ambiental y reconociendo la sabiduría local, incorporando conocimientos tradicionales en el proceso logístico y fomentando la capacitación en comunidades productoras.

Palabras clave: sostenibilidad, guayaba, distribución, logística, sabiduría

Abstract

This study proposes a sustainable business model aimed at enhancing the efficiency of fruit distribution while reducing environmental impact and integrating the traditional knowledge of local communities. The model focuses on improving the export-oriented distribution processes of fruits produced in Michoacán by incorporating low-carbon logistical strategies and recognizing the value of local experiential knowledge. Furthermore, the project promotes capacity-building initiatives within producing communities, enabling the integration of traditional practices into modern supply-chain systems and strengthening regional competitiveness under a sustainability framework.

Keywords: sustainability; guava; distribution; logistics; traditional knowledge

Introducción

El estado de Michoacán, situado en el occidente de México, se ha consolidado como una de las principales regiones productoras de frutas a nivel nacional e internacional. Entre sus cultivos más emblemáticos destacan el aguacate, el mango, la guayaba, las berries (fresa, zarzamora, arándano y frambuesa), el limón y otros frutos tropicales que encuentran en su tierra fértil, clima privilegiado y diversidad ecológica condiciones idóneas para su desarrollo (Moerman, 2000). Esta vocación agrícola ha impulsado de forma significativa la economía local, al tiempo que ha posicionado a Michoacán como un referente clave en las exportaciones agroalimentarias del país (Kaltmeier, 2019).

Sin embargo, este crecimiento productivo y exportador no ha estado exento de desafíos. A pesar de la abundancia de recursos naturales y del potencial económico del sector frutícola, la cadena de distribución enfrenta serios problemas de eficiencia logística, desperdicio postcosecha, encarecimiento por intermediarios y un modelo de exportación que, en muchos casos, favorece a grandes corporativos por encima de pequeños y medianos productores.

A ello se suma un impacto ambiental creciente derivado de prácticas agrícolas intensivas, uso desmedido de agroquímicos, deforestación para expansión de cultivos, y emisiones asociadas al transporte de larga distancia (FAO, 2025). Estos factores hacen urgente repensar la manera en que se produce, distribuye y comercializa la fruta michoacana hacia los mercados internacionales.

Frente a este panorama, surge la necesidad de replantear la forma en que se concibe el emprendimiento rural. Apostar por modelos de negocio innovadores que optimicen la distribución de frutas para la exportación (Catillo, 2018), con un enfoque ambientalmente responsable y socialmente inclusivo, no solo representa una oportunidad económica, sino también un compromiso ético con el territorio y sus habitantes (Carrasco 2008).

Por tanto, esta propuesta se enfoca en diseñar un emprendimiento integral que responda a tres ejes fundamentales: la optimización de la cadena de distribución de frutas para exportación, la reducción del impacto ambiental asociado al proceso, y la sabiduría comunitaria como base para un modelo agroexportador más justo, resiliente y sustentable. La meta no es únicamente exportar más, sino hacerlo mejor: con menos impacto negativo, con más justicia para quienes producen y con mayor respeto por la tierra que lo hace posible.

Pertinencia de la propuesta

Las comunidades locales conservan conocimientos ancestrales sobre la agricultura que han sido transmitidos de generación en generación. Estos saberes incluyen métodos de cultivo sostenibles que respetan el medio ambiente y las prácticas que favorecen la biodiversidad. El rescate y la integración de estos conocimientos en los procesos productivos modernos podría ofrecer una ventaja significativa en términos de sostenibilidad. Por ejemplo, la implementación de técnicas agrícolas orgánicas, el uso de fertilizantes naturales y el fomento de prácticas como la rotación de cultivos podrían mejorar tanto la calidad de la fruta como reducir el impacto ambiental.

En cuanto a las oportunidades de mejora, es crucial abordar estos desafíos mediante una mejora en la infraestructura logística, la incorporación de tecnologías más sostenibles y la integración de prácticas agrícolas ecológicas que no solo preserven el medio ambiente, sino que también promuevan la participación activa de las comunidades locales. El fortalecimiento de alianzas entre productores, distribuidores y autoridades locales podría facilitar una distribución más eficiente y con menor impacto ambiental, a la vez que se respeta el conocimiento ancestral de las comunidades.

Hipótesis o pregunta de investigación

¿Cómo puede un modelo de emprendimiento sostenible optimizar la distribución de frutas originarias de Michoacán para la exportación, al mismo tiempo que minimiza el impacto ambiental y revaloriza los saberes tradicionales de las comunidades productoras?

Objetivo general

Diseñar un modelo de emprendimiento sostenible que optimice la distribución de frutas originarias de Michoacán con destino a la exportación, reduciendo el impacto ambiental y revalorizando los saberes tradicionales de las comunidades productoras.

Objetivos específicos

1. Analizar el estado actual de la cadena de distribución de frutas de exportación en Michoacán,
2. Diseñar una estrategia de distribución optimizada.
3. Integrar los conocimientos y prácticas tradicionales de las comunidades agrícolas en el proceso logístico.
4. Promover la capacitación y el fortalecimiento de capacidades en las comunidades productoras.
5. Evaluar el impacto ambiental, social y económico del modelo de distribución propuesto.

Metodología

El proyecto se llevó a cabo con un enfoque participativo, interdisciplinario y de investigación mixta (cualitativa y cuantitativa). Se estructurará en cuatro etapas principales:

1. Diagnóstico participativo

Se realizo un diagnóstico de las prácticas actuales de producción y distribución de diversas frutas de Michoacán.

2. Desarrollo de un modelo de distribución sostenible

Se diseño un modelo de distribución que integre prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras, evaluando su viabilidad económica y ambiental.

Métodos y herramientas de recolección de datos

Diagnóstico inicial participativo

Realización de entrevistas semiestructuradas con productores de frutas y actores clave en la cadena de suministro, incluyendo transportistas y exportadores, para identificar las prácticas actuales y los desafíos en la distribución.

Organización de talleres comunitarios donde se discutan problemáticas específicas relacionadas con la distribución, las prácticas actuales y los saberes locales sobre el manejo sostenible de las frutas.

Observación directa de las prácticas de recolección, manejo de residuos y condiciones de transporte, con el fin de obtener un panorama claro de las operaciones actuales.

Evaluación social y de apropiación comunitaria

Realización de grupos focales con productores y consumidores para valorar percepciones sobre el nuevo modelo de distribución y su relación con la conservación ambiental y la sostenibilidad.

Aplicación de cuestionarios de seguimiento antes y después de la implementación del modelo, para medir cambios en las actitudes y prácticas de los participantes.

Creación de bitácoras comunitarias donde los productores puedan documentar sus experiencias, aprendizajes y observaciones sobre la implementación del nuevo sistema, fomentando un sentido de pertenencia y colaboración en la comunidad.

Resultados y discusión

1. Conexión de Productores Locales con Saberes Tradicionales: La plataforma digital permitiría a los productores de frutas locales conectarse y coordinar la distribución, pero con un enfoque especial en la preservación de las técnicas

agrícolas tradicionales.

2. Alianzas con los Ancianos y Sabios Locales: Como parte del proceso, los sabios locales serían consultados y participarán en la capacitación de los jóvenes agricultores para transmitir sus conocimientos sobre las técnicas agrícolas tradicionales y el manejo del suelo.

3. Rutas Logísticas Colaborativas con Vehículos Sostenibles: El sistema colaborativo permitiría a los productores compartir recursos logísticos.

Sin embargo, se tienen las siguientes áreas de oportunidad que representan los retos de la investigación vertidos en la tabla I:

Presentación de resultados

La logística en el sector agroalimentario en específico en la guayaba procedente del municipio de Benito Juárez Michoacán juega un papel fundamental en la misión de abordar los grandes retos del sector.

La búsqueda constante de la eficiencia, la sostenibilidad y la competitividad exigen una cadena agroalimentaria más fuerte en todos los procedimientos. Por lo tanto, es necesario tener una visión integral de la logística desde el primer paso hasta que el consumidor final tienen en sus manos el producto (Bonmati, 2015).

La logística comprende a todas las actividades relacionadas con el flujo de materiales, desde el proveedor hasta el punto consumidor, contempla, además de las actividades materiales, aquellas que, mediante la planeación, organiza, regula y controla de forma eficiente, entendiéndose por eficiente llegar al punto consumidor con la cantidad y calidad requerida en el momento demandado con el menor costo posible.

La población de estudio fueron 20 productores de guayaba (Psidium guajava L.) del municipio de Benito Juárez Michoacán. La selección se realizó por muestreo no probabilístico por conveniencia; en los métodos de muestreo no probabilístico el investigador elige la muestra (Abascal y Grande, 2005).

Para el diseño de la metodología del cuestionario que se aplicara en el municipio de Benito Juárez Michoacán con un conjunto de productores de guayaba, fue necesario investigar sobre diversas metodologías para diseño de cuestionario, se encontró que la metodología realizada por (INEGI, 2013) cumple con los requisitos para el diseño del cuestionario.

En 2013, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizó una metodología para el diseño de un cuestionario, desde su elaboración, prueba y evaluación de los instrumentos de captación estadística para cualquier tipo de proyecto de investigación con fundamento en el artículo 30 de la Norma Técnica para la Generación de Estadística Básica.

En base a la metodología para el diseño de un cuestionario desarrollada por INEGI (2013) se han realizado diferentes encuestas en México, se mencionaran algunas: número de establecimientos por entidad federativa (INEGI, 2014), establecimientos y personal ocupado INEGI (2014), personal ocupado por sexo según actividad económica (INEGI, 2014), encuestas en hogares para medir la violencia y la delincuencia, encuesta intercensal (INEGI, 2015), encuestas que validan la metodología para el diseño de un cuestionario (INEGI, 2015).

La metodología que propone (INEGI, 2013), es producto de la investigación realizado por especialistas del propio instituto, cuyo propósito es presentar los lineamientos para el diseño de un cuestionario y así obtener los datos de interés y satisfacer las necesidades de información.

Análisis del marco contextual (Paso 1)

En este apartado, se eligieron los indicadores que se desean analizar con la ayuda del cuestionario, y de acuerdo con Estévez y Pérez (2007), un indicador es una proposición que identifica alguna característica observable que permite la medición estadística de un concepto o de una dimensión basado en un análisis teórico que puede orientarse a describir, comparar, explicar o prever hechos.

De igual manera Mora (2010), indica que los indicadores son instrumentos que permiten evaluar el desempeño y el resultado en cada proceso con el fin de monitorear la consecución de los objetivos de la cadena de abastecimiento.

Los indicadores seleccionados para el diseño del cuestionario son cinco que van de acuerdo con la secretaria de Economía (2014), estos son:

1) Procesos. Los procesos en la cadena de suministro son fundamentales para garantizar un buen servicio al cliente y que la empresa tenga una ventaja competitiva

2) Tecnología. Las operaciones y transacciones tienen mucha información por lo que es necesario se adopten herramientas logísticas.

3) Colaboración en cadena. Permite optimizar los procesos de la calidad desde la planeación hasta la capacidad de respuesta entre cambios inesperados, aumenta la flexibilidad en los procesos.

4) Cliente. Es importante generar atención con los clientes y obtener una ventaja competitiva.

5) Optimización de inversiones. Es importante administrar óptimamente el capital y enfocar los recursos económicos en acciones rentables y sustentables para hacer crecer el negocio.

a) Características económicas de los productores.

La producción de guayaba es la principal fuente de ingreso en el municipio de Benito Juárez Michoacán, los productores de esa entidad tienen una solvencia económica estable debido a las ventas del producto.

La producción de guayaba en el año 2014 en el municipio de Benito Juárez Michoacán tiene un rendimiento de 16.6 toneladas por hectárea y el costo de cada tonelada es de $3,987.53 pesos, lo que da como resultado $66,192.99 pesos por hectárea. SAGARPA (2014). Los productores en promedio cuentan con 4.5 hectáreas lo que como resultado $297,868.491 pesos, motivo por el cual los productores continúan cultivando la guayaba.

b) Características Demográficas

Michoacán es el principal productor de guayaba en México SAGARPA (2014), alcanzo una superficie establecida de 9, 449 hectáreas, con una producción de 137,121 toneladas por hectárea y un peso promedio de $4,001 pesos por tonelada.

De acuerdo con los datos de INEGI (2012), la población total de Benito Juárez Michoacán es de 13,608 que representa el 0.3% de la población total de Michoacán, de los cuales 6,592 son hombres y 7,012 son mujeres. Población analfabeta de 16 años o más en Michoacán, es de 10.2% ocupando el séptimo lugar de entidad federativa en México, el 20.9% en Michoacán se dedica al sector agropecuario, en venta de fruta tropical tiene participación en el lugar nacional 15 de 19. La vegetación agrícola representa el 27.99% de la superficie estatal.

c) Características físicas de la población (edad)

• La población total de Benito Juárez es de 3195 personas, de las cuales 1532 son masculinos y 1663 femeninas.

• Los ciudadanos se dividen en 1310 menores de edad y 1885 adultos, de cuales 359 tienen más de 60 años.

d) Características de bienestar social (viviendas)

Un total de 794 hogares, De estas 746 viviendas, 53 tienen piso de tierra y unos 36 consisten en una sola habitación. 720 de todas las viviendas tienen instalaciones sanitarias, 673 son conectadas al servicio público, 728 tienen acceso a luz eléctrica. La estructura económica permite a 87 viviendas tener una lavadora y tener una computadora, a 481 tener una lavadora y 697 tiene una televisión.

c) Educación

Existen 315 analfabetos de 15 y más años, 69 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela. De la población a partir de los 15 años 346 no tienen ninguna escolaridad, 824 tienen una escolaridad incompleta, 403 tienen una escolaridad básica y 503 cuentan

con una educación post- básica. Un total de 184 de la generación entre 15 y 24 años han asistido a la escuela. (INAFED, 2015).

Interpretación y análisis crítico

Para la presentación del artículo, el plan de implementación de este negocio se enfocó en establecer una base sólida para el funcionamiento del modelo de negocio, respetando tanto los aspectos logísticos como culturales y ambientales implementando la fase 1.

Fase 1: preparación y planificación (0-6 meses)

1. Investigación y Análisis del Mercado:

Realizar un análisis de mercado para identificar los principales productores de frutas en Michoacán, con énfasis en aquellos que ya aplican técnicas agrícolas tradicionales.

Estudiar las necesidades logísticas de los productores y la demanda de frutas sostenibles tanto en mercados locales como internacionales.

2. Formación de Alianzas y Redes Locales:

Establecer relaciones con comunidades y ancianos sabios para preservar las prácticas agrícolas tradicionales y asegurar que los conocimientos sean transmitidos de manera adecuada.

Crear alianzas con proveedores de vehículos eléctricos o híbridos, empresas de logística sostenible y posibles inversores.

Contactar con organizaciones ambientales y culturales que puedan apoyar la conservación de los conocimientos ancestrales y el uso de prácticas agrícolas sostenibles.

3. Desarrollo de la Plataforma Digital:

Iniciar el desarrollo de una plataforma digital que permita la conexión de productores y la optimización de rutas logísticas. Esta plataforma deberá incluir un sistema de gestión de inventarios, optimización de rutas, y educación sobre prácticas agrícolas sostenibles.

Integrar un sistema de seguimiento para el transporte de frutas con sensores de temperatura y humedad para asegurar su frescura y calidad.

4. Definición de Capacitación y Talleres:

Diseñar un programa de capacitación para productores que combine tecnologías agrícolas modernas con los conocimientos tradicionales. Los sabios locales serán parte activa de la formación, transmitiendo técnicas ancestrales de cultivo, uso de semillas criollas y manejo del suelo.

Establecer talleres prácticos para jóvenes agricultores con el fin de transmitir las técnicas sostenibles en el campo.

Agradecimientos

1. A la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por su apoyo económico en la realización de este proyecto.
2. A los productores de guayaba de Michoacán por permitirnos realizar la presente investigación en su comunidad
3. A los diversos apoyos brindado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti)

Conclusiones

El proyecto propuesto para optimizar la distribución de frutas de Michoacán, mientras se reduce el impacto ambiental y se preservan los conocimientos ancestrales de las comunidades, tiene un gran potencial para transformar tanto la economía local como el sector agrícola de la región. Al integrar un modelo de logística colaborativa, el uso de vehículos sostenibles y la preservación de las prácticas agrícolas tradicionales, se crea una solución innovadora que no solo beneficia a los productores, sino que también tiene un impacto positivo en el medio ambiente y en la comunidad.

Este enfoque sostenible no solo resalta el valor de la sabiduría ancestral, sino que también promueve una agricultura responsable que puede ser un ejemplo a seguir para otras regiones del país. La creación de un mercado justo, la optimización de rutas logísticas y el uso de tecnología para conectar a los productores con los consumidores son pasos fundamentales para lograr una cadena de valor más eficiente y justa.

Además, al poner en valor los saberes locales y su vínculo con el territorio, el proyecto permite que las futuras generaciones continúen cuidando y promoviendo sus tradiciones agrícolas, mientras se integran con las demandas de un mercado global que cada vez más valora la sostenibilidad. La implementación de este modelo no solo beneficiaría a las comunidades de Michoacán, sino que podría convertirse en un modelo replicable en otras regiones agrícolas del país, demostrando que la tradición y la innovación pueden coexistir para un futuro más sostenible y próspero.

En resumen, el negocio propuesto tiene el potencial de ser un catalizador para el desarrollo económico y social de las comunidades rurales, el rescate de su patrimonio cultural y la transformación positiva del sector agrícola, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores y al planeta.

Referencias

Agenda 2030. (2020). Agenda 2030. Organización de las Naciones Unidas.

Bayuelo, J. J. (2005). Los recursos genéticos frutícolas de Michoacán (pp. 137–140). En L. E. Villaseñor G. (Ed.), La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado.

CONABIO–SUMA–UMSNH.

Borys, W. M., & Leszczyñska, H. (1991). El potencial genético frutícola de la República Mexicana. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C.–CONACYT.

Cabañas, F. (2011). La burguesía emprendedora. La Vanguardia.

Carrasco, I. (2008). El emprendedor schumpeteriano y el contexto social. ICE.

Castillo, J. (2018). Emprendimiento. Scribd.

Coduras, A. (2008). The relationship between university support to entrepreneurship with entrepreneurial activity in Spain. La Vanguardia.

Connelly, B. (2012). The power and effects of entrepreneurship research. En Entrepreneurship: Theory and Practice (pp. 131–149). Reutzel.

CONABIO. (2007). Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. http://www.conabio.org.mx

Cortez P., C. (1996). El transporte en el abasto de las grandes ciudades: El caso de México. En L. Chías & M. Pavón (Comps.), Transporte y abasto alimentario en las ciudades latinoamericanas. Instituto de Geografía, UNAM.

FAO. (1996). Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos en el Mundo. Leipzig, Alemania.

FAO. (2025). https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s11.htm

Gil, A. (2006). Conservación in situ (pp. 19–58). En Recursos fitogenéticos de México para la alimentación y la agricultura. Informe Nacional 2006. SAGARPA y SOMEFI, A. C.

INEGI. (2007). Anuario estadístico del estado de Michoacán. Boletín estadístico de información.

Joyce, A. (2016). The triple layered business model. Trillas.

Kaltmeier, O. (2019). Refeudalización, desigualdad social, economía y cultura política en América Latina en el temprano siglo XXI. CALAS.

Méndez, O. J. (2020). Un marco exploratorio para el emprendimiento desde una perspectiva evolutiva. Universidad Anáhuac.

Moerman, D. (2000). Fruits from America: An ethnobotanical inventory. http://www.cgiar.org/ipgri/fruitsfromamericas/frutales/fruitsfromamerica.html

Patiño, V. M. (1963). Plantas cultivadas y animales domésticos en América Equinoccial (Tomo 1, pp. 346–353). Cali.

SAGARPA. (2007). Centro de estadística agropecuaria. Año agrícola 2007. Morelia, Michoacán.

Singh, R. B. (1993). Research and development of fruits in the Asia-Pacific Region. FAO/RAPA.

Torres, L. P. A. (s.f.). Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo–Universidad Autónoma Metropolitana y Fundación Salvador Sánchez Colín (pp. 85–99).

Capítulo 6. Sargazo en el Caribe Mexicano: Funciones Ecológicas, Impacto Socioeconómico y Vías de Valorización Sostenible

Sargassum in the Mexican Caribbean: Ecological Functions, Socioeconomic Impact, and Pathways for Sustainable Valorization

Loreto Mendoza Núñez
Instituto Politécnico Nacional – UPIICSA; lmendozan@ipn.mx
ORCID: 0009-0009-0970-6599
Yolanda Guadarrama Alba
Instituto Politécnico Nacional – UPIICSA; yguadarrama@ipn.mx
ORCID: 0000-0003-3358-8448
Guillermo Reyna Cabrera
Instituto Politécnico Nacional – UPIICSA; greyna1800@alumno.ipn.mx
ORCID: 0009-0007-5018-8418

Recibido 20 de marzo 2026; Aceptado 26 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411036

Resumen

El sargazo es un conjunto de algas marinas flotantes del género *Sargassum natans* y *Sargassum fluitans* que habitan las capas superficiales del océano. Su origen se localiza en la región occidental de África, desde donde se desplaza a través del Atlántico Norte formando el denominado Gran Cinturón de Sargazo. A partir de 2011 se ha registrado un incremento significativo y sostenido en su proliferación, fenómeno que se asocia al cambio climático y a alteraciones ambientales de origen antropogénico. En condiciones naturales, el sargazo cumple funciones ecológicas relevantes, ya que proporciona áreas de refugio, reproducción, alimentación y transporte para diversas especies marinas, además de formar parte de las redes alimenticias oceánicas. No obstante, su arribo masivo a las costas del Caribe mexicano ha generado impactos ambientales y socioeconómicos considerables, particularmente en la actividad turística y en las economías locales. Durante su descomposición, el sargazo libera compuestos como ácido sulfhídrico, provocando malos olores, reducción del oxígeno y la mortalidad de pastos marinos y corales. El sargazo puede clasificarse en húmedo y seco, lo que determina sus posibles usos y aprovechamientos. Entre las principales vías de reciclaje y valorización se encuentran la producción de biogás, fertilizantes, materiales de construcción, productos farmacéuticos y cosméticos. Desde 2015, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha establecido lineamientos para su manejo, promoviendo

su aprovechamiento como una oportunidad para la economía circular y el desarrollo sostenible.

Palabras Clave: Sargazo, Economía Turística, Aprovechamiento, Cambio Climático, Desarrollo Sostenible.

Abstract

Sargassum is a group of floating marine macroalgae belonging mainly to the species *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans*, which inhabit the surface layers of the ocean. Its origin is located in the western region of Africa, from where it travels across the North Atlantic forming what is known as the Great Sargassum Belt. Since 2011, a significant and sustained increase in sargassum proliferation has been documented, a phenomenon associated with climate change and anthropogenic environmental alterations. Under natural conditions, sargassum fulfills important ecological functions by providing refuge, breeding, feeding, and transport areas for various marine species, and by supporting oceanic food webs. However, the massive arrival of sargassum on the coasts of the Mexican Caribbean has generated considerable environmental and socioeconomic impacts, particularly affecting tourism and local economies. During decomposition, sargassum releases compounds such as hydrogen sulfide, causing unpleasant odors, oxygen depletion, and the mortality of seagrasses and coral reefs. Sargassum can be classified as wet or dry, a distinction that determines its potential uses and recycling pathways. Among the main valorization alternatives are biogas production, fertilizers, construction materials, and pharmaceutical and cosmetic products. Since 2015, Mexico's Ministry of Environment and Natural Resources has established guidelines for sargassum management, promoting its valorization as an opportunity to strengthen the circular economy and foster sustainable development.

Keywords: Sargassum, Tourism Economy, Use, Climate Change, Sustainable Development.

Introducción

El sargazo, compuesto principalmente por las algas *sargassum natans y sargassum fluitans*, ha sido históricamente un componente esencial de los ecosistemas oceánicos, funcionando como hábitat y refugio para diversas especies marinas en el Atlántico. Sin embargo, a partir de 2011, su proliferación se ha intensificado de manera alarmante, dando origen al "gran cinturón de sargazo", una masa flotante de hasta 8,850 kilómetros que transporta nutrientes desde África hasta el Caribe. Este fenómeno, asociado al cambio climático y actividades antropogénicas, ha convertido este proceso natural en una crisis socioeconómica para las costas del Caribe mexicano.

La literatura reciente ha avanzado en la identificación de los principales factores de este fenómeno, así como en el monitoreo satelital y la caracterización química del alga. Asimismo, han surgido iniciativas prometedoras para su valorización en sectores como la agricultura, la cosmética, la farmacéutica, la construcción y la energía. No obstante, persisten debates importantes sobre la viabilidad económica y escalabilidad de estas tecnologías, así como vacíos en la estandarización de productos, la evaluación de impactos económicos integrales y los efectos a largo plazo de ciertos usos, como en la alimentación animal.

Ante este panorama, el presente estudio resulta apropiado para abordar la necesidad de sistematizar el conocimiento disponible y evaluar de manera integral tanto los impactos negativos del sargazo como las oportunidades para su aprovechamiento sostenible. Comprender las ventajas, limitaciones y contextos regulatorios de cada vía de valorización es fundamental para transitar de un modelo de limpieza costosa hacia uno proactivo de economía circular.

Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo es analizar el fenómeno del arribo masivo de sargazo en el caribe mexicano, evaluando sus impactos socioeconómicos y ambientales, y sistematizando las principales vías de valorización sostenible, con el fin de contribuir al desarrollo de estrategias integrales de manejo bajo un enfoque de economía circular.

Origen del término

El sargazo es un conjunto de algas marinas del género Sargassum. Su nombre proviene del portugués sargaço, que a su vez deriva del latín salix, -ĭcis, que significa 'sauce'. Estas algas flotan en grandes masas en el mar abierto, formando lo que se conoce como el "Mar de los Sargazos", una región del Atlántico Norte sin costas definidas (BBVA, 2025).



Figura 1. Sargazo en la playa.

Definición biológica

Las especies Sargassum natans y Sargassum fluitans habitan las capas superficiales del mar. Estas inmensas masas flotantes de algas cumplen funciones ecológicas importantes, pues

ofrecen áreas de descanso, reproducción, alimentación y transporte para otras especies, y son base de las redes alimenticias en el mar (National Geographic, 2025).

Antecedentes

A partir de 2011, se ha documentado un incremento anómalo y progresivo en los eventos de recales de sargazo hacia el Caribe y el Golfo de México, fenómeno que se ha intensificado en la última década y que representa un cambio en el patrón histórico de distribución de estas algas (Rodríguez-Martínez et al., 2020; Stokes et al., 2021). Estudios satelitales muestran que en eventos como los de 2018 el sargazo flotante abarcó áreas de hasta 607,579 m² en la costa del Caribe mexicano, con especies pelágicas representando entre 78.1 % y 99.6 % de la biomasa total varada (Aquatic Botany, 2020).

La variabilidad de la biomasa recalada presenta patrones estacionales e interanuales, influenciada por condiciones oceanográficas y atmosféricas como la presencia de la Corriente de Yucatán y los vientos alisios (Aquatic Botany, 2020). Además, las macroalgas muestran una notable capacidad de acumular elementos químicos, incluyendo metales como hierro y arsénico, lo cual tiene implicaciones para su manejo y posibles vías de valorización. (Rodríguez-Martines et al., 2020).
Los factores que se han propuesto para explicar este aumento incluyen el incremento de nutrientes procedentes de escorrentías continentales y del polvo del Sahara, cambios en las corrientes atlánticas, y el calentamiento de la superficie del mar asociado al cambio climático, los cuales alimentan el brote y dispersión de estas macroalgas en áreas antes poco afectadas (Méndez-Tejeda & Hernández-Ayala, 2025).

Magnitud del fenómeno

Al ser un organismo flotante, el sargazo se mueve a través del océano arrastrado por el viento y las corrientes marinas y ocasionalmente arriba de forma natural a las costas. Sin embargo, desde 2011 se ha observado un crecimiento masivo y sostenido de las poblaciones de estas especies en el Atlántico, hasta alcanzar una longitud de 8,850 kilómetros en 2018 (aproximadamente la distancia que existe entre la CDMX y la Patagonia), formando al que se ha llamado el "Gran Cinturón de Sargazo" con una biomasa aproximada de 20 millones de toneladas; cifra equivalente a 10 veces el total de la pesca y la maricultura anual nacional. Es probable que el origen de este fenómeno sin precedentes esté vinculado con el cambio climático y otras alteraciones ambientales antropogénicas a escala global (CONACYT, s.f.).

El Gran Cinturón de Sargazo se origina en la costa de África occidental y es desplazado por corrientes marinas hacia América. Estas macroalgas encuentran condiciones favorables para su crecimiento por la precipitación de polvo proveniente del desierto del Sahara y la gran cantidad de nutrientes que encuentran a su paso hacia el Caribe. En su camino, esta enorme masa cruza por la desembocadura del Amazonas y las inmensas masas flotantes de sargazo son arrastradas hacia el norte a través del Mar Caribe (CONACYT, s.f.).



Figura 2. Cinturón del Sargazo en el Atlántico

El sargazo sirve de alimentacion, refugio y áreas de reproduccion para muchos animales marinos como tortugas, cangrejos, camarones, pescados, aves marina. Las especies de sargazo se distribuyen extensamente por oceanos tropicales y templados, en agua poco profundas y arrecifes de coral, así como en mar abierto. Si bien algunas especies de sargazo yacen en el fondo marino, y otras pasan toda su vida flotando libremente por el mar. Los tipos que se observan más comúnmente cerca del Atlántico, el Caribe y el Golfo de México pertenecen a la variedad de flotación libre, y forman acumulaciones o esteras flotantes de una combinación de especies, que se hunden en el fondo marino una vez que mueren (EPA, 2025; CONACYT, s.f.).

Año	Toneladas recolectadas	Fuente
2018	~ 522 000 toneladas (arribo estimado, récord)	La Jornada. (La Jornada)
2022	~ 52 647 toneladas	Ruptura 360. (Ruptura360)
2023	~ 22 000 toneladas	La Jornada Maya. (La Jornada Maya)
2024	~ 37 000 toneladas	La Jornada Maya. (La Jornada Maya)
2025	~ 45 000-50 000 toneladas (hasta mitad de año)	Milenio / Observador / Ruptura 360. (Grupo Milenio)

Desarrollo

Problemática que ocasiona la presencia del sargazo en las playas del caribe mexicano

La acumulación masiva de sargazo en las playas del Caribe mexicano ha generado preocupación en la industria turística. La presencia del alga afecta la estética de las playas y puede disuadir a los turistas, impactando negativamente en la economía local (El País, 2025).

Como parte de las actividades de la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología que organizó el Planetario de Cozumel Cha'an Ka'an, las doctoras Brigitta I. van Tissenbrock y Marta García Sánchez del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México dictaron una ponencia sobre el sargazo y su impacto en las costas. Durante su participación, destacaron las características físicas del alga, así como sus efectos en el ecosistema (CENAPRED, 2025).



Figura 3. Recolección de Sargazo.

Su impacto lo puntualizaron de la siguiente forma:

- Acumulación masiva del alga en la playa.

- Liberación de ácido sulfhídrico y, por lo tanto, mal olor en los espacios donde se acumula.
- Interferencia con anidación y eclosión de tortugas. Es difícil para las tortugas que acaban de nacer encontrar el camino hacia el mar.
- Mortalidad de los pastos y corales marinos cercanos a las costas.
- Afectación en el turismo.

Al respecto y con la finalidad de reducir los efectos del sargazo en las costas, las doctoras hicieron las siguientes recomendaciones:

- Removerlo de la playa y evitar que llegue a un acuífero.
- Manejo adecuado del sargazo cuando se remueve de las playas. No enterrarlo o tirarlo en la selva.
- Supervisar cada etapa del proceso de mitigación.
- Establecer sitios de acondicionamiento para la recolección de sargazo con la finalidad de encontrarle múltiples usos.[i]

(CENAPRED, 2025).

Debido a los datos recabados podemos clasificar al sargazo debido a su propia naturaleza como seco y húmedo.

Seco:

La Secretaría de Marina, a través de la Coordinadora de la Estrategia para la Atención al Sargazo (CEASS), ha intensificado sus esfuerzos para combatir la llegada masiva de sargazo al Caribe Mexicano durante el presente año. Gracias al trabajo coordinado con los gobiernos estatal y municipal, así como con la sociedad civil e iniciativa privada, se han logrado avances significativos en el control y recolección de esta macroalga (SEMAR, 2025).

Como resultados relevantes durante 2025, la Operación Sargazo ha mostrado resultados acumulados positivos en la contención, recolección y disposición final del sargazo, reduciendo significativamente su impacto en zonas costeras clave como Isla Mujeres, Benito Juárez, Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Tulum y Othón P. Blanco (Mahahual), municipios que se han mantenido en niveles de arribazón escasos, muy bajos y moderados únicamente (SEMAR, 2025).

Húmedo:

Para la recolección de sargazo: la operación ha desplegado un total de 13 unidades marítimas, entre las que se encuentran buques sargaceros, embarcaciones menores y barreras de contención que han permitido recolectar el sargazo en mar abierto y en aguas someras antes de que alcance las playas. Actualmente se encuentran desplegadas 9 de ellas. Además, en

coordinación con autoridades municipales, se han efectuado labores constantes de limpieza en frentes de playa y costeros, asegurando entornos más limpios para la población local y el turismo (SEMAR, 2025).

Relativo al despliegue de barreras sargaceras, se encuentran instaladas 7,545 metros, distribuidas de manera estratégica con 2,310 metros en Puerto Morelos, 2,580 metros en Playa del Carmen, 390 metros en Tulum y 2,265 metros en Mahahual (SEMAR, 2025).

Asimismo, con los boletines de seguimiento del sargazo se puede tener un aproximado de la cantidad que está próxima a recalar en las costas del Caribe mexicano, siendo esta un total estimado de 77 toneladas en cuatro ubicaciones diferentes. En lo que va del año 2025, la cantidad total acumulada de sargazo entre los siete puertos del estado de Quintana Roo ha sido de un aproximado de 4,236.26 toneladas, acumulando 266,043 toneladas desde el año 2019 (SEMAR, 2025).

Ventajas y desventajas del sargazo

Ventajas:

- Hábitat y alimento: El sargazo proporciona refugio y alimento a diversas especies marinas, como tortugas, camarones y peces (EPA, 2025).
- Uso industrial: Se investiga su aprovechamiento en la producción de biocombustibles, fertilizantes y materiales de construcción (Carbonwave, 2024).

Desventajas:

- Impacto ambiental: Cuando llega a las costas, el sargazo se descompone y libera gases como el ácido sulfhídrico, generando malos olores y afectando la calidad del aire (SECIHTI, s.f.; Universidad Veracruzana, 2025).
- Efectos en ecosistemas marinos: Su acumulación bloquea la luz solar, afectando la fotosíntesis de corales y pastos marinos (Universidad Veracruzana, 2025).

Marco regulatorio

En 2015, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través de la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), emitió dos documentos relacionados con el manejo del sargazo:

Lineamientos Generales para la remoción del sargazo de las playas del Caribe Mexicano

Lineamientos Técnicos para el bloqueo y retiro del sargazo en la zona marina.

En 2018, las autoridades ambientales federales (SEMARNAT/CONANP), diseñaron una estrategia jurídica para que las empresas que quisieran retener o remover el sargazo de las playas o el mar requirieran tener autorizaciones de la SEMARNAT en materia de impacto

ambiental al encontrarse dentro de un área natural protegida de jurisdicción federal (SEMAQROO, 2023).

En 2019, se publica la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular del Estado de Quintana Roo la cual contiene la reglamentación, verificación, regulación de residuos de manejo especial como los biorresiduos (Congreso de Quintana Roo, 2015).

En 2019, SEMARNAT emitió una nueva versión de "Lineamientos técnicos y de gestión para la atención de la contingencia ocasionada por sargazo en el Caribe mexicano y el Golfo de México". En este documento se establecen los lineamientos técnicos y de manejo para las acciones específicas de recolección en alta mar, contención, retiro de las barreras, remoción en playas y disposición final (SEMAQROO, 2023).

En 2019, el Gobierno del Estado de Quintana Roo publicó en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo la "Declaratoria de emergencia ante el inminente desastre derivado del arribo y descomposición de sargazo en los litorales del Estado de Quintana Roo con afectación en las costas de los municipios de Lázaro Cárdenas, Isla Mujeres, Benito Juárez, Puerto Morelos, Cozumel, Solidaridad, Tulum, Felipe Carrillo Puerto, Bacalar y Othón P. Blanco". En este documento se destaca que los procesos de acopio, traslado y disposición deberán apegarse al principio de revalorización del sargazo, su aprovechamiento y transformación, bajo la óptica de que constituye un desecho orgánico de manejo especial y que derivado de su valorización los recursos obtenidos del mismo puedan ser reinvertidos procurando su destino en investigación que permita entender el fenómeno de su recale y, en su caso, su aprovechamiento (SEMAQROO, 2023).

En 2021, la SEMARNAT actualizó los Lineamientos Técnicos y de Gestión para la Atención de la Contingencia ocasionada por Sargazo en el Caribe mexicano y el Golfo de México (SEMAQROO, 2023).

En 2022, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial 2022-2024. El documento señala que se requiere contar con estrategias para la atención de problemáticas de residuos de manejo especial asociados a fenómenos naturales. El arribo masivo de sargazo cae en esta categoría (SEMAQROO, 2023).

Tabla 2.

Juridicción	Ley/Reglamento/Norma/Programa	Artículo Aplicable
Federal	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Articulos 4 Articulo 27 Articulo 73 Fracción XXIX-G Articulo 115 faccion III, inciso c Articulo 124
	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	Articulo 3 Fracciones XXXII, XXX-II Articulo 5 Fraccion XXX Articulo 28
	Reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación de impacto ambiental	Articulos 5,7,8
	Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable	Articulo 64
	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	Titulo 2 articulo 7 fraccion VI Articulo 9 Fraccion III Artículo 10
	Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de Manejo Especial 2022-2024	Apartado referente al sargazo
	Ley General de Salud	Artiuclos 17 bis, 194,197,198,368,369
	Reglamento de la Comisión Federal para Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)	
	Ley General de Bienes Nacionales y su Reglamento	Apartado de las concesiones de zona federal maritimo terrestre
Estatal	Ley para la Prevención y Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo	Articulo 8, fracciones XXXIX, XLI
	Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo	Articulo 8 fraccion V,VII, sección IX Articulo 75 Articulo 76

Industrias que utilizan el sargazo en México y Europa

En México y diversas partes del mundo hay diversos medios en los que el sargazo puede dejar de convertirse en un problema ambiental y ser visto como una oportunidad para diversos usos de amplias gamas yendo desde la Energía hasta la Farmacéutica.

Industrial agrícola

Dianco es una empresa mexicana integrada por empresarios, ingenieros, ambientalistas, biotecnólogos, agrónomos y científicos expertos en Ficología, dedicada a la recolección y transformación del sargazo en biofertilizantes y bioestimulantes orgánicos siendo así la única empresa productora de Fertilizantes Orgánicos a Nivel Industrial en Latinoamérica, a través de un proceso patentado, automatizado, 100 % sustentable, con "0 residuos" aprovechando el 100% del sargazo .Durante ese proceso extraen el 100 % de nutrientes del sargazo, eliminándole sales, metales pesados y recuperando la arena para ser regresada a las playas.



Figura 4. DIANCO

Ofrecen biofertilizantes que permitan a los productores agrícolas mayor certeza, mejor producción y sustitución de agroquímicos, lo cual refleja un componente social y de sostenibilidad en su misión. Transformando el sargazo en productos útiles que beneficien al medio ambiente, a la economía agrícola y al turismo costero (evitando daños a la ecología, a la imagen de playas ante el turismo)

Su misión lo expresa: "Generar productos sustentables, de alta calidad y a costos inferiores, que contribuyan por igual al éxito de nuestros clientes como al rescate de nuestro medio ambiente" (Carbonwave, 2024).

C-combinator: Es una empresa puertorriqueña que se dedica a crear extractos agrícolas efectivos a partir de un proceso de extracción en frío que conserva la bioactividad del sargazo y desarrollar un material de bio-cuero con estándares de durabilidad comercial. Todo

mientras se implementan controles para reducir la contaminación microbiológica durante el procesamiento de la materia prima (Carbonwave, 2024).

Carbonwave ha descubierto que el sargazo contiene una serie de componentes beneficiosos que se pueden extraer y utilizar para crear otros productos que varias industrias necesitan desesperadamente, pero debe hacerse de una manera que sea sostenible y mantenga intactos los elementos buenos del sargazo durante todo el proceso de extracción (Carbonwave, 2024).

Si se hace correctamente, existen varios usos reciclados para el sargazo que respaldan varias industrias diferentes, que incluyen:

Fertilizante de algas

El primer producto de Carbonwave en el mercado fue SargaAg, un extracto agrícola derivado del sargazo reciclado. SargaAg es una forma concentrada de nutrientes que permiten que el sargazo prospere en un océano abierto con escasez de nutrientes para cultivos terrestres. Los extractos a base de algas marinas se están volviendo cada vez más populares en la agricultura porque se ha demostrado que mejoran los rendimientos entre un 10% y un 15%. Carbonwave es uno de los primeros en descubrir cómo aprovechar el sargazo y, más bien, extraemos los nutrientes mediante un proceso en frío y libre de químicos. Muchos otros extractos de algas para agricultura anuncian su "contenido orgánico", pero esencialmente simplemente muelen la celulosa de bajo valor de los tallos y hojas de las algas, pero SargaAg extrae solo los nutrientes más críticos, dejando atrás la celulosa. Esta solución orgánica no solo favorece sus cultivos, sino que también puede reducir la cantidad de fertilizante necesaria. Al incorporar SargaAg en las prácticas agrícolas, Carbonwave está contribuyendo a la agricultura sostenible y fomentando un planeta más saludable desde cero (Carbonwave, 2024).

Ventajas:

1. El sargazo puede ser convertido en fertilizante de algas como SargaAg, que concentra nutrientes críticos y mejora los rendimientos agrícolas entre un 10% y un 15% (Carbonwave, 2024).
2. Su producción es orgánica, en frío y libre de químicos, reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos y favoreciendo la agricultura sostenible (Carbonwave, 2024).
3. Contribuye a la reducción del impacto ambiental y promueve la salud del suelo a largo plazo (Carbonwave, 2024).

Desventajas:

1. Requiere un manejo cuidadoso y procesos de extracción que mantengan la calidad de los nutrientes, lo que implica inversión en tecnología y control de procesos (Carbonwave, 2024).

Cosmético

Sargazo: el ingrediente con el que se crean productos cosméticos (y se ayuda al medio ambiente)

Sargazo: el ingrediente con el que se crean productos cosméticos (y se ayuda al medio ambiente). La solución para crear productos sustentables (entre las que ahora se encuentra el sargazo) en el mercado, comienza a crecer cada vez más gracias a jóvenes creativos, así como compañías dispuestas a apoyar sus proyectos, como ha ocurrido con unos chicos de origen mexicano, pertenecientes al Tecnológico de Monterrey campus Guadalajara, que han encontrado una forma de reutilizar el sargazo para crear cremas y otros productos corporales que se convierten en una opción viable para ayudar al medio ambiente; buscan aprovechar las toneladas de sargazo que se encuentran en los alrededores de las playas mexicanas, con la intención de extraer sustancias de alto valor industrial para utilizarlas en los sectores médico y cosmético de la mano de una empresa referida como Nexo (Vogue, 2020).

Los beneficios de crear productos cosméticos con sargazo: De acuerdo a un reporte dado por el Tecnológico de Monterrey, otra de las ventajas en la extracción del alginato es que a la par se obtienen fucoidanos, azúcares que se encuentran presentes en las paredes del alga, y que son antioxidantes naturales y fotoprotectores, los cuales en otros procesos se tendrían que adherir de manera sintética, algo que, a largo plazo, podría causar daños en la piel (Vogue, 2020).

La tendencia a desarrollar productos con materiales o productos provenientes del mar, es conocida como blue beauty, países como Inglaterra y España han recurrido a esta opción para crear productos de belleza sustentables como lo son la crema Hydra de la firma Gata y Nino -de origen español, con sede en Murcia- o el bronceador de la marca St. Tropez. Era cuestión de tiempo que un grupo de mexicanos encontrara una solución para el sargazo en los mares de la región, creando una nueva opción en el universo de la sustentabilidad (Vogue, 2020).

Ventajas:

- Permite la creación de productos sustentables como cremas y artículos corporales, reduciendo el impacto ambiental al reutilizar el sargazo recolectado (Vogue, 2020).
- La extracción de fucoidanos proporciona antioxidantes naturales y fotoprotectores, evitando el uso de aditivos sintéticos que podrían causar daños a la piel a largo plazo (Vogue, 2020).
- Se alinea con la tendencia internacional de "blue beauty", que fomenta el uso de ingredientes marinos para el desarrollo de productos sostenibles (Vogue, 2020).

Desventajas:

- El reto principal radica en escalar la producción de forma económicamente viable y garantizar la constancia en el suministro de materia prima (Vogue, 2020).

Farmacéutico

El sargazo y su posible uso como alternativa a los antibióticos. Actualmente algunas especies de sargazo se usan como alimento y, en el caso de las especies invasoras, se busca utilizarlas

para la elaboración de papel, bloques de construcción, bioplásticos, fertilizantes, biocombustibles y extracción de compuestos para fabricar productos de belleza. Esto gracias a que contiene una gran cantidad de compuestos de importancia comercial. Otros elementos de interés son los carbohidratos, destacando el alginato y el fucoidan, además de los polifenoles con capacidad antioxidante (CIAD, 2023).

El alginato tiene múltiples aplicaciones como agente espesante y formador de películas y de geles. Se usa en las industrias alimentaria, farmacéutica, médica y en la impresión. Por otro lado, el fucoidan está causando gran interés en la comunidad científica por sus propiedades biológicas como anticoagulante, antitumoral, antimicrobiano y antioxidante (CIAD, 2023).

Ventajas:

El alginato presente en el sargazo tiene múltiples aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica, médica y en impresión, funcionando como agente espesante y formador de películas y geles (CIAD, 2023).

El fucoidan posee propiedades biológicas de gran interés: anticoagulantes, antitumorales, antimicrobianas y antioxidantes, lo que lo convierte en un recurso valioso para la investigación y el desarrollo de nuevos fármacos (CIAD, 2023).

Desventajas:

Se sugiere que el aprovechamiento requiere investigación avanzada y desarrollo tecnológico, lo que implica costos y tiempo para su implementación en la industria (CIAD, 2023).

Bio combustible

Actualmente los investigadores están explorando las vastas aplicaciones del sargazo, entre ellas destaca el utilizarlo como materia prima para elaborar biodiésel de alta calidad, mediante técnicas de transesterificación. Los resultados de esas pruebas han resultado alentadores para su produccion en masa, gracias a este nuevo proceso de producción se puede obtener un diesel de alta calidad comparado con el actual comercializado por las distintas petroleras comerciales, y la ventaja más destacable es que se produce una menor cantidad de gases de efecto invernaderos y atmosfericos contaminantes que en comparación al proceso industrial convencional. Esta iniciativa ofrece una solición innovadora y sostenible para la elaboracion de un biocombustible funcional y eficiente logrando asi reducir drasticamente la proliferacion del alga que se da en las costas del sureste de México. Sin embargo, dada la complejidad del proceso, se requiere de un mayor desarrollo tecnologico y en estudios financieros a gran escala para analizar el panorama del producto con el fin de asegurar su viabilidad economica. El uso del sargazo como materia prima podria ser un paso importante hacia una matriz energetica sostenible para las regiones afectadas, logrando que biocombustible sea una de las aplicaciones que puede tener el sargazo (Morales, 2024).

Actualmente los investigadores están explorando las vastas aplicaciones del sargazo, entre ellas destaca el utilizarlo como materia prima para elaborar biodiésel de alta calidad, mediante técnicas de trans-esterificación. Los resultados de esas pruebas han resultado alentadores para su producción en masa. Gracias a este nuevo proceso de producción se puede obtener un diésel de alta calidad comparable con el comercializado actualmente por las distintas petroleras comerciales, y la ventaja más destacable es que se produce una menor cantidad de gases de efecto invernadero y gases atmosféricos contaminantes que en comparación al proceso industrial convencional. Esta iniciativa ofrece una solución innovadora y sostenible para la elaboración de un biocombustible funcional y eficiente, logrando así reducir drásticamente la proliferación de esta alga que se da en las costas del sureste de México. Sin embargo, dada la complejidad del proceso, se requiere un mayor desarrollo tecnológico y estudios financieros a gran escala para analizar el panorama del producto con el fin de asegurar su viabilidad económica. El uso del sargazo como materia prima podría ser un paso importante hacia una matriz energética sostenible para las regiones afectadas, logrando que biocombustible sea una de las aplicaciones que puede tener el sargazo (Morales, 2024).

Ventajas:

2. La producción de biodiésel a partir de sargazo genera un diésel de alta calidad comparable al comercial (Morales, 2024).
3. Reduce de manera significativa la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes en comparación con los procesos industriales convencionales (Morales, 2024).
4. Contribuye a disminuir la proliferación del sargazo en las costas, ofreciendo una solución sostenible (Morales, 2024).

Desventajas:

1. El proceso es complejo y requiere mayor desarrollo tecnológico (Morales, 2024).
2. Necesita estudios financieros a gran escala para garantizar su viabilidad económica y establecer un modelo de producción masiva (Morales, 2024).

Economía circular

Como parte de su gira de trabajo por Quintana Roo, la secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Alicia Bárcena Ibarra, sostuvo los días 4 y 5 de julio diversos encuentros orientados a fortalecer la coordinación interinstitucional entre los tres niveles de gobierno —federal, estatal y municipal—, así como reuniones con el sector privado, incluyendo pymes, mipymes y grandes empresas, y con comunidades costeras, con el propósito de avanzar en el manejo integral del sargazo (SEMARNAT, 2025).

El objetivo fue presentar la política ambiental humanista impulsada por la representante del Poder Ejecutivo Federal y anunciar la creación de los Polos de Desarrollo de Economía

Circular para el Bienestar (PODECIBIS), espacios destinados a incentivar la inversión y promover el desarrollo sostenible (SEMARNAT, 2025).

Ventajas:

- Promueve el manejo integral del sargazo mediante la creación de Polos de Desarrollo de Economía Circular para el Bienestar (PODECIBIS) (SEMARNAT, 2025).
- Incentiva la inversión y el desarrollo sostenible mediante la colaboración entre gobierno, empresas y comunidades costeras (SEMARNAT, 2025).

Desventajas:

- Su éxito depende de la coordinación interinstitucional y de la participación activa de múltiples actores, lo que puede retrasar la implementación (SEMARNAT, 2025).
- Requiere una política pública sólida y financiamiento continuo para ser sostenible en el largo plazo (SEMARNAT, 2025).

Generación de energía

Por su alto potencial en la generación de gas metano, el sargazo produce energía mediante el proceso de biodigestión, con lo que se electrificarían los complejos turísticos y zonas urbanas del litoral de Quintana Roo, aseguró la doctora Norma Patricia Muñoz Sevilla, profesora e investigadora del Instituto Politécnico Nacional (IPN, 2019).

De acuerdo con los análisis de contenido químico que la científica politécnica realiza en el Laboratorio de Botánica Marina, del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CIIEMAD), desde el 2015, así como los efectuados por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e investigadores de instituciones francesas y británicas, coinciden en valorar este recurso marino únicamente para generación de gas metano (IPN, 2019).

Muñoz Sevilla explicó que el procedimiento sería el uso de biodigestores, contenedores o tanques herméticamente cerrados que permiten la carga de residuos orgánicos, donde se descompone la materia orgánica de manera anaeróbica (sin aire), para obtener, recolectar y almacenar el biogás para su posterior aprovechamiento energético (IPN, 2019).

Sostuvo que para aprovechar este recurso se debe actuar de manera inmediata en todos los niveles de gobierno, industria, academia y sociedad, además que los cambios de régimen de vientos y de corrientes oceánicas, derivadas del cambio climático deben ser estudiados por diversos investigadores a nivel nacional e internacional porque el sargazo seguirá presente en las próximas décadas (IPN, 2019).

Ventajas:

- El sargazo puede ser utilizado en biodigestores para producir gas metano y generar energía eléctrica (IPN, 2019).
- Permite electrificar complejos turísticos y zonas urbanas, aprovechando un recurso abundante y recurrente en el litoral de Quintana Roo (IPN, 2019).
- Representa una fuente renovable y sostenible de energía, alineada con la transición energética (IPN, 2019).

Desventajas:

- Se requiere acción inmediata y coordinada entre gobierno, industria, academia y sociedad para su implementación (IPN, 2019).
- El aprovechamiento depende de estudios continuos sobre los cambios de corrientes y vientos asociados al cambio climático, para garantizar un suministro constante de materia prima (IPN, 2019).

Alimentación ganadera

Propiedades bioactivas y uso potencial de las algas en la alimentación de bovinos. Los metabolitos secundarios de las algas pueden tener propiedades farmacológicas que coadyuven al tratamiento de algunos tipos de cáncer, diabetes, control de la obesidad, entre otros. Entre los metabolitos secundarios que se han detectado están: guanidinoacetato, manitol y etilenglicol; además, contienen polisacáridos como: el alginato, el fucoidan y el laminaran y compuestos fenólicos como los florotaninos; los cuales tienen propiedad antioxidante, anticancerígena, antiviral, antimicrobiana, anticoagulante e inmunorreguladora, antiinflamatoria y neuroprotectora (Carrillo-Domínguez et al., 2023).

El bromoformo presente en las algas rojas como Asparagopsis taxiformis, es un potente inhibidor de la metanogénesis en los rumiantes (Machado et al., 2018; Kinley et al., 2020; Roque et al., 2021). La concentración de bromoformo varía dependiendo la especie de alga y la época de recolecta (Brooke et al., 2020; Bolkenov et al., 2021). En el campo de la nutrición animal, se ha observado que el consumo de algas contribuye al mantenimiento de la salud, mejora la disponibilidad de los nutrientes y el estado oxidativo en los animales (Evans y Critchley, 2014; Tsiplakou et al., 2018). Pruebas realizadas en rumiantes indican mejoría en el estado antioxidante e inmunológico (Angulo et al., 2020), así como en la capacidad para modular los efectos perjudiciales del estrés calórico (de Lima et al., 2019; Ellamie et al., 2020; Lee et al., 2020; Maheswari et al., 2021). El sargazo pelágico podría tener este potencial termorregulador y contribuiría a mejorar el bienestar animal, sobre todo en las regiones tropicales donde las temperaturas son extremas e impactan negativamente en la productividad y bienestar animal (Carrillo-Domínguez et al., 2023).

Sin embargo, el contenido de metales pesados (potencialmente tóxicos) del sargazo limitan su inclusión en la dieta de bovinos, debido a su posible acumulación en los tejidos (Costa et al., 2021); por lo que es necesario realizar estudios de alimentación animal para definir los niveles máximos de inclusión y los efectos negativos sobre la fisiología y metabolismo de

los rumiantes (Choi et al., 2019; Campbell et al., 2020). Estos ensayos requerirán pruebas específicas con diversas especies de rumiantes en diferentes etapas fisiológicas y regímenes de alimentación (tipos de dieta). Una evaluación previa para el uso de las macroalgas en la alimentación de rumiantes requiere: la determinación fisicoquímica de sus componentes, análisis proximal, análisis de metales pesados y su especiación, análisis de metabolitos secundarios (Carrillo-Domínguez et al., 2023), estudios in vitro y estudios in situ (Carrillo-Domínguez et al., 2023).

Industria de la construcción:

La empresa Blue Green México, con sede en Puerto Morelos, Quintana Roo, ha desarrollado una de las iniciativas más innovadoras de aprovechamiento del sargazo en el país. Ante el incremento de arribazones de esta macroalga que afectan las costas del Caribe mexicano, la compañía encontró una alternativa sustentable que transforma el problema ambiental en una oportunidad económica y social mediante la fabricación de bloques ecológicos de construcción llamados Sargablocks.



Figura 5. DIANCO

El proyecto fue fundado por Omar Vázquez Sánchez, conocido como “El Señor Sargazo”. Inicialmente, Blue Green operaba como un vivero, pero la acumulación masiva de sargazo en las playas de Quintana Roo llevó a la empresa a buscar una solución ecológica y socialmente responsable. Así surgió el desarrollo de los Sargablocks, bloques de construcción sustentables fabricados a partir del sargazo recolectado

Proceso de producción

El proceso inicia con la recolección del sargazo en las costas, donde se limpia, deshidrata y procesa. Posteriormente, se mezcla con otros materiales orgánicos y, en algunos casos, plástico reciclado para obtener un material sólido y moldeable

Cada bloque contiene aproximadamente 30 % de sargazo, 10 % de plástico y 60 % de materia orgánica, aunque la fórmula puede variar según la generación de producción

Una vivienda tipo, construida con 2 150 Sargablocks, requiere cerca de 20 toneladas de sargazo húmedo, lo que permite transformar desechos marinos en materiales útiles

Los Sargablocks son reconocidos por su capacidad térmica y acústica, además de su resistencia estructural frente a fenómenos como huracanes o sismos. Estos bloques son una alternativa ecológica que no utiliza cemento ni pegamentos convencionales, reduciendo así la huella ambiental del proceso constructivo

El uso del sargazo como insumo principal contribuye a disminuir los residuos acumulados en las playas, generar empleos locales y ofrecer una alternativa de vivienda más económica —con costos hasta un 60 % menores que los materiales tradicionales—

El proyecto comenzó en 2018, año en que los arribazones de sargazo alcanzaron niveles críticos. En 2020, Blue Green presentó una versión mejorada de los bloques que incorporaba plástico reciclado. Ese mismo año se construyeron y entregaron las primeras viviendas hechas completamente con Sargablock, en el marco de programas sociales liderados por la empresa

Actualmente, Blue Green produce entre 1 000 y 2 000 bloques diarios, con una capacidad mensual estimada entre 30 000 y 60 000 unidades, lo que refleja un avance considerable en su industrialización

Impacto social y ambiental

Ambientalmente, contribuye a mitigar los efectos negativos del sargazo en el turismo y el ecosistema marino, evitando que toneladas de biomasa se descompongan en las playas

Socialmente, Blue Green ha entregado viviendas de bajo costo a familias en situación vulnerable, fortaleciendo la economía local mediante la creación de empleos en la recolección y manufactura del material

Asimismo, la empresa ha colaborado con gobiernos locales y ha inspirado proyectos similares en otras regiones del Caribe, como República Dominicana, Belice y Martinica

A pesar del éxito del proyecto, persisten desafíos relacionados con la logística de recolección del sargazo, la estandarización de los materiales, y la certificación oficial de los bloques bajo normas de construcción mexicanas. No obstante, se están realizando pruebas en colaboración con instituciones académicas como la UNAM para validar su resistencia y durabilidad

Blue Green busca expandir la producción y exportación del concepto, promoviendo así un modelo de economía circular y aprovechamiento integral del sargazo.

Tabla 3.

Aspecto	Ventajas	Desventajas / Retos
Ambiental	- Reduce el impacto negativo del sargazo al retirarlo de las playas, evitando su descomposición y la contaminación costera. - Disminuye el uso de cemento y pegamentos químicos, reduciendo la huella de carbono. - Promueve la economía circular y el aprovechamiento sustentable de residuos marinos.	- La recolección inadecuada puede afectar ecosistemas costeros si no se controla la extracción. - Requiere procesos de secado y limpieza que consumen energía y agua si no se optimizan.
Económico	- Permite fabricar materiales de construcción con costos hasta un 60 % menores que los tradicionales. - Genera empleos locales en recolección, procesamiento y construcción. - Puede atraer inversión nacional e internacional en tecnologías verdes.	- Los costos iniciales de maquinaria, transporte y desarrollo tecnológico son elevados. - La demanda depende del reconocimiento oficial de los bloques y su certificación bajo normas mexicanas.
Social	- Proporciona viviendas ecológicas a bajo costo para comunidades vulnerables . - Fomenta la conciencia ambiental y la innovación social en Quintana Roo.	- Aún no se ha extendido a nivel nacional, limitando su impacto social. - Requiere programas gubernamentales y comunitarios para su adopción masiva.
Técnico / Constructivo	- Los bloques son térmicos, acústicos y resistentes a huracanes y sismos. - No requieren cemento, lo que simplifica la construcción y la hace más ecológica.	- Falta de certificación oficial ante normas estructurales mexicanas. - La durabilidad a largo plazo y el mantenimiento aún están en fase de evaluación académica (UNAM).
Expansión / Mercado	- Posibilidad de exportar el modelo a otros países del Caribe (República Dominicana, Belice, Martinica). - Posiciona a México como líder regional en innovación con sargazo.	- Limitada capacidad de producción frente a la gran cantidad de sargazo que llega anualmente. - Necesidad de alianzas estratégicas para escalar el modelo industrialmente.

Impacto ambiental

Los SIE (sargazo) (SIE, por sus siglas en inglés), tanto vivos y flotantes como aquellos en descomposición, pueden afectar la biodisponibilidad y calidad de especies acuáticas ya que limitan los recursos vitales para los organismos en fotosíntesis y tienen un impacto en las fuentes de alimentación, las zonas de reproducción, la calidad del agua y el crecimiento, v la reproducción y en la última instancia la supervivencia de las especies. Las concentraciones de sargazo en descomposición pueden matar especies de importancia comercial y recreativa,

ya que liberan sulfuro de hidrógeno y amoníaco, reducen el oxígeno en el agua y hacen que las especies se enreden y asfixien (EPA, 2025).

Análisis económico

Desde la reaparición sostenida y creciente de arribazones masivos alrededor de 2011, el sargazo ha generado un impacto económico directo e indirecto en zonas del Atlántico tropical y el Caribe mexicano. Los costes directos incluyen la recolección y retiro en mar y playa (uso de embarcaciones, barreras y personal), disposición y tratamiento de la biomasa, y la limpieza mecánica y manual de frentes turísticos; los costes indirectos se reflejan en la pérdida de ingresos por menor afluencia turística, disminución de tarifas y ocupación hotelera, impactos sobre la pesca y servicios asociados (buceo, tours), así como efectos sobre la imagen de destino. Estudios económicos que analizan la costa mexicana señalan que el turismo es el motor económico de Quintana Roo (millones de turistas y miles de millones de dólares en ingresos), por lo que la afectación de playas por sargazo tiene consecuencias significativas en la economía regional (BBVA Research, 2022).

En cifras nacionales y regionales: 2018 fue un año récord de arribazones, con estimaciones de hasta ~522,000 toneladas a nivel de algunas mediciones regionales; en años posteriores las cantidades han variado ampliamente (por ejemplo, en 2024 se reportaron ~17,700 toneladas recolectadas oficialmente en México, mientras que en 2025 se registraron incrementos importantes en algunos reportes, con cifras anuales en decenas de miles de toneladas o más según la fuente y el corte temporal). Estas variaciones repercuten en la magnitud de los costos: Quintana Roo ha destinado partidas presupuestarias y apoyos logísticos (por ejemplo, asignaciones a la Secretaría de Marina y a administración de playas) que suman decenas de millones de pesos anuales para atender la problemática, sin contar el costo privado de hoteles y empresas turísticas en tareas de limpieza (BBVA Research, 2022).

Respecto a pérdidas económicas concretas, varios análisis y reportes estiman impactos altos por temporada: informes de 2018 y estudios subsecuentes calcularon que el Caribe (en varios países) destinó cifras de decenas a cientos de millones de dólares sólo en limpieza y mitigación; el Banco Interamericano de Desarrollo (IADB) y organismos económicos han documentado el efecto negativo sobre la ocupación, la estancia promedio y la percepción del destino, con costos acumulados importantes para hoteles, operadores y comercios locales. En Quintana Roo, la combinación del sargazo con otros factores (pandemia, inflación, oferta) ha contribuido a variaciones en ocupación y actividad económica, y legisladores y analistas han atribuido, en parte, caídas económicas trimestrales a la inadecuada gestión de arribazones en temporadas críticas (BBVA Research, 2022).

Además, la distribución de impactos es desigual: las micro, pequeñas y medianas empresas turísticas y los prestadores informales suelen soportar la mayor carga de la limpieza y la pérdida de demanda, mientras que el gasto público (barreras, embarcaciones, remoción)

compite con otras prioridades presupuestales. La investigación económica sugiere que las soluciones más costo-efectivas combinan monitoreo en alta mar, recolección preventiva, valorización (usar el sargazo en industria) y esquemas de cooperación público-privada para reducir tanto la llegada a playa como los gastos en disposición final (BBVA Research, 2022).

Pesca Comercial y Recreativa

La SIE pueden tener un impacto en la pesca comercial y recreativa dado que reduce la disponibilidad de especies importantes y previene que los pescadores accedan y pesquen su especie objetivo. Esto puede causar daños posteriores en las comunidades locales (EPA, 2025).

El sargazo excesivo que flota en la superficie del mar o inunda las costas pueden enredar equipos de pesca (como redes y sedales) y reducir el acceso a zonas pesqueras, lo que genera tasas de captura inferiores y menores ingresos. La afluencia de sargazo puede generar cambios en el comportamiento de los peces lo que dificulta el hallazgo. Y la pesca de peces objetivo se traduce en menos días en él y, por ende, menos ganancias. Como resultado, los cambios en el mercado, como el aumento de los precios y cambios de disponibilidad de determinadas especies, también pueden tener un impacto en la rentabilidad de las operaciones pesqueras. Todos estos factores pueden crear un entorno desafiante para las comunidades de pescadores comerciales y recreativos, en especial para las comunidades pequeñas que dependen en gran parte de la pesca para subsistir (EPA, 2025).Limpieza y descontaminación

Eliminar el sargazo de las playas y prevenir que sus acumulaciones lleguen a las playas pueden presentar desafíos costosos, en especial para comunidades pesqueras con recursos limitados. El uso de maquinaria pesada para eliminar el sargazo también puede generar la pérdida de arena y contribuir a la erosión de la playa. En 2018, el costo estimado para la limpieza del sargazo excesivo en descomposición en el Caribe fue de 120 millones. En los Estados Unidos, en el condado de Miami-Dade, en Florida, estimo un costo anual de 35 mdd para recolectar, transportar y desechar el sargazo. Un análisis de costos de la ciudad de Ft. Lauderdale, Florida estimó un gasto anual de 380,000 para limpiar las playas de sargazo y comportarlo. En el 2022, el Departamento de Planificación y Recursos Naturales de las Islas Vírgenes de EE. UU. estimó un costo diario de 25,000 para eliminar la inundación tupida de sargazo en descomposición. En el mismo año, las Islas Vírgenes de EE. UU . declararon el estado de emergencia debido a que la acumulación excesiva de sargazo en la costa y en las aguas costeras obstruyó la entrada de agua a una planta desalinizadora en Santa Cruz.

Como resultado, en la planta se dificultó la producción de agua suficiente para satisfacer las demandas del área, en especial durante una sequía (EPA, 2025).



Figura 6. Recolección de Sargazo.

Afectación al turismo en México y el Caribe



Figura 7. Turistas en una playa afectada por sargazo.

Los SIE generan la acumulación excesiva de biomasa de algas en las playas que tienen impactos de gran alcance e el turismo. El sargazo en descomposición puede dar lugar a playas antiestéticas y olores desagradables, lo que desalienta la visita de turistas a las áreas afectadas y, por consiguiente, genera menores ingresos del turismo para las economías locales. El sargazo en exceso puede reducir la llegada de los visitantes debido al acceso restringido al mar para realizar actividades recreativas como surf, buceo y natación . Además, las autoridades suelen cerrar las playas que se ven afectadas, lo que genera repercusiones en la economía turística más amplia. La limpieza y la eliminación del sargazo de esas playas son costosas y consumen mucho tiempo. Se reportaron cierres de playas por sargazo excesivo en Cancún, desde México hasta Key West, Florida, así como en el Caribe (Martinica, Guadalupe y las Islas Vírgenes de EE. UU.) (EPA, 2025).

Impacto en la cadena alimenticia

El sargazo, al descomponerse, consume oxígeno en el agua, lo que puede llevar a condiciones de anoxia y afectar a especies marinas que dependen de niveles adecuados de oxígeno. Además, su acumulación puede interferir en la anidación y eclosión de tortugas marinas (Universidad Veracruzana, 2025).

Sargazo y cambio climático

El aumento excepcional del sargazo en las últimas décadas no es un fenómeno aislado: es un reflejo del desequilibrio climático global. El aumento de la temperatura del océano, el cambio en los patrones de viento y corrientes marinas, y la sobrecarga de nutrientes (provenientes en gran parte de la escorrentía agrícola y las aguas residuales sin tratar) han creado el caldo de cultivo perfecto para su proliferación masiva (Kunak, 2025).

Este "cinturón de sargazo" que se extiende desde África hasta el Caribe ha crecido año tras año, alimentado por un océano más cálido y contaminado. Así, el sargazo se convierte en un termómetro biológico del cambio climático: una señal flotante de que los sistemas marinos están bajo presión, y de que las consecuencias del calentamiento global ya están tocando tierra literalmente (Kunak, 2025).

La descomposición del sargazo en las zonas costeras es un proceso complejo que implica la degradación de grandes volúmenes de materia orgánica bajo condiciones ambientales variables. Cuando el sargazo se acumula en las playas y comienza a descomponerse, se desencadenan procesos microbiológicos y químicos que transforman los compuestos presentes en el alga. Este fenómeno no solo altera la composición físico-química del entorno, sino que también tiene impactos directos en la salud pública y el equilibrio ecológico local (Kunak, 2025).

Durante la descomposición, la macroalga libera nutrientes como nitrógeno y fósforo, que pueden favorecer la eutrofización de cuerpos de agua cercanos. Además, la acumulación de sargazo en descomposición reduce la penetración de luz solar y disminuye la concentración de oxígeno disuelto, afectando a la fauna y flora marinas. Otro efecto importante es la generación de lixiviados, líquidos ricos en materia orgánica y compuestos tóxicos, que pueden infiltrarse en el subsuelo y contaminar aguas subterráneas (KunK,2025; Congreso de Quintana Roo, 2015).

Conclusión:

El sargazo no debe ser visto solamente como una externalidad negativa, sino como una posible fuente de materias primas que pueden ser aprovechadas a través de la perspectiva de la economía circular. Para que esa transición sea real y sustentable, es necesario que haya cooperación entre la ciencia, la industria y la regulación: monitoreo y recolección eficaces, centros de acondicionamiento que reduzcan las pérdidas y los contaminantes, biorrefinerías que extraigan compuestos de alto valor (alginatos, fucoidanos), y mercados certificados para productos (biofertilizantes, biogás, materiales, cosméticos).

Si México implementa políticas de fomento a la creación de clústeres con regulaciones claras y apoyo técnico, es posible que los costos actuales de limpieza se conviertan en ingresos recuperables, empleos locales y productos exportados, lo que convertiría el problema

medioambiental en una ventaja competitiva para la región. Los proyectos piloto que ya están en funcionamiento evidencian la existencia de la innovación; sin embargo, el siguiente paso es la escala, certificación y modelos de negocio.

Referencias

BBVA Research. (2022). México | Turismo se recupera de la pandemia, pero el sargazo alcanza récord histórico en 2022. BBVA Research (Reporte económico). https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2022/07/2022-07-04_SargazoTurismoMexico2022.pdf

BBVA. (2025, 15 de agosto). *Sargazo: qué es, causas del aumento y oportunidades sostenibles*. Recuperado de https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/el-alga-color-cafe-que-cubre-las-playas-que-es-el-sargazo-y-cuales-son-sus-consecuencias/

Cada vez más común en las playas del Caribe, el sargazo sirve de hogar a diversas especies, pero también representa un problema en las costas. (2025, 11 junio). *National Geographic*. https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2025/06/que-es-el-sargazo-y-para-que-sirve

Carbonwave. (2024). *¿Cuáles son los diversos usos del sargazo?*. Recuperado de https://carbonwave.com/es/blog/cuales-son-los-diversos-usos-del-sargazo/

Carbonwave. (2024, 12 enero). *¿Cuáles son los diversos usos del sargazo?* Carbonwave. https://carbonwave.com/es/blog/cuales-son-los-diversos-usos-del-sargazo/

Caribbean Sargassum – The origin of Sargassum algae. (s.f.). https://caribbeansargassum.com/en/thematic-sheets/sheet-1-the-origin-of-sargassum-algae/

De Prensa y Colaboradores, O. (2023, 10 marzo). El sargazo y su posible uso como alternativa a los antibióticos. Centro de Investigación En Alimentación y Desarrollo (CIAD). https://www.ciad.mx/el-sargazo-y-su-posible-uso-como-alternativa-a-los-antibioticos/

EIMAS. (2023, 16 noviembre). *Marco Normativo - sargazo 2023 EIMAS Quintana Roo*. Sargazo 2023 EIMAS Quintana Roo. https://sargazo2023.semaqroo.gob.mx/marco-normativo

El País. (2020, 1 de julio). *Tren Maya, esperando el futuro junto a las vías*. Recuperado de https://elpais.com/internacional/2020-07-01/tren-maya-esperando-el-futuro-junto-a-las-vias.html

El País. (2024, 4 de octubre). *Víctor Rosales: "En México es más fácil ser delincuente que ambientalista"*. Recuperado de https://elpais.com/mexico/2024-10-04/victor-rosales-en-mexico-es-mas-facil-ser-delincuente-que-ambientalista.html

El País. (2025, 16 de junio). *La acumulación de sargazo preocupa a la industria turística del Caribe mexicano*. Recuperado de https://elpais.com/mexico/2025-06-16/la-acumulacion-de-sargazo-preocupa-a-la-industria-turistica-del-caribe-mexicano.html

El País. (2025, 22 de abril). *Las olas de calor blanquean la barrera de coral mesoamericana, la segunda más grande del mundo*. Recuperado de https://elpais.com/america-futura/2025-04-22/las-olas-de-calor-blanquean-la-barrera-de-coral-mesoamericana-la-segunda-mas-grande-del-mundo.html

EPA. (2025). *Eventos de inundación de sargazo (SIE): impactos en la vida acuática y los ecosistemas*. Recuperado de https://espanol.epa.gov/espanol/eventos-de-inundacion-de-sargazo-sie-impactos-en-la-vida-acuatica-y-los-ecosistemas

Eventos de inundación de sargazo (SIE): impactos en la economía | US EPA. (2025, 11 febrero). US EPA. https://espanol.epa.gov/espanol/eventos-de-inundacion-de-sargazo-sie-impactos-en-la-economia

Infobae. (2025, 23 de julio). *Acumulación récord de sargazo en el Caribe: qué es y cómo afecta a la naturaleza*. Recuperado de https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2025/07/23/acumulacion-record-de-sargazo-en-el-caribe-que-es-y-como-afecta-a-la-naturaleza/

Kunak Technologies S.L. (2025, 16 julio). *Sargazo: problemas ambientales y monitorización del impacto*. Kunak. https://kunakair.com/es/sargazo-problemas-ambientales-y-monitorizacion-del-impacto/

Medio Ambiente y Recursos Naturales, S. (s. f.). Semarnat refuerza coordinación ambiental y apuesta por el aprovechamiento sostenible del sargazo en Quintana Roo. gob.mx. https://www.gob.mx/semarnat/prensa/semarnat-refuerza-coordinacion-ambiental-y-apuesta-por-el-aprovechamiento-sostenible-del-sargazo-en-quintana-roo

Méndez-Tejeda, R., & Hernández-Ayala, J. J. (2025). The great Atlantic Sargassum belt: Atmospheric-oceanic drivers, impacts, and management challenges in the Caribbean Sea. Journal of Marine Studies. https://doi.org/10.29103/joms.v3i1.24579

Morales, K. B. A. (2024). SARGAZO COMO BIOCOMBUSTI BLE: BIODIESEL, U NA A LTERNATIVA SOSTENIBLE P ARA U NA SOCIED AD EN CR ISIS. *RD-ICUAP*, 136-150.

National Geographic. (2025, 10 de junio). *Qué es el sargazo y para qué sirve*. Recuperado de https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2025/06/que-es-el-sargazo-y-para-que-sirve

NOAA. (2024). *Sargazo: Del Mar a la Costa*. Recuperado de https://oceanservice.noaa.gov/news/sargassum/welcome-spanish.html

Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., & García-Sánchez, M. (2020). Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018–2019. PeerJ. https://doi.org/10.7717/peerj.8667

S. de Marina (s. f.). Mediante la Operación Sargazo 2025, la Secretaría de Marina en coordinación interinstitucional protege los Intereses Marítimos Nacionales. gob.mx.

https://www.gob.mx/semar/prensa/mediante-la-operacion-sargazo-2025-la-secretaria-de-marina-en-coordinacion-interinstitucional-protege-los-intereses-maritimos-nacionales?idiom=en

Sargazo genera energía eléctrica: IPN. (s. f.). IPN. https://www.ipn.mx/imageninstitucional/comunicados/vercomunicado.html?y=2019&n=26

SECIHTI. (s.f.). *Arribazón de sargazo a las costas mexicanas*. Recuperado de https://secihti.mx/sargazo/index.php/materiales-de-consulta/18-materiales/99-arribo-de-sargazo-a-las-costas-mexicanas-2

Secretaría de Marina. (2025). *México abre camino para el procesamiento industrial de sargazo*. Recuperado de https://vocesdelperiodista.com/mexico-abre-camino-para-el-procesamiento-industrial-de-sargazo-de-maldicion-a-bendicion/

Species composition and chemical characterization of Sargassum influx at six locations along the Mexican Caribbean coast. (2021). Science of The Total Environment, 795, 148852. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148852

Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic Sargassum species in the Mexican Caribbean. (2020). Aquatic Botany, 167, 103275. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103275

Ulloa, K. G. (2020, 3 marzo). Mexicanos transforman sargazo en productos cosméticos. Vogue. https://www.vogue.mx/belleza/articulo/cremas-y-geles-corporales-hechos-con-sargazo

UNAM – Sargazo. (2025). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. https://sargazo.icmyl.unam.mx/indexES.php

WWF. (2020, 2 de junio). *Presencia de sargazo en el Caribe mexicano*. Recuperado de https://www.wwf.mg/?364136%2FPresencia-de-sargazo-en-el-Caribe-mexicano=

Capítulo 7. Análisis de la vulnerabilidad productiva y económica del sector agropecuario mexicano ante la alternancia de sequías y lluvias

Analysis of the Productive and Economic Vulnerability of the Mexican Agricultural Sector under Alternating Droughts and Rainfall

Gabriela Rodríguez Licea. https://orcid.org/0000-0003-2529-3367

Juvencio Hernández Martínez https://orcid.org/0000-0001-7864-5595

Andrea Daniela García Torres. https://orcid.org/0009-0000-4012-3644

Recibido 23 de marzo 2026; Aceptado 19 de junio 2026
Esta Obra cumple con el requisito de evaluación por pares expertos
DOI: http://doi.org/10.59955/97897096411037

Resumen

Entre 2020 y 2025, México enfrentó una variabilidad climática caracterizada por sequías que afectaron al norte y centro del país; y, lluvias intensas asociadas a tormentas tropicales y huracanes que ocasionaron daños agropecuarios y de mercado principalmente en el Golfo, Pacífico y Sureste. En este contexto, se evalúo la vulnerabilidad productiva-económica agropecuaria frente a la alternancia de sequías y lluvias, identificando territorios con mayor exposición a extremos hídricos. Se utilizaron datos estatales de CONAGUA, SIAP e INEGI (2000–2025), incorporando la precipitación, rendimiento, producción, precios rurales, superficie de temporal y eventos extremos. Se aplicó análisis de componentes principales (ACP) y conglomerados jerárquicos (ACJ) para identificar patrones entre variables y clasificar entidades según su vulnerabilidad. El ACP explicó el 82.4 % de varianza, integrando tres componentes: C1, irregularidad hídrica (38.7 %); C2, desempeño agropecuario (27.9 %); C3, estabilidad de precios (15.8 %), asociados a variabilidad climática, respuesta productiva y volatilidad económica, respectivamente. El análisis de correlación mostró una relación negativa entre irregularidad de la precipitación y productividad agropecuaria ($r = –0.69$; $p < 0.01$) y, una asociación positiva entre escasez productiva y precios ($r = 0.74$; $p < 0.01$), evidenciando el impacto de desequilibrios climáticos en la inflación alimentaria.

Palabras clave: variabilidad climática, vulnerabilidad productiva y económica; análisis multivariado, entidades de riesgo, volatilidad económica.

Abstract

Between 2020 and 2025, Mexico experienced climate variability characterized by droughts affecting the northern and central regions, as well as intense rainfall associated with tropical

storms and hurricanes that caused agricultural and market disruptions, particularly in the Gulf, Pacific, and southeastern regions. In this context, the productive and economic vulnerability of the agricultural sector was assessed in response to the alternation of droughts and heavy rainfall, identifying territories with greater exposure to hydric extremes. State-level data from CONAGUA, SIAP, and INEGI (2000–2025) were used, incorporating precipitation, yield, production, rural prices, rainfed area, and extreme events. Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) were applied to identify patterns among variables and classify states according to their vulnerability. The PCA explained 82.4% of the total variance, integrating three components: C1, hydric irregularity (38.7%); C2, agricultural performance (27.9%); and C3, price stability (15.8%), associated with climate variability, productive response, and economic volatility, respectively. Correlation analysis revealed a negative relationship between precipitation irregularity and agricultural productivity ($r = –0.69$; $p < 0.01$) and a positive association between production scarcity and prices ($r = 0.74$; $p < 0.01$), highlighting the direct impact of climatic imbalances on food inflation.

Keywords: climate variability, production and economic vulnerability; multivariate analysis, risk entities, economic volatility.

Introducción

En las últimas décadas el calentamiento global ha incrementado la frecuencia e intensidad de extremos hidrometeorológicos, afectando sistemas agrícolas sensibles a la disponibilidad hídrica (IPCC, 2022). En economías con alta proporción de agricultura de temporal la exposición a sequías prolongadas reduce rendimientos, disponibilidad forrajera e ingresos rurales; a su vez que las lluvias torrenciales y ciclones tropicales deterioran suelos, infraestructura de riego y almacenamiento, y elevan costos de reposición y aseguramiento (FAO, 2021).

En el plano nacional, las estadísticas de CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) evidenciaron anomalías de precipitación y déficit hídrico en cuencas del norte y altiplano en 2021 y 2023; SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) reporto caídas de rendimiento en cultivos básicos y afectaciones en inventarios pecuarios tras sequías y tormentas; INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) registro presiones inflacionarias en alimentos coincidentes con shocks de oferta derivados de extremos climáticos. Entre 2020 y 2025, el país enfrentó una intensa variabilidad climática caracterizada por la alternancia de sequías severas —particularmente en 2021 y 2023— que afectaron al norte y centro del país, y episodios de lluvias extremas asociados a huracanes y tormentas tropicales como Grace (2021), Agatha (2022), Otis (2023), Alberto (2024) y Erick, Dalila y Barry (2025). Estos eventos provocaron daños agrícolas y pecuarios en regiones del Golfo, Pacífico y Sureste, generando pérdidas productivas e inestabilidad en los mercados.

Derivado de lo anterior, el encadenamiento causal puede sintetizarse en tres eslabones: exposición climática (sequías/lluvias extremas), impacto productivo (rendimientos, forrajes, mortalidad pecuaria, daños a infraestructura), transmisión económica (escasez relativa, alzas de precios y volatilidad de mercados); los cuales han reconfigurado la actividad productiva agropecuaria y la estabilidad de los mercados. Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo es analizar la vulnerabilidad productivo-económica de actividades agropecuarias ante la alternancia de sequías y lluvias, identificando los territorios más expuestos a los extremos hídricos. Se espera aportar evidencia de que la irregularidad de la precipitación tiene un efecto negativo estadísticamente significativo sobre el rendimiento agropecuario y un efecto positivo sobre la volatilidad de los precios rurales, particularmente en entidades con mayor proporción de superficie de temporal.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, longitudinal y comparativo a nivel estatal para el periodo 2000–2025. El análisis espacial comprendió las 32 entidades federativas de México, considerando observaciones anuales para cada variable climática, productiva y económica. El objetivo metodológico fue identificar patrones estructurales de vulnerabilidad productivo-económica ante la alternancia de sequías y lluvias extremas, mediante técnicas de reducción de dimensionalidad y clasificación multivariada; para lo cual se emplearon bases de datos reportadas por CONAGUA, SIAP e INEGI para construir una matriz estado-año que las tres variables.

Análisis estadístico

La determinación de las variables se basó en su variación temporal y heterogeneidad territorial, por lo que, la expresión matemática se estructura a partir de los valores observados de la variable *k* en el estado *i* en el año *t* (Xitk). Las variables asociadas a cambios climáticos (lluvias y sequías) son: precipitación pluvial registrada Pit medida en milímetros (mm), permitió identificar déficits (sequías) y excesos (lluvias intensas y huracanes) de agua; eventos hidrometeorológicos extremos registrados Eit, incluyendo choques climáticos ocasionados por sequías severas, tormentas tropicales y huracanes.

A su vez, el rendimiento agrícola medido en toneladas por hectárea (t/ha) representa la eficiencia biológica y técnica de los sistemas de producción agrícola en el estado *i* en el año *t* Rit y; la producción agropecuaria total refleja el volumen cumulado generado por el sector primario (expresado en t) en el estado *i* en el año *t* Qit. La superficie agrícola de temporal Tit, expresada en porcentaje, representa la proporción de tierras agrícolas dependientes de la precipitación pluvial y permitió estimar la capacidad de respuesta productiva ante la variabilidad hídrica. Por otro lado, la variable económica integrada es el precio medio rural PMRit, expresado en $/t y tomado como referencia de la dinámica del mercado (oferta y demanda).

A partir de las variables se analiza la relación que existe entre el cambio climático, la dinámica productiva y la estabilidad económico-comercial. Dada la heterogeneidad de escalas (mm, t, % y $), las variables fueron estandarizadas mediante transformación tipo z-score:

$$Zitk=Xitk-X\bar{}ksk \quad (1)$$

donde $X\bar{}k$ corresponde a la media de la variable k y sk a su desviación estándar. Esta transformación garantizó comparabilidad y evitó que variables con mayor varianza dominaran el análisis (Jolliffe & Cadima, 2016).

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se utilizó para identificar estructuras latentes entre las variables climáticas, productivas y económicas. Sea la matriz estandarizada:

$$Z=[z1,z2,\ldots,zp] \quad (2)$$

La matriz de correlaciones se definió como:

$$R=1n-1ZZ \quad (3)$$

Los componentes principales se obtuvieron resolviendo:

$$Rvj=jvj \quad (4)$$

Cada componente se expresó como combinación lineal:

$$PCj=v1jZ1+v2jZ2+\cdots+vpjZp \quad (5)$$

La proporción de varianza explicada por cada componente fue:

$$\%Var_j = \sum_{m=1}^{p} m \times 100 \quad (6)$$

Los componentes retenidos se interpretaron en función de las cargas factoriales predominantes, asociándolos con irregularidad hídrica, desempeño agropecuario y estabilidad de precios.

Análisis de Conglomerados Jerárquicos (ACJ)

Con los puntajes factoriales obtenidos del ACP se realizó un ACJ para clasificar las entidades según su perfil de vulnerabilidad (Ward, 1963). La distancia euclidiana entre entidades se definió como:

$$d(i,j) = \sum_{m=1}^{M} (PC_{im} - PC_{jm})^2 \quad (7)$$

El método de enlace utilizado fue Ward, que minimiza la varianza intra-grupo. La suma de cuadrados interna de un conglomerado Cse expresó como:

$$W(C) = \sum_{i \in C} x_i - \bar{x}_C^2 \quad (8)$$

La fusión óptima entre dos grupos Ay Bse determinó mediante:

$$(A,B) = W(A \cup B) - W(A) - W(B) \quad (9)$$

El número final de conglomerados se definió con base en la estructura del dendrograma y la coherencia territorial de los perfiles resultantes.

Como síntesis metodológica se tiene que la integración del ACP y el ACJ permitió reducir dimensionalidad, identificar estructuras latentes de vulnerabilidad y clasificar entidades federativas en perfiles diferenciados de exposición climática, sensibilidad productiva y volatilidad económica, proporcionando una base estadística robusta para el análisis territorial de la vulnerabilidad productivo-económica ante extremos hídricos. En orden estructural se

puede plantear de la siguiente manera: Bases estatales (2000-2025) □ Estandarización (Z-score) – ACP □ Puntajes Factoriales □ ACJ □ Clasificación de vulnerabilidad territorial

Resultados

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP explicó el 82.4 % de la varianza total, lo que evidencia alta capacidad del modelo para sintetizar la estructura multivariada del sistema agropecuario ante extremos hídricos (véase Tabla 1). La reducción dimensional permitió identificar tres componentes estructurales que configuran la vulnerabilidad productivo-económica territorial.

Tabla 1. Componentes principales e interpretación estructural de la vulnerabilidad agropecuaria

Componente	Varianza explicada	Dimensión analítica	Variable asociada	Interpretación territorial
C1	38.7 %	Vulnerabilidad por exposición climática	Precipitación anual, frecuencia de eventos extremos, irregularidad hídrica	Representa la exposición a choques climáticos recurrentes. Puntajes altos indican mayor riesgo ante déficits o excesos de agua.
C2	27.9 %	Sensibilidad productiva	Rendimiento agrícola, producción agropecuaria	Refleja la capacidad biológica y técnica de respuesta ante variaciones en humedad. Valores negativos indican mayor sensibilidad frente a sequías o inundaciones.
C3	15.8 %	Transmisión económica	Precio medio rural	Representa la estabilidad económica y volatilidad de mercado. Valores altos evidencian mayor impacto de choques de oferta sobre los precios.

Fuente. Elaboración propia

Análisis de Conglomerados Jerárquicos (ACJ)

El ACJ, aplicado sobre los puntajes factoriales del ACP mediante el método de Ward y distancia euclidiana, permitió identificar dos macrozonas críticas de vulnerabilidad, coherentes con la geografía climática del país. En la Tabla 2 se presentan los puntajes factoriales, en la que se puede observar que grupo asociado a sequías presenta elevada exposición hídrica y el menor desempeño productivo promedio, reflejando con ello vulnerabilidad estructural ante déficits pluviales prolongados. En contraste, el grupo vinculado a huracanes muestra mayor volatilidad económica, reflejada en puntajes más altos en el componente de precios.

Tabla 2. Puntajes factoriales promedio por grupo

Grupo	Componente 1 Irregularidad hídrica	Componente 2 Desempeño agropecuario	Componente 3 Estabilidad de precios
Sequía	1.55	–1.25	0.68
Huracanes	1.88	–0.70	1.16

Fuente. Elaboración propia

Asociado a lo anterior, se agrupo a las entidades federativas en dos regiones con base a su vulnerabilidad ante eventos climático: Región 1 (R1), alta vulnerabilidad a sequías; Región 2 (R2), alta vulnerabilidad a huracanes y tormentas tropicales (véase Figura 1).

En el primer caso (R1), Chihuahua, Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí y Guanajuato ubicados en el Norte y Centro del país, presentan alta dependencia de agricultura de temporal y menor precipitación media anual; por lo que, en estos territorios se observaron reducciones de hasta 35 % en rendimiento agrícola y disminuciones cercanas a 25 % en disponibilidad forrajera, afectando con ello las actividades pecuarias. El patrón factorial confirma puntajes elevados en C1 y valores negativos en C2, evidenciando alta sensibilidad estructural ante déficits hídricos prolongados y limitada capacidad adaptativa productiva.

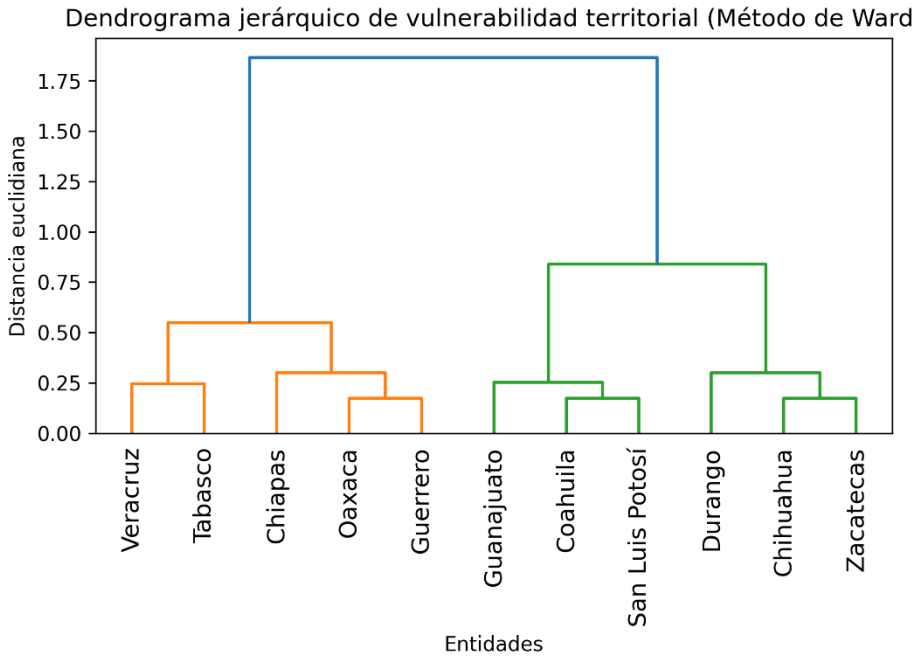
En el caso de R2, conformada por Veracruz, Tabasco, Oaxaca, Guerrero y Chiapas se registraron tormentas tropicales y huracanes de diferentes categorías (cat.) que provocaron erosión de los suelos, contaminación de forrajes, pérdida de ganado, daños en caminos agrícolas, corrales de manejo y de engorda, casetas avícolas, silos para almacenamiento de granos, sistemas de riego, bodegas de alimento y forrajes, incrementando con ello la vulnerabilidad productiva y económica de os estados afectados.

De acuerdo con el Sistema Meteorológico Nacional (SMN), durante el período 2020-2025, los huracanes registrados en el Océano Pacífico fueron: Nora – Cat.1 (2021); Kay – Cat.2 (2022), Otis – Cat.5 (2023), John – Cat.3 (2024), Erick – Cat.4 (2025) y; en el Golfo de México y el Atlántico: Delta – Cat.4, Gamma – Cat.1 y Cristobal tormenta tropical (2020);

Grace – Cat.3 (2021), Lisa – Cat.1 (2022), Barry tormenta tropical (2025). Derivado de lo anterior, las irregularidades hídricas (C1) afectaron la productividad y estabilidad de los precios medios rurales (C3) y, en consecuencia, los ingresos de los productores.

En la Figura 1 se observa que la irregularidad hídrica (≈1.8) propició la conformación de dos configuraciones multivariadas diferenciadas conocidas como conglomerados (R1 y R2), que permiten identificar que la vulnerabilidad productivo-económica no es homogénea en el territorio nacional, sino que responde a patrones climáticos regionales diferenciados. El conglomerado Golfo–Sureste se conformó por exceso de precipitación; mientras que, el Norte–Centro fue resultado de un hídrico. El método de Ward garantiza que cada grupo minimiza la varianza interna y refuerza la robustez estadística de la clasificación.

Figura 1. Dendograma Jerárquico de vulnerabilidad territorial (Método de Ward)



Fuente. Elaboración propia.

Localización espacial de zonas críticas

El mapeo de la distribución geográfica (véase Figura 2) confirma la existencia de patrones diferenciados por la vulnerabilidad climática: las entidades del norte y centro del país se caracterizan por una elevada exposición al estrés hídrico y a condiciones de sequía; mientras que, las ubicadas en el Golfo y sureste son más susceptibles a excesos de precipitación e inundaciones

En el primer caso, las entidades enfrentan un estrés hídrico crónico caracterizado por déficits prolongados de precipitación, alta dependencia de agricultura de temporal y limitada disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos. Esta condición incrementa

la sensibilidad productiva, reduce rendimientos agrícolas y compromete la estabilidad forrajera para la ganadería.

Por otro lado, los estados del Golfo y Sureste presentan mayor exposición a excesos pluviales recurrentes asociados a huracanes y tormentas tropicales, lo que genera inundaciones, erosión de suelos, daños en infraestructura agropecuaria y disrupciones en las cadenas de suministro. En conjunto, estos comportamientos climáticos regionales configuran una vulnerabilidad estructural diferenciada, determinada por la naturaleza del extremo hídrico predominante y por las características productivas y económicas de cada territorio.

Figura 2. Localización territorial de zonas críticas



Fuente. Elaboración propia

Interpretación y análisis crítico

Déficit hídrico

Desde la perspectiva factorial, los altos puntajes asociados al componente de irregularidad hídrica (C1) en conjunto con los valores negativos del desempeño productivo (C2), dejan ver

la limitada capacidad de respuesta y adaptación, y la alta vulnerabilidad de los sistemas de producción pecuaria ante variabilidad climática. Los efectos comprometen la eficiencia productiva, rentabilidad económica, sostenibilidad y competitividad de dichos sist3emas en el mediano y largo plazo.

Los siguientes efectos sobre las actividades agrícolas.: reducción del rendimiento en los cultivos dada la disminución de la fotosíntesis y el crecimiento vegetal; deterioro de la calidad de los productos reflejado en un menor contenido de azúcares, proteínas o aceites y, en consecuencia, menor valor comercial; degradación del suelo provocada por la erosión y por la disminución de cobertura vegetal y de materia orgánica; incremento en los costos de producción dado el aumento en el consumo de energía para extracción y bombeo de agua y; mayor vulnerabilidad a plagas y enfermedades dada susceptibilidad de la plantas estresadas a ataque de insectos y patógenos.

Derivado de lo anterior, las implicaciones sobre las actividades pecuarias pueden ser: menor disponibilidad de forrajes, pastizales y granos forrajeros; disminución en la capacidad de carga animal y consecuente sobrepastoreo y degradación de praderas; reducción de la productividad animal reflejada en baja ganancia de peso vivo y de producción de leche; afectaciones en la salud animal por la deshidratación y estrés calórico; mayor incidencia de enfermedades metabólicas e infecciosas; incremento en los costos de alimentación ante la necesidad de comprar forrajes y concentrados; afectación en los indicadores reproductivos, por ej., reducción de la fertilidad y, en las tasas de concepción y parición, mayor mortalidad embrionaria.

En términos económicos, estos efectos se traducen en menor oferta pecuaria y volatilidad en precios de especies pecuarias en pie para abasto, carne, leche, subproductos y, derivados cárnicos y lácteos amplificando el componente de transmisión económica. En consecuencia, la vulnerabilidad de los sistemas de producción pecuaria en R1 responde a un proceso de estrés hídrico crónico, donde la limitación estructural de recursos naturales condiciona la estabilidad productiva y económica.

Precipitación pluvial

Desde una perspectiva factorial, los puntajes elevados en C1 (frecuencia de eventos extremos) y los elevados valores en C3 (volatilidad económica) evidencian que los choques climáticos tienen una transmisión económica más intensa. A diferencia de R1, donde el impacto se manifiesta de forma gradual y progresiva, en R2 el efecto sobre las actividades pecuarias es marcado en periodos específicos con consecuencias económicas inmediatas. La volatilidad de precios es mayor dada las pérdidas de activos pecuarios y los elevados costos de recuperación y reposición: el efecto inmediato es el desequilibrio entre oferta y demanda que repercute en la rentabilidad y competitividad de los sistemas pecuarios. Los efectos diferenciados sobre las actividades agrícolas y pecuarias dependen de la intensidad, duración y patrón de ocurrencia en el tiempo de los huracanes y tormentas tropicales.

Los impactos generados en la agricultura son: daños físicos a los cultivos (derribo de plantas por vientos fuertes, defoliación y ruptura de tallos y ramas, caída prematura de flores y frutos), inundación de terrenos agrícolas y consecuente pudrición de raíces y tejidos vegetales; erosión y degradación del suelo por el arrastre de nutrientes y materia orgánica, incremento de plagas y enfermedades foliares y radiculares dada la proliferación de hongos, bacterias y virus; destrucción de invernaderos, afectaciones a sistemas de riego y drenaje, daños en almacenes, caminos y centros de acopio. Desde el punto de vista económico retrasos en siembra y cosecha, pérdida de acceso a mercados por los problemas de transporte y comercialización.

En contraste, los efectos en las actividades pecuarias son: mortalidad y/o perdida de animales por ahogamiento, lesiones, hipotermia o estrés extremo; destrucción de corrales, establos y cercos; disminución de alimentos dad la inundación de pastizales, pérdida de cultivos forrajeros y contaminación de alimentos almacenados; incremento de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por vectores; estrés animal causado por alteraciones fisiológicas y metabólicas y disminución del consumo de alimento; problemas reproductivos (disminución de fertilidad, pérdidas embrionarias y alteraciones en los ciclos reproductivos). Desde el punto de vista económico se interrumpe la cadena de suministro propiciando escasez de alimentos balanceados, dificultad para movilizar animales, incremento en los costos de producción y consecuente pérdida de ingresos por reducción de la producción.

Análisis comparativo estructural

La vulnerabilidad de las actividades pecuarias en México adopta una configuración territorial diferenciada por déficits hídricos (R1) y excesos pluviales (R2) que actúan a través de diferentes mecanismos de afectación. Estos resultados coinciden con literatura que refiere que los extremos climáticos impactan las actividades pecuarias por la vía biofísica que asocia agua, forraje y salud animal) y por la económico-logística que relaciona la infraestructura, transporte y mercados. En R1 (sequías), los hallazgos sobre la reducción en la disponibilidad forrajera y el deterioro gradual productivo concuerdan con evidencias nacionales que ubican a estados del norte (Chihuahua, Coahuila y Durango) y parte del Bajío (San Luis Potosí y Guanajuato) como entidades con alta incidencia de desastres agropecuarios vinculadas a sequía

El índice de vulnerabilidad a sequía propuesto por Ortega-Gaucin (2018) identifica las entidades con mayor vulnerabilidad territorial y desastres agropecuarios causados por estrés hídrico o precipitaciones pluviales extremas. La evidencia empírica se alinea con los hallazgos que identifican efectos directos de sequías extremas sobre inventarios y productividad pecuaria en México. Murray-Tortarolo y Jaramillo (2019), analizaron la sequía de 2011 y mostraron que los eventos extremos pueden asociarse con reducciones observables en inventarios pecuarios, reforzando con ello el mecanismo expresado como sensibilidad productiva (C2 negativo): menor disponibilidad de forraje lleva a una menor condición corporal, ajuste forzoso de los inventarios y efectos progresivos sobre la productividad. Por

otra parte, estudios de caso realizados en Chihuahua posteriores a la sequía referida, han documentado estrategias de mitigación y gestión de riesgo en sistemas de producción bovino-carne con un enfoque adaptativo territorial centrado en agua y forraje para regiones áridas y semiáridas.

En contraste, en R2 (huracanes y tormentas tropicales), la evidencia de daños en las actividades pecuarias es consistente con trabajos que destacan la vulnerabilidad que tienen estas actividades ante lluvias intensas se exacerba por la degradación de cuencas, la erosión y la susceptibilidad a inundaciones, principalmente en las regiones sur y sureste. Zúñiga et al. (2018) enfatizan que la degradación ambiental aumenta el riesgo de inundaciones ante lluvias intensas, lo que es coherente con las evidencias sobre erosión de suelos y afectación en infraestructura agropecuaria. Un análisis retrospectivo histórico de los desastres naturales que ha ocurrido en México arroja que los huracanes han provocado pérdidas significativas en agricultura e infraestructura en estados del sur como Oaxaca y Chiapas, reforzando la encontrado para R2 como región de choque productivo abrupto con efectos económicos inmediatos.

Un punto clave que converge con la literatura es que, aunque R1 y R2 comparten alta exposición climática (C1 elevado), difieren en el canal de transmisión. En 2022, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) destaco que los riesgos climáticos para sistemas alimentarios se manifiestan a través de eventos que asocian sequía, calor, inundación y degradación de suelos, que generan impactos sobre el agua, la productividad y los medios de vida; lo que coincide con la interpretación tridimensional obtenida en esta investigación. Por otro lado, reportes recientes sobre cadenas de suministro pecuarias indican que las sequías e inundaciones afectan la producción primaria, la logística (cadena de suministro), el almacenamiento, la inocuidad y los costos, lo que respalda los hallazgos sobre que en R2 la vulnerabilidad se acentúa por la transmisión económica (C3 alto) asociada a la inestabilidad del mercado.

Los resultados obtenidos contrastados con investigaciones previas respaldan la aseveración de que las actividades pecuarias en México enfrentan riesgos climáticos diferenciados. Para R1, la evidencia converge en priorizar estrategias de seguridad hídrica y forrajera (manejo de pastizales, reservas estratégicas de forraje, eficiencia hídrica, y medidas de prevención ante reducción de inventarios); mientras que, para R2, la literatura refuerza la necesidad de infraestructura resiliente, protección sanitaria y continuidad logística, así como esquemas de alertamiento temprano para reducir pérdidas y evitar volatilidad de precios.

Conclusiones

La presente investigación se aporta evidencia empírica sobre el efecto que tienen el estrés hídrico y la precipitación pluvial extrema sobre las actividades agropecuarias en México, se diferenció la estructura territorial con base a la exposición climática, sensibilidad productiva y transmisión económica. Estas dimensiones dejan ver que la variabilidad climática ejerce

impactos directos sobre las actividades agrícolas y, en consecuencia, sobre las pecuarias. Mediante el análisis de componentes principales se identificó que en la Región 1 (Norte–Bajío), la vulnerabilidad está asociada a sequías prolongadas que reducen los rendimientos agrícolas y, en consecuencia la disponibilidad de alimento para consumo animal, afectando con ello los parámetros productivos, reproductivos y de salud, así como el valor del capital pecuario y los precios de referencia de mercado de las especies pecuarias producidas en pie para abasto, de los principales productos obtenidos (carne y leche) y de subproductos (derivados lácteos y cárnicos). En contraste, en la Región 2 (Sur-Sureste), la vulnerabilidad se vincula a huracanes y tormentas tropicales que provocan en las actividades agrícolas entre otras cosas daños físicos, perdida de nutrientes del suelo por las corrientes agua, incremento de plagas y enfermedades, daños a caminos; mientras que, en las actividades pecuarias la principal afectación esa la reducción del inventario por el ahogamiento o pérdida de animales y la manifestación de enfermedades respiratorias y gastrointestinales. Derivado de lo anterior se concluye que en R1 prevalece un deterioro progresivo propiciado por el déficit hídrico estructural y en R2 un choque productivo inmediato ocasionado por el exceso hídrico.

Referencias

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Estadísticas climatológicas nacionales. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conagua

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). Econometría (5ª ed.). McGraw-Hill.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2024). Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press.

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 374(2065), 20150202. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202

Murray-Tortarolo, G. N., & Jaramillo, V. J. (2019). The impact of extreme weather events on livestock populations: The case of the 2011 drought in Mexico. Climatic Change, 153(1–2), 79–89. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02373-1

Ortega-Gaucin, D. (2018). Drought vulnerability indices in Mexico. Water, 10(11), 1671. https://doi.org/10.3390/w10111671

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Producción agropecuaria estatal. Gobierno de México. https://www.gob.mx/siap

The state of food and agriculture (FAO). (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association, 58(301), 236–244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

Zúñiga, E., Magaña, V., & others. (2018). Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico. Investigaciones Geográficas, (95), 1–17.

Contribuciones científicas para la sustentabilidad

Se terminó de editar en agosto de 2026 en Amapola 2, col. Salitrería 56230, Texcoco, Méx. Para su composición se empleo la fuente Times New Roman.

Tiraje: e-book [Libro electrónico]

EDITORIAL ASOCIACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA ASMIIA, A.C.

Texcoco, Estado de México, México

asmiia.org

El libro de investigación “Contribuciones científicas para la sustentabilidad” está conformado por 7 capítulos. Entre los que están temas sobre políticas ambientales, espacios verdes, importancia del sector agropecuario en nuestro país y la forma de aprovechar los residuos generados por ellos. Promover el desarrollo sustentable favorece la calidad de vida de las personas, especialmente en las comunidades vulnerables.