

REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD



www.rias.unesum.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.vol8>
ISSN. 2697-3510. e-ISSN: 2697-3529



REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

ISSN: 2697-3510 | e-ISSN: 2697-3529 | Vol. 8, 2025

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v8>

Los artículos publicados en la Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad expresan exclusivamente la opinión de sus autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación. Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen a los autores o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos. Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen.

FOTO DE PORTADA

Central Eólica Villonaco

Primera central eólica en Ecuador continental, ubicada en la provincia Loja, Ecuador

Autor: Lic. Lázaro Rafael Batule Águila
Gerente general Geomaster Solutions

CONTACTO

Universidad Estatal del Sur de Manabí
Dirección: Km 1½ Vía Jipijapa - Noboa,
Campus Los Ángeles. Jipijapa, Manabí,
Ecuador.

E-mail: rias@unesum.edu.ec

Website: <http://unesum.edu.ec>



Esta Revista es difundida bajo la Licencia Creative Commons 4.0 de Reconocimiento – No comercial – Compartir Igual, la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra; siempre que se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales, ni se realicen obras derivadas.

EQUIPO EDITORIAL

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
Red Iberoamericana de Medio Ambiente, México
Pan American Foundation for International Cooperation for Sustainable Development, Canadá

Directora

Dra. Blanca Soledad Indacochea Ganchozo
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Subdirectora

Dra. Blanca Viviana Álvarez Indacochea
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Gestora - Editora en jefe

MSc. Sara Yaima Ulloa Bonilla
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Editor científico

MSc. Yordanis Gerardo Puerta de Armas
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Editores de sección

Dr. Gilberto Javier Cabrera Trimiño
International University Network, USA
Dr. Antonio Martínez Puché
Universidad de Alicante, España
Dr. Eury José Villalobos Ferrer
RECSATI, A.C., Venezuela
Dr. Rafael Bosque Suárez
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
Dr. Arturo Andrés Hernández Escobar
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
Dra. Luz María Contreras Velázquez
Universidad Metropolitana, Ecuador
Dr. Jesús Armando Martínez Gómez
Universidad Autónoma de Querétaro, México
Dr. Rafael de Jesús Huacuz Elías
Universidad Latina de América, México
MSc. Luis Eugenio Rivera Cervantes
Universidad de Guadalajara, México



Consejo Científico

Dr. Arturo Andrés Hernández Escobar
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dr. Gilberto Javier Cabrera Trimiño
International University Network, EE. UU.

Dra. María Victoria Reyes Vargas
Universidad Regional Amazónica IKIAM, Ecuador

MSc. Wagner Castro Castillo
Universidad Nacional, Costa Rica

Dra. Yaneisys Cisneros Ricardo
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba

Dra. Amparo Osorio Abad
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba

Dr. Raúl Rodríguez Muñoz
Universidad de Cienfuegos, Cuba

Dr. Heriberto Vargas Rodríguez
Universidad Agraria de La Habana, Cuba

Dr. Rogelio García Tejera
Universidad de Oriente, Cuba

Dr. Yunior Ramón Velázquez Labrada
Universidad de Oriente, Cuba

MSc. Holanda Teresa Vivas Saltos
ESPAM MFL, Ecuador

MSc. César Alberto Cabrera Verdesoto
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dr. Daniel Arias Toro
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador

Dr. Dagoberto Pérez
Universidad de El Salvador, El Salvador

Dr. Juan Luis Pons Rubio
Asociación Española de Educación Ambiental, España

Dra. Blanca Inés Aguilar
Universidad Veracruzana, México

Dr. Jorge Luis Llamas Chávez
Universidad de Cartagena, Colombia

MSc. Rafael Enrique Corrales Andino
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Dra. Norma Angélica Rodríguez Valladares
UNICEPES, México

Dra. Alina Pérez Hernández
ECOVIDA, Cuba

MSc. Carlos Ignacio Jiménez Montoya
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Dr. Omar Chávez Alegría
Universidad Autónoma de Querétaro, México

MSc. Edith García Real
Universidad de Guadalajara, México

Dr. Tito Morales Pinzón
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Dr. Yhony Alfredo Valverde Lucio
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
I.F. del Sertão Pernambucano, Brasil

Dr. Alfredo Domínguez González
Universidad Estatal de Mato Grosso, Brasil

MSc. Neme Yamil Doumet Chilán
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Dr. Jairo Elicio Tocancipá Falla
Universidad del Cauca, Colombia

Dr. José Antonio Díaz Duque
Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

Dra. Isabel María Valdivia Fernández
Universidad de La Habana, Cuba

Dr. Arturo Rúa de Cabo
Universidad de La Habana, Cuba

Dr. Julio Iván González Piedra
Universidad de La Habana, Cuba

Dra. Ada Lucía Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba

Dra. Martha Margarita Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba

Dra. Raquel de la Cruz Soriano
Universidad de Sancti Spíritus, Cuba

Dr. José Luis Corvea Porras
Inversiones GAMMA S.A., Cuba

Dr. Reinaldo Demesio Alemán Pérez
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Dra. Glenda Yamileth Trejo Magaña
Universidad de Sonsonate, El Salvador

Dr. Yandy Rodríguez Cueto
ProsperIA, México



Dra. María Rodríguez Gámez
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

MSc. Antonio Santillán Castillo
Consultor independiente, Ecuador

Dr. Andrés Alberto Duque Nivia
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Dra. Yamel de las Mercedes Álvarez Gutiérrez
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dra. Ivón de la Caridad Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba

Dr. Erick Brenes Mata
Instituto Tecnológico del Medio Ambiente, Perú

Dr. Carlos Balmaseda Espinosa
Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador

MSc. Maria de Decker
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Dr. Seidel González Díaz
Empresa de Proyectos Artemisa, Cuba

Dr. Darwin Javier Sucoshañay Villalba
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Dr. Edgar Omar Burgueño Sánchez
Universidad autónoma de Sinaloa, México

MSc. Rubén Dario Calixto Morales
Universidad Santo Tomás, Colombia

Dra. Ana Rosa Carrillo Ávila
Universidad de Guadalajara, México

MSc. Bernardo Patricio Cordero Torres
Consultor independiente CONSUR, Ecuador

Dr. Genoveva Espinoza-Santeli
Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador

Dr. Ángel Guillemes Peira
Fondo Verde Internacional, España

MSc. Jarrinson Alejandro Jiménez Fajardo
Jardín Botánico de Bogotá, Colombia

MSc. Álvaro Vicente Leiva
Universidad Tecnológica La Salle, Nicaragua

MSc. Andrea Munguía Sánchez
Centro de Investigación Social Avanzada, México

Dra. María Isabel Sosa Cervantes
Universidad de Las Tunas, Cuba

Dr. Manuel Bollo Manent
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dra. Yudisleyvis Ventura Díaz
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Jorge Ferro Díaz
ECOVIDA, Cuba

Dra. María de los Ángeles Pérez Hernández
ECOVIDA, Cuba

Dr. Marvin Chávez Sifontes
Universidad de El Salvador, El Salvador

MSc. Giselle Invernón Duconge
Universidad Católica del Norte, Chile

Dra. Nurian Yamileth Luna Laínez de Quintanilla
Universidad Gerardo Barrios, El Salvador

Dr. Gonzalo de la Fuente de Val
Fondo Verde Internacional, España

Ing. Alfredo Lesvel Castro Landin
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

MSc. José Miguel Giler Molina
ESPAM MFL, Ecuador

Dr. Odette González Aportela
Universidad Técnica Latinoamericana, El Salvador

Dr. Juan Manuel Guerrero Calero
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dra. Ana María López Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Dr. Jose Manuel Luna Nemecio
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo
Universidad Autónoma de Guerrero, México

Dr. Yoel Martínez Maqueira
ECOVIDA, Cuba

Dr. José Vicente Martínez Arévalo
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dr. Guillermo Pastor Morales Romero
Universidad Nacional de Educación, Perú

Dr. Marco Vinicio Sandino Castillo
Consejo Nacional de Evaluación y Acreditación, Nicaragua

MSc. Jorge Alejandro Yungan Miranda
Consultor Independiente, España



Corrección de textos en español

Lic. Yakelyn Mas Rodriguez
Environment & Sustainability LLC, Estados Unidos

Corrección de textos en portugués

Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil

Webmaster

Ing. Yasser Quintana Cárdenas
Environment & Sustainability LLC, Estados Unidos

Corrección De Textos En Inglés

MSc. Gail Whittaker
PAFICSD, Canadá

Diseño y diagramación

D.I. Onelio Luis Padrón Martos
Environment & Sustainability LLC, Estados Unidos

Redes sociales

Lázaro Alejandro Puerta Ulloa
Environment & Sustainability LLC, Estados Unidos

REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

ISSN: 2697-3510 | e-ISSN: 2697-3529 | Vol. 8, 2025

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v8.e546>



YORDANIS G. PUERTA DE ARMAS

Máster en Medio Ambiente y Desarrollo. Cofundador y Coordinador General de la Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA). Editor científico de la Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad.



SARA YAIMA ULLOA BONILLA

Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental. Secretaria Ejecutiva de la *Foundation for International Cooperation for Sustainable Development* (PAFICSD) y Editora en jefe de la Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad.

EDITORIAL

Comunicación ambiental para la gestión del riesgo de desastres

En la actualidad, la **digitalización** ha revolucionado la manera en que nos comunicamos. Los medios tradicionales (como la radio, la televisión, los periódicos, las revistas, el cine y las vallas publicitarias) están perdiendo su hegemonía. Hemos pasado de una comunicación unidireccional, donde el público era un receptor pasivo, a una **comunicación bidireccional**, en la que las audiencias participan activamente en la creación y difusión de noticias.

Este cambio ha democratizado el discurso ambiental. Por mucho tiempo, este asunto fue privilegio de académicos, políticos y otros sectores con poder de decisión. Hoy, las redes sociales han abierto la puerta para que más personas compartan sus perspectivas sobre el ambiente, convirtiéndolo en un tema de interés colectivo.

Uno de los temas más apremiantes en este contexto es la **gestión del riesgo de desastres**. A menudo se cree que estos son el resultado exclusivo de fenómenos naturales inevitables. Sin embargo, la realidad es más compleja: la mayoría son la consecuencia de una combinación de peligros naturales (como erupciones volcánicas, terremotos, tsunamis, huracanes, sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra, tornados e incendios forestales) y **condiciones de vulnerabilidad social, económica e institucional**. Estos factores incluyen las decisiones de desarrollo que ignoran las condiciones del entorno y las dinámicas de la comunidad.

Como afirma Margaret Arnold, experta del Banco Mundial, los desastres son **construcciones sociales**, resultado de decisiones y omisiones que exponen a las comunidades a riesgos previsibles. Atribuir la culpa a la naturaleza o a un "acto de Dios" exime a los tomadores de decisiones de la responsabilidad de haber permitido o forzado a las personas a vivir en condiciones de riesgo. Este lenguaje despoja a las historias de desastres de su **contexto integral** (ecológico, psicosocial, económico, político, tecnológico e institucional) y oculta la injusticia subyacente.

Por consiguiente, en el siglo XXI, la comunicación sobre la gestión del riesgo de desastres debe enfocarse en la **adaptación** y la **mitigación** frente a fenómenos como el cambio climático; donde la **adaptación** busca **reducir el riesgo de desastres**, al fortalecer la resiliencia de las comunidades. Esto significa ayudarlas a resistir, absorber y recuperarse de los efectos del cambio climático, abordando las vulnerabilidades sociales y físicas. Mientras que la **mitigación** implica **disminuir la gravedad de los efectos del cambio climático** en su origen, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para desacelerar el calentamiento global.

En este escenario, la comunicación ambiental se convierte en una herramienta estratégica para promover sociedades más informadas, participativas y responsables, capaces de exigir e involucrarse en la implementación de políticas públicas sustentables y actuar de forma proactiva en la construcción de entornos seguros y resilientes.



TABLA DE CONTENIDO

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Metodología para la zonificación de cultivos con criterios de sostenibilidad en base a la información geográfica de libre acceso para Colombia. *Nicolas Albarracin Bohórquez, Oscar Fradique Escobar Pardo* e427

Evaluación de bacterias del género *Bacillus* en la calidad del compost, a partir de residuos de hojarascas. *Aron Esneyder Polo Ganchozo, Jessica Maribell Tuqueres Tacuri, Maria Fernanda Pincay Cantos* e436

Comparación del compostaje y vermicompostaje en la calidad del suelo mediante el análisis de temperatura, pH y fertilidad. *José Fernando Mendoza Rodríguez, José David Cuero Cortéz* e530

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Percepción del cambio climático y análisis climático local en Sontecomapan, Veracruz, México. *Mario Castelán Lorenzo, Joaquín Parra Álvarez, Ulises Iván López Reyes, Jorge Antonio Bustillos Herrera* e495

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

Modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica del humedal Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Alisson Escobar García, Belkis Alejandra Morales Guevara* e445

GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Perspectivas multidimensionales en la morfología de los barrios periféricos en Tunja, Colombia. *Rubén Dario Calixto Morales* e465

Herramientas para la gestión sostenible de los territorios. Caso de estudio: municipio Constanza, República Dominicana. *Eunice Rosana Kourie Bornia, Lorraine Mayrim Giraud Herrera* e476

Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos de la comunidad A'í Cofán. *Jorge Lenin León Arcos* e429

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTALES

Sostenibilidad curricular en Ingeniería en Gestión Turística. Estudio de caso: Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile. *Viviana Andrea Contreras Cabezas, Modesta Díaz Díaz, Claudia Giovagnoli Vicuña, Marfilda Sandoval Hormazábal* e449

Tejer comunidad, cuidar el mundo: saberes de mujeres y sustentabilidad en la cuenca del río Actopan. *Irma Elisa Fernández Téllez, Adriana Rodríguez Barraza* e489

Reflexiones sobre el enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad. *Gladimir Valle Rodríguez* e437



TABLA DE CONTENIDO

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTALES

Conocimiento y comportamiento ambiental de cañicultores como respuesta adaptativa al cambio climático en Junín, Manabí, Ecuador. *Miguel Ángel Maldonado Loor, María José Palma Cevallos, José Manuel Calderón Pincay; Eddy Gregorio Mendoza Loor* e438

Perspectivas y desafíos de la educación ambiental en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela. *Rafael Bosque Suárez* e494

USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS

Riqueza, abundancia y actividad de mamíferos silvestres captados en un abrevadero, Sendero El Cornizuelo, Costa Rica. *Ronald Jesús Sánchez Brenes, Adolfo Salinas Acosta, María Fernanda López Venegas* e474

Mapa estratégico y cuadro de mando integral en el manejo de áreas protegidas. *Ismael Gerardo Guido-Granados, Loraine Mayrim Giraud-Herrera* e534

TURISMO SUSTENTABLE

Turismo sustentable en la comuna Chile Chico, Parque Nacional Patagonia, Chile. *Karina Aires Krausse Martínez* e484

BASES DE DATOS, PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL

Mapeo de la erosión a gran escala en las ciudades de Kinshasa y Brazzaville, África Ecuatorial. *Alyson Bueno Francisco* e420

Estrategias y retos en el manejo de residuos: una visión global desde los rankings universitarios. *Trinidad Esmeralda Vilchis-Pérez, Nancy Merary Jiménez-Martínez, Ricardo Herrera-Navarrete* e479

FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

Potencial eólico marino en México: Zonas óptimas para aerogeneradores fijos. *Denise Margarita Rivera Rivera, Claudia Rebeca Rábago Arredondo* e498

Impacto de los colectores solares cilindro-parabólicos en la industria azucarera del Guairá en la reducción del consumo de biomasa no sostenible. *José María Gómez, Eduardo Márquez Canosa* e451



MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Metodología para la zonificación de cultivos con criterios de sostenibilidad en base a la información geográfica de libre acceso para Colombia.

Methodology for crop zoning with sustainability criteria based on freely accessible geographic information for Colombia.

Metodologia para zoneamento de culturas com critérios de sustentabilidade baseados na Acesso gratuito à informação geográfica para Colômbia.

Nicolas Albarracin Bohórquez

Politécnico Grancolombiano, Colombia

nalbarracin@poligran.edu.co

Oscar Fradique Escobar Pardo

Corporación Unificada Nacional de Educación

Superior, Colombia

oscar_escobarp@cun.edu.co

Artículo científico

Enviado: 16/7/2024

Aprobado: 6/2/2025

Publicado: 28/2/2025

RESUMEN

La metodología que se propone para la zonificación de cultivos con criterios de sostenibilidad se plantea desde la investigación-acción, e inicia identificando los parámetros mínimos esperables de un modelo de producción sostenible. Posteriormente se clasifican dichos parámetros para identificar cuáles de ellos pueden ser llevados a un contexto de zonificación por medio del uso de sistemas de información geográfica y cuales dependen de la implementación de buenas prácticas por parte de los productores. Finalmente, se realiza el proceso de análisis de la información disponible y se develan las posibles fuentes de información geográfica. Por lo que se propone un modelo de zonificación con criterios de sostenibilidad que utiliza información geográfica disponible en Colombia, como datos edafológicos, climáticos, de uso del suelo, áreas protegidas, territorios indígenas y niveles de pobreza; todo ello con el objetivo de proporcionar una herramienta útil para la toma de decisiones en las cadenas productivas, fomentar la agricultura sostenible y la conservación ambiental.

Palabras clave: agricultura sostenible, planeación agrícola, sistema de información geográfica, uso del suelo

ABSTRACT

The proposed methodology for crop zoning with sustainability criteria is based on action-research and begins by identifying the minimum parameters expected from a sustainable production model. These parameters are then classified to identify which of them can be applied to a zoning context through the use of geographic information systems and which depend on the implementation of good practices by producers. Finally, the process of analyzing the available information is carried out and the possible sources of geographic information are revealed. Therefore, a zoning model with sustainability criteria is proposed that uses geographic information available in Colombia, such as soil, climate, land use, protected areas, indigenous territories and poverty levels; all with the aim of providing a useful tool for decision-making in production chains, promoting sustainable agriculture and environmental conservation.

Keywords: agricultural planning, geographic information system, land use, sustainable agriculture

RESUMO

A metodologia proposta para o zoneamento de culturas com base em critérios de sustentabilidade é baseada na pesquisa-ação e parte da identificação dos parâmetros mínimos esperados de um modelo de produção sustentável. Esses parâmetros são então classificados para identificar quais deles podem ser aplicados a um contexto de zoneamento por meio do uso de sistemas de informações geográficas e quais dependem da implementação de boas práticas pelos produtores. Por fim, realiza-se o processo de análise das informações disponíveis e revelam-se as possíveis fontes de informação geográfica. Portanto, propõe-se um modelo de zoneamento com critérios de sustentabilidade que utiliza informações geográficas disponíveis na Colômbia, como dados edafológicos, climáticos, de uso do solo, de áreas protegidas, de territórios indígenas e de níveis de pobreza; tudo isso com o objetivo de fornecer uma ferramenta útil para a tomada de decisões nas cadeias produtivas, promovendo uma agricultura sustentável e a preservação ambiental.

Palavras-chave: agricultura sustentável, planejamento agrícola, sistema de informação geográfica, uso da terra

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad y motivado por las dinámicas sociales propias de los seres humanos, la brecha entre la cantidad de personas entre las poblaciones agrícola y no agrícola, es decir, la brecha demográfica entre quienes explotan los recursos naturales para la producción de alimentos o productos derivados de la producción agropecuaria y quienes tienen otra función en la sociedad, cada vez es mayor; esto genera algún grado de presión en términos de la necesidad de optimizar los modelos de producción agropecuario para “producir más, con menos”, para este contexto, “producir más alimentos, con menos personas dispuestas para el trabajo en campo”.

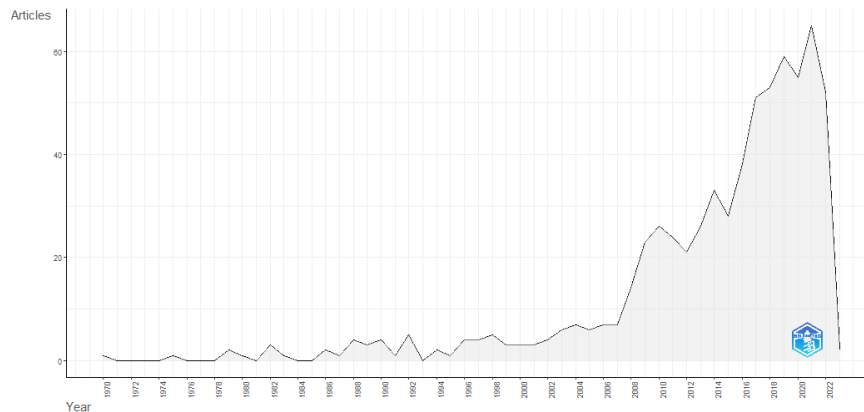
Ahora bien, si se analiza esta situación desde el crecimiento de la población humana, el Banco Mundial (2022) reportó que para el 2021 que los seres humanos estaban próximos a alcanzar los ocho mil millones de personas, y que la tasa de crecimiento anual para este mismo año era del 0,9% a nivel mundial y para Colombia de un 0,7%; este crecimiento se convierte en un problema básico de presión ejercida al medio ambiente y su utilización para el soporte de la vida en general, toda vez que dicha capacidad dependerá de factores no modificables como el clima, el suelo, la topografía, entre otros (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1997).

Adicionalmente, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su sexto informe resalta la importancia a nivel global del sector agropecuario para la mitigación de los fenómenos asociados al calentamiento global y emisión de gases efecto invernadero; al tiempo que proporciona materias primas renovables y conserva la biodiversidad, implementando técnicas sostenibles de producción (IPCC, 2023). En este contexto se requiere de ejercicios prospectivos con enfoque sostenible, que permitan determinar la metodología adecuada de incremento de la producción de alimentos tanto en eficiencia (cantidad de toneladas de alimento en relación con el área cosechada), como de la ampliación de la frontera agrícola y/o reorganización de los sistemas productivos con miras a la reconversión del uso del suelo (zonificación de la producción).

Esta necesidad se valida al realizar un análisis de los últimos 50 años de las investigaciones reportadas en Scopus por medio del software de lenguaje estadístico R y su paquete Bibliometrix: De las poco más de 650 investigaciones relacionadas con la zonificación de cultivos y los agronegocios se puede

concluir que el interés por estos temas se incrementó considerablemente a partir del año 2000 (figura 1), lo que es congruente con la adopción de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y su posterior evolución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

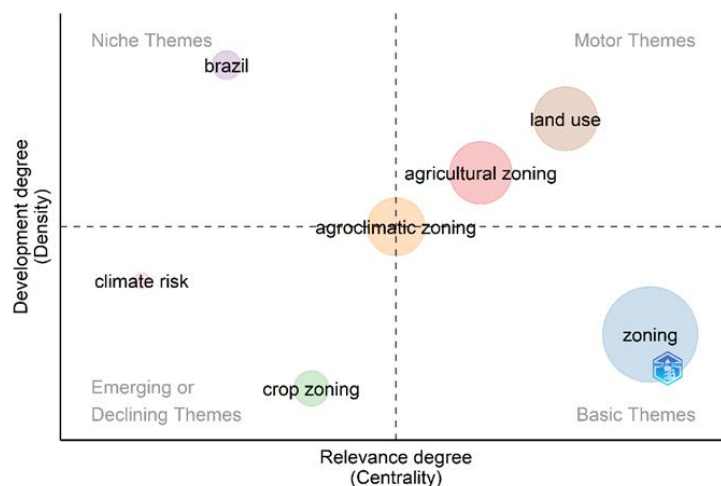
Figura 1. Producción Científica Anual asociada a la zonificación de cultivos y agronegocios.



Fuente: Elaboración propia, con base en las investigaciones reportadas en Scopus.

Resultado de este mismo análisis, se puede inferir que existen una serie de temáticas que se han convertido en motores de las investigaciones en los últimos 20 años, entre ellas: “uso del suelo”, “zonificación agrícola” y “zonificación agroclimática” (figura 2). En general, la “zonificación de cultivos” es un tema clave relacionado con el “riesgo climático,” una temática emergente de gran importancia para la planeación y el uso racional de los recursos territoriales. Esta práctica busca optimizar los requerimientos de un agrosistema productivo al considerar no solo las condiciones edafoclimáticas, sino también variables sociales y naturales que promuevan el desarrollo sostenible.

Figura 2. Mapa Temático de las investigaciones desarrolladas en los últimos 20 años.



Fuente: Elaboración propia.

Para Colombia se identificaron tres investigaciones relacionadas con ejercicios de zonificación que fueron reportadas en la base de datos de Scopus. García *et al.* (2014) proponen una metodología basada en índices agroclimáticos para el café; por otro lado, Jaimes *et al.* (2016) desarrollaron una zonificación para el cultivo de caucho desde el concepto de “zona de escape” para una enfermedad

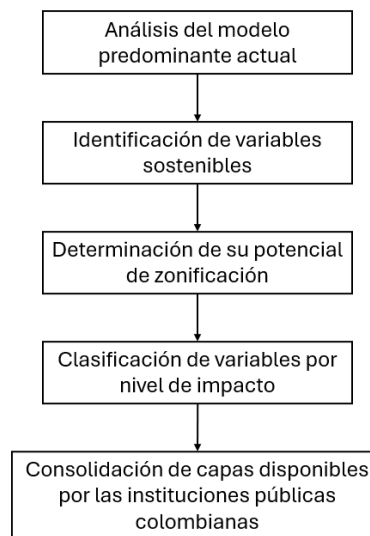
limitante del cultivo y finalmente, Martínez *et al.* (2016) proponen una metodología de zonificación agroclimática para un territorio muy específico en Colombia, el Caribe seco, la cual se centra en la relación de la aptitud del suelo y el balance hídrico. Ahora bien, existen ejercicios de zonificación relevantes como los desarrollados por Romero *et al.* (2004) aplicados en cacao y el desarrollado por Albarracín y Escobar (2019) el cual se desarrolló en el cultivo de café.

Finalmente, en Colombia se han venido desarrollando y consolidando datos geográficos, climatológicos, productivos, entre otros, que desde la visión de zonificación puede llegar a ser muy útiles, sin embargo, dicha información tiene dos características, la primera, no toda la información es pública y segundo, requiere un ejercicio de depuración para poder realizar ejercicios de zonificación efectivos. Por lo que existe la necesidad de desarrollar metodologías de zonificación basadas en el tipo y calidad de información que ha sido desarrollada en el país y que desde cualquier agronegocio o agro-cadena productiva puedan adoptar para su implementación; especialmente aquellas que cuentan con un alto número de pequeños productores, que normalmente, no cuentan con apoyo para la planeación prospectiva de sus cultivos; habiendo sido el objetivo de esta investigación desarrollar una metodología para la zonificación de cultivos en Colombia que incorpore criterios de sostenibilidad, utilizando información geográfica de libre acceso y dispuesta por las instituciones colombianas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Concebida como investigación-acción, término desarrollado por Lewis, quien la definió como “...buscaba algo útil, inmediato y aplicable para grupos sociales especialmente en desventaja” (Vargas, 2009, p. 162). En este sentido, en un primer momento se partió del análisis contextual de modelos de zonificación de cultivos existentes y su posterior evaluación de pertinencia a la luz de las categorías del enfoque de la sostenibilidad, como lo son las dimensiones ambiental (análisis del impacto ambiental del agronegocio y las medidas para su mitigación), social (análisis del impacto del agronegocio en la sociedad, abarcando tanto a las personas internas como externas a la empresa) y económica (se relaciona con la viabilidad económica del agronegocio, lo cual implica la implementación de buenas prácticas agrícolas y la optimización del rendimiento agronómico). Asimismo, se evaluó la pertinencia a la luz de algunos de los estándares de sostenibilidad que existen actualmente para la producción agrícola. De dicho análisis se identificaron las variables que caracterizan lo que es una producción agrícola sostenible; desde este punto, se determinó el potencial de zonificación, es decir, las variables que pueden ser georreferenciadas y visualizadas en una capa de un Sistema de Información Geográfica. Finalmente, estas variables zonificables se clasificaron según su nivel de impacto en el proceso de zonificación. Toda la información fue extraída de las instituciones públicas colombianas como lo son el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y el Departamento Nacional de Planeación.

Figura 3. Metodología para el desarrollo de un nuevo modelo de zonificación.



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Zonificación de cultivos

La gestión en la producción agroindustrial de un país puede mejorar su eficiencia y sostenibilidad a través de múltiples herramientas; dentro de las cuales la zonificación de cultivos, a través de diferentes técnicas relacionadas con los sistemas de información geográfica, es de las más destacadas y usadas no solo por el sector privado, sino como estrategia gubernamental que permita hacer del sector agroindustrial una fuente de riqueza para los productores agropecuarios (Departamento Nacional de Planeación, 2014a). El enfoque de la zonificación de cultivos en múltiples investigaciones ha tenido un especial énfasis en los aspectos climáticos y edáficos; sin embargo, la concepción de la ruralidad es mucho más compleja y requiere considerar ejes sociales, culturales, ambientales e incluso políticos, toda vez que hacen parte de la identidad de un territorio y son fundamentales para su planeación integral. Sin embargo, no se puede desconocer la complejidad de la ruralidad en Colombia, en donde se hace evidente la diversidad climática y de suelos debido a su ubicación geográfica y topografía en gran parte del país (Rojas *et al.*, 2018).

Por otra parte, la zonificación de cultivos enmarcada en la visión de sostenibilidad establece el uso de la tierra agropecuaria para un uso específico, generalmente asociada a una cadena productiva; en donde se determinen espacialmente sus límites, que sea aceptable socialmente en cada territorio, viable económicamente y que no ocasione impactos negativos en los ecosistemas en donde se establezca (Echeverri, 2014). Adicionalmente se debe tener en cuenta desde la dimensión económica las dinámicas propias del mercadeo agroindustrial, en donde Colombia se destaca como un importante productor y exportador de café, cacao, flores, banano y productos tropicales (Departamento Nacional de Planeación, 2014b). Por lo tanto, la zonificación de cultivos permite optimizar las áreas idóneas para la siembra e implementación de cultivos que favorecen la producción agroindustrial acorde con la demanda internacional. Por otra parte, las perspectivas a nivel mundial no son favorables en el contexto del cambio climático, y es justamente en este contexto en el que la zonificación de cultivos puede orientar a los productores rurales en la identificación de áreas con condiciones climáticas cambiantes y/o adecuadas para cada territorio.

Sin embargo, es necesario mencionar que América del Sur es una región que registra fuertes impactos asociados al cambio climático, que pueden acrecentar la desigualdad, la pobreza multidimensional, el crecimiento demográfico y en las zonas rurales generar fuertes impactos por la deforestación, que representa la pérdida de la biodiversidad y degradación de suelos; debido a que las desigualdades económicas, étnicas y sociales se ven exacerbadas por el clima (Castellanos *et al.*, 2022).

Por último, la zonificación de cultivos es fundamental en el contexto de la soberanía y seguridad alimentaria de un país, contribuyendo a la identificación de áreas óptimas de diversas especies autóctonas que mejoren y rescaten los saberes ancestrales de las culturas y comunidades rurales, contribuyendo a territorios productivos y sostenibles con una planeación precisa a través de esta importante técnica que se describe a continuación.

Modelo predominante de zonificación

Del análisis bibliométrico se puede evidenciar que el modelo de zonificación utilizado con mayor reiteración es el desarrollado por la FAO (1997); dicha metodología se centra en tres macro actividades:

Tabla 1. Macro actividades de la metodología de zonificación de la FAO.

Actividad	Descripción	Información que otorga y/o requiere
Inventario de uso de tierras	Refleja los usos actuales de la tierra y lo correspondiente a la nueva situación que se proyecta.	Tipos de utilización de tierras Características y requerimientos de adaptabilidad de los cultivos
Inventario de recursos de tierras	Se basa en la combinación de diferentes capas de información para definir celdas agroecológicas con una única combinación de clima, suelo y otros atributos relacionados.	Información geográfica: suelos y fisiografía, clima, uso actual y cobertura vegetal, límites administrativos.
Aptitud de tierras	Paralelo entre las características propias del suelo y las necesidades propias de los cultivos; proyección de la producción potencial y rendimientos.	Aptitud agroclimática y rendimientos agronómicos potenciales Evaluación de la aptitud agro-edáfica con base a limitaciones del suelo

Fuente: *Elaboración propia, con base en (FAO, 1997).*

Esta metodología se centra, principalmente, en parámetros productivos de cultivo y características agroclimáticas y de suelo de la región en estudio. Aunque vigente actualmente, se enfoca en parámetros asociados a la dimensión económica desde la óptica de la sostenibilidad, por lo que se sugiere involucrar diversos parámetros y criterios asociados a otras dimensiones de la sostenibilidad (ecológica y social) con el objeto de obtener una metodología de zonificación que responda a las necesidades del desarrollo sostenible y los ODS.

Interpretación de la sostenibilidad desde los agronegocios

La concepción del desarrollo sostenible ha evolucionado, adaptándose a los cambios de la humanidad y su entorno. Según Gutiérrez (2007), citando a Gonzalez (1997), Saldivar (1998), Godard (2002), Vivien (2005) y Smouts (2005), la sostenibilidad se ha transformado con el tiempo.

...una propuesta que integra tres dimensiones: la económica, la ecológica y la social, como resultado de un intenso esfuerzo por construir una visión integral sobre los problemas más acuciosos de la forma en que se piensa el desarrollo; recuperando la teoría del desarrollo desde la visión de la economía, hasta la etapa actual de construcción holística y multidisciplinaria del desarrollo sostenible.

Por otra parte, el mundo atraviesa por una crisis económica, ecológica y social que se recrudeció por la pandemia del Covid-19, exponiendo profundas y alarmantes grietas en todo el planeta (Mendoza *et al.*, 2021). En este contexto, la efectividad en el uso de los recursos por medio de la zonificación de cultivos, entre otras, contribuirá a mitigar los impactos asociados al cambio climático, disminuir las brechas de desigualdad entre las poblaciones del sector rural y urbano y sumarán esfuerzos para dinamizar las economías agrarias de países en vías de desarrollo.

En este contexto y para determinar cómo se puede aplicar la sostenibilidad desde la óptica de los agronegocios y en consecuencia, poder identificar los parámetros que debían ser tenidos en cuenta al momento de consolidar una metodología de zonificación de cultivos con criterios de sostenibilidad, se analizaron los estándares de sostenibilidad contemplados desde diferentes cadenas productivas como lo son (Bonsucro, 2022), (Roundtable on Sustainable Palm Oil , 2024), (Global G.A.P., 2023), (Rainforest Alliance, 2020), (International Sustainability and Carbon Certification , 2024) y (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005), con el objeto de determinar, de manera unificada, los factores que en general se deben tener en cuenta para hacer de un agronegocio sostenible. En la tabla 2 se consolida el resultado de dicho análisis.

Tabla 2. Interpretación de la sostenibilidad desde los agronegocios.

Aspecto de la sostenibilidad	Interpretación	Variables
Económico	Está relacionado con la viabilidad económica del cultivo, lo que se traduce en las buenas prácticas agrícolas y la optimización del rendimiento agronómico	Tipo de suelo y su conservación. Elementos y factores climáticos. Manejo integrado de plagas y enfermedades. Manejo de la fertilidad. Manejo hídrico del cultivo. Cumplimiento de los aspectos legales.
Ambiental	Análisis del impacto del agronegocio hacia el ambiente y su consecuente mitigación	Preservación de áreas de alto valor de conservación ¹ y altas reservas de carbono. Gestión de residuos. Prácticas de conservación de suelos. Manejo de la calidad y cantidad de agua.

¹ Las áreas de alto valor de conservación se han clasificado en seis tipos diferentes: 1. Por presencia de diversidad de especies, 2. Ecosistemas y mosaicos a escala de paisaje, 3. Ecosistemas y hábitats raros o amenazados, 4. Por servicios ecosistémicos, 5. Por necesidades de las comunidades y 6. Por valores culturales.

		Contaminación y gases de efecto invernadero.
Social	Análisis del impacto del agronegocio hacia la sociedad, entendida como las personas externas e internas del negocio.	Preservación de los derechos humanos. Evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo. Contribución al desarrollo local. Condiciones laborales adecuadas. Entorno de trabajo seguro.

Fuente: *Elaboración propia. Con base en* (Bonsucro, 2022), (Roundtable on Sustainable Palm Oil, 2024), (Global G.A.P., 2023), (Rainforest Alliance, 2020), (International Sustainability and Carbon Certification, 2024) y (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005).

Modelo de zonificación con criterios sostenibles

Clasificación de variables zonificables

Una vez identificadas las variables generales que son tenidas en cuenta al momento de establecer o considerar un agronegocio como “sostenible” es pertinente determinar que no todas estas variables pueden ser representadas en un sistema de información geográfica para efectos del ejercicio de zonificación; así las cosas, se realizó una clasificación de variables entre las “zonificables” cuyo rasgo común es información que puede ser representada en un SIG y las “no zonificables”, las cuales son variables que su aplicabilidad dependerá de los procedimientos y buenas prácticas que desde el agronegocio se implemente. En la tabla 3 se presentan las variables zonificables y no zonificables.

Tabla 3. *Aspectos de sostenibilidad relacionados con variables zonificables.*

Aspecto de la sostenibilidad	Variables	Zonificable
Económico	Tipo de suelo y su conservación	Si
	Elementos y factores climáticos	Si
	Manejo Integrado de plagas y enfermedades	No
	Manejo de la fertilidad	No
	Manejo hídrico del cultivo	No
	Cumplimiento de los aspectos legales	Parcialmente*
Ambiental	Preservación de áreas de alto valor de conservación y altas reservas de carbono	Si
	Preservación de la biodiversidad	Si
	Gestión de residuos	No
	Prácticas de conservación de los suelos	No
	Manejo de la calidad y cantidad de agua	No
	Contaminación y gases de efecto invernadero	No
Social	Preservación de los derechos humanos	No
	Evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo	Parcialmente*
	Contribución al desarrollo local	No
	Condiciones laborales adecuadas	No
	Entorno de trabajo seguro	No

Fuente: *Elaboración propia.*

Enfatizando en la variable de cumplimiento de aspectos legales, relacionada en el aspecto económico, se determina como parcialmente zonificable, toda vez que el cumplimiento legal se puede entender desde diferentes perspectivas como temas de tierras, o cumplimientos de responsabilidades con el estado, entre otros; en ese sentido, podría ser zonificable si desde lo legal existe alguna restricción de uso del suelo relacionado con los planes de ordenamiento territorial.

Por otro lado, respecto a la variable de evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo, la zonificación puede ser una herramienta para identificar áreas que puedan llegar a tener algún grado de afectación social, como territorios indígenas, zonas de reserva campesina, entre otros, pero no es posible determinar las compensaciones o evaluar el grado de posible conflicto existente, estas últimas dependerán de las dinámicas propias del agronegocio.

Impacto de las variables zonificables en el modelo de zonificación con criterios de sostenibilidad

Finalmente, en el ejercicio de identificación y selección de variables, se determinó que dentro del grupo de variables zonificables, existían algunas que son totalmente restrictivas o que delimitan las áreas con potencial productivo, otras variables que delimitan y a su vez clasifican la potencialidad productiva de un territorio, es decir, que identifican en donde se puede producir cierto modelo productivo y con qué nivel de potencial (alto, medio o bajo); y otras que no determinan la posibilidad o no de desarrollar un modelo productivo específico pero, por aspectos ambientales si requerirían de un esfuerzo adicional para llevar a cabo el agronegocio. En la siguiente tabla se muestra el nivel de impacto de las variables seleccionadas.

Tabla 4. Nivel de impacto de las Variables zonificables.

Aspecto de la sostenibilidad	Variables	Nivel de Impacto
Económico	Tipo de suelo y su conservación	Delimita y clasifica
	Elementos y factores climáticos	Delimita y clasifica
	Cumplimiento de los aspectos legales (Plan de Ordenamiento Territorial)	Delimita
Ambiental	Preservación de áreas de alto valor de conservación y altas reservas de carbono	Delimita
	Evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo (territorios indígenas y reservas campesinas)	Área de manejo especial
Social	Evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo (comunidades vulnerables)	Área de Manejo Especial
	Pobreza multidimensional y monetaria	Área de Manejo Especial

Fuente: *Elaboración propia.*

Se define los territorios indígenas y las reservas campesinas como áreas de manejo especial, toda vez que, si al realizar el ejercicio de zonificación se identifica que dentro de las zonas potenciales existen territorios bajo estas características, se podría generar un agronegocio cooperativo y/o asociativo con campesinos o pueblos indígenas, pero bajo parámetros sociales respetuosos e incluyentes. En esa misma lógica se debe analizar la presencia de comunidades vulnerables y áreas con presencia de alta pobreza.

Información geográfica disponible para las variables zonificables

Posterior al análisis de las diversas fuentes de información geográfica disponible en Colombia se consolidaron y seleccionaron las siguientes capas para la implementación del modelo de zonificación con criterios de sostenibilidad; esta selección parte del principio de existencia, es decir que, dentro de las capas disponibles en las instituciones son las que se ajustan a las variables que el modelo de zonificación ha determinado (*tabla 5*).

Tabla 5. Información geográfica seleccionada y fuente de información.

Criterio de sostenibilidad	Variables	Capa de Información Geográfica*	Fuente
Económico	Tipo de suelo y su conservación	Edafología	IGAC
	Elementos y factores climáticos	Zonificación climática (temperatura, clima y precipitación)	IDEAM
	Cumplimiento de los aspectos legales (Plan de Ordenamiento Territorial)	Uso del suelo	IGAC
Ambiental	Preservación de áreas de alto valor de conservación y altas reservas de carbono.	Áreas protegidas	Ministerio de Ambiente
Social	Evaluación y compensación de posibles conflictos sociales por uso del suelo (territorios indígenas y reservas campesinas)	Territorios indígenas	UPRA
	Pobreza multidimensional y monetaria	Índices de pobreza	DNP

Nota: *Esta información geográfica se selecciona desde las necesidades básicas del modelo de zonificación desarrollado y desde la existencia en las fuentes colombianas, sin embargo, no excluye la posibilidad de utilizar información adicional para robustecer la zonificación como pendientes, hotspot de biodiversidad, áreas con concesiones petroleras y/o mineras, zonas de riesgos, entre otras.

Fuente: Elaboración propia.

La *tabla 5* es el resultado de la propuesta realizada para la zonificación de cultivos desde la óptica de la sostenibilidad desde las tres dimensiones anteriormente analizadas.

DISCUSIÓN

La dimensión económica en la implementación de cultivos, tradicionalmente se ha enfocado en los principales aspectos técnicos como los factores y elementos climáticos, condiciones óptimas del suelo y el cumplimiento de la normatividad del territorio principalmente; en donde se establecería el agronegocio propuesto. Al incorporarse la dimensión ambiental (ecológica), es necesario priorizar la conservación de la biodiversidad, debido a que Colombia es uno de los países más biodiversos del planeta; contando con más de 25 000 especies diferentes de planta superiores, más de 5 000 especies de vertebrados y casi 5 000 especies de invertebrados, según el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia de Recursos Biológicos (Moreno *et al.* 2017).

Aunado a estas cifras, se debe recalcar la conservación y protección de los bosques primarios amazónicos, enmarcados en la normatividad de áreas protegidas de Colombia; que no son solo una necesidad importante de protección, sino una decisión urgente de aplicación, teniendo en cuenta las tasas de deforestación anuales debido a la presión que la frontera agrícola cede en múltiples territorios de Colombia. Es necesario rescatar los principales motores de deforestación del bosque amazónico que el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural menciona, iniciando por la praderización (a través del acaparamiento de tierras), los cultivos de uso ilícito, los incendios forestales, la ganadería extensiva y la extracción ilícita de minerales (Alzate, 2022). Por lo tanto, incluir como un criterio de sostenibilidad las áreas protegidas no es una opción en esta investigación, sino una necesidad imperante.

Por otra parte, pero no menos importante, es necesario mencionar que la presencia de pueblos indígenas, palenqueras y ancestrales en Colombia es tan relevante que adicional al lenguaje español, se hablan más de 50 lenguas oficiales que forman parte del patrimonio inmaterial, cultural y espiritual de Colombia (Ministerio de Cultura, 2019). Estas cifras representan la diversidad cultural y ancestral de múltiples comunidades que habitan la Colombia profunda y que por lo tanto al realizarse el ejercicio de zonificación de cultivos deben ser involucradas como parte de los territorios indígenas, palenqueros y ancestrales (UNESCO, 2021). Por último, a pesar de destacar a Colombia como una potencia mundial de la vida debido a su biodiversidad y multiculturalidad, es necesario recalcar que también lidera el ranking de los países más desiguales de Latinoamérica y el mundo (Banco Mundial, 2024). En este contexto incluir dentro de la dimensión social los indicadores de pobreza monetaria y multidimensional es un acierto contundente, debido a que gran parte de la pobreza del país se ve reflejada en la ruralidad colombiana (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2022).

Aunque no todas las variables consideradas en esta investigación son zonificables en un sistema de información geográfica, esta limitación no invalida los resultados ni su contribución. Las variables no zonificables, aunque no representadas directamente en mapas, aportan un contexto crucial para la sostenibilidad del agronegocio, dado que reflejan dinámicas y prácticas que influyen directamente en los ODS en los ámbitos social, ecológico y económico. Este enfoque complementario responde a la complejidad de las dimensiones de la sostenibilidad y trasciende las metodologías tradicionales centradas únicamente en datos geoespaciales o productivos.

En ese sentido, la metodología propuesta rompe paradigmas históricos de zonificación, como el enfoque de la FAO (1997), centrado exclusivamente en variables de suelo y productividad, o estudios más recientes como los de Ali *et al.* (2022) y Sivasankari *et al.* (2020), que priorizan aspectos meteorológicos o productivos, o investigaciones desarrolladas por Xue-Yuan *et al.*, (2018). Al integrar criterios ecológicos, económicos y sociales, esta propuesta presenta una visión más holística y contextualizada, alineada con las necesidades actuales de sostenibilidad. Por tanto, el valor de esta investigación radica no solo en los resultados representados en el SIG, sino en su capacidad para articular variables complementarias que, aunque no sean geoespaciales, son fundamentales para la toma de decisiones en la agricultura sostenible.

CONCLUSIONES

Con la consolidación de esta metodología se otorga una herramienta útil y efectiva para la toma de decisiones por parte de los actores de las cadenas productivas; con una capacitación adecuada en el uso de los sistemas informacionales, existe la posibilidad que de manera autónoma se logre generar una proyección de zonificación útil para la adecuada planeación estratégicas de la producción del país.

A diferencia de investigaciones que emplean software de licencia paga, esta investigación reafirma la idea que el uso de información geográfica y de software de libre acceso facilita la democratización de los datos necesarios para llevar a cabo la zonificación de cultivos en economías en vía de desarrollo como la colombiana; esta idea se refuerza en aquellas cadenas productivas que por falta de institucionalidad no han desarrollado una estrategia macro que permita orientar los esfuerzos de fortalecimiento y crecimiento de las áreas cultivadas.

Se proyecta un alto potencial en la aplicación de esta metodología a nivel nacional en Colombia; esta beneficiará las cadenas productivas que históricamente no han sido el centro de los procesos investigativos y en las que particularmente se concentra un alto número de pequeños agricultores y económicas campesinas. La disponibilidad de información geográfica de libre acceso y la implementación de esta metodología en políticas agrícolas y planes de desarrollo rural pueden mejorar significativamente la productividad agrícola, reducir los riesgos ambientales y promover un uso más eficiente de los recursos naturales.

Aunque esta metodología representa un avance significativo en la planificación de la agricultura sostenible en Colombia, es importante reconocer que depende significativamente de la liberación de información actualizada por parte de las instituciones públicas y privadas que la consolidan, así mismo, se debe reconocer que con la volatilidad actual en el contexto ambiental del país, especialmente en lo referido a lo socio-políticos, es probable que las regulaciones y leyes cambien constantemente, lo que generaría una probable desactualización de la información de libre acceso de manera prematura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracin, N. y Escobar, O. (2019). Zonificación para la producción agroforestal del café (*Coffea arabica* L.) en el municipio de Policarpa, departamento de Nariño - Colombia. En F. Díaz, L. A. Carvbajalln y O. F. Cuadro (Ed.), *Saberes emergentes para la cuarta revolución industrial* (pp. 39-58). Corporación Universitaria del Huila, Corhuila. <https://acortar.link/FgHP99>
- Ali, A., Rondelli, V., Martelli, R., Falsone, G., Lupia, F., & Barbanti, L. (2022). Management Zones Delineation through Clustering Techniques Based on Soils Traits, NDVI Data, and Multiple Year Crop Yields. *Agriculture*, 12(2), e231. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020231>
- Alzate, L. (2022). *Análisis de la deforestación en Colombia desde la Curva Ambiental de Kuznets* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://acortar.link/Awpl10>
- Banco Mundial. (2022). *Crecimiento de la población (%) anual*. <https://acortar.link/vKoUMk>
- Banco Mundial. (2024). *Tendencias Recientes de Pobreza y Desigualdad América Latina y el Caribe. Octubre 2024*. <https://acortar.link/oUz30o>
- Bavish, S., Geethalakshmi, V., Kokilavani, S., Gowtham, R., Bhuvaneswari, K., Ramanathan, S. P. B. Sivasankari, B., Kalpana, M., Vasanthi, R., M., Ilamaran, M., R. Pangayar, R., Selvi, R. & Sujatha, R. (2020). Delineation of Efficient Cropping Zone for Onion over Tamil Nadu. *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews. Journal of Agrometeorology*, 22(SI), 39–42. <https://acortar.link/gWzPv9>
- Bonsucro. (2022). *Production Standard*. Bonsucro. <https://bonsucro.com/production-standard>

- Castellanos, E., Lemos, M., Astigarraga, L., Chacon, N., Cuvi, N., Huggel, C., Miranda, L., Moncassim Vale, M., Ometto, J., Peri, P., Postigo, J., Ramajo, L., Roco, L., & Rusticucci, M. (2022). Central and South America. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1835-1927). Cambridge University Press. <https://acortar.link/4YuN9j>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2022). *Informe de pobreza monetaria y multidimensional en Colombia 2022*. <https://acortar.link/8UirHq>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014a). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. <https://acortar.link/ImPKOP>
- Departamento Nacional de Planeación. (2014b). *Marco conceptual de la Misión para la Transformación del Campo*. 46. <https://acortar.link/qu5cbQ>
- Echeverri, R. (2014). *Estructura del plan de ordenamiento social de la propiedad rural*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. Colombia. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/36439>
- García L., J. C., Posada-Suárez, H. & Läderach, P. (2014). Recommendations for the Regionalizing of Coffee Cultivation in Colombia: A Methodological Proposal Based on Agro-Climatic Indices. *Plos ONE*, 9(12), e113510. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0113510>
- García, J., Romero, M., García, J. y Astrid, L. (2004). *Caracterización y zonificación de áreas potenciales para el cultivo del cacao en Colombia: dirección de cadenas productivas cadena de cacao - chocolate*. Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia. <https://acortar.link/GANUL3>
- Global G.A.P. (2023). *Resumen de la norma de Aseguramiento Integrado de Finca (IFA) V6*. <https://acortar.link/4oBIRo>
- Gutiérrez, E. (2007). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario. *Trayectorias*, 9(25), 45-60. <https://acortar.link/qLPJM7>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Sections. In Core Writing Team, H. Lee & J. Romero (eds.), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (35-115). Switzerland. <https://acortar.link/GmZ3JW>
- International Sustainability and Carbon Certification. (2024). *ISCC System Documents*. <https://acortar.link/rvOmYD>
- Jaimes, Y., Rojas, J., Cilas, C., & Furtado, E. L. (2016). Suitable climate for rubber trees affected by the South American Leaf Blight (SALB): Example for identification of escape zones in the Colombian middle Magdalena. *Crop Protection*, 81, 99–114. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2015.12.016>
- Liu, L., Xiao, X., Qin, Y., Wang, J., Xu, X., Hu, Y., & Qiao, Z. (2020). Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111624. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111624>
- Martínez M, F. E., Deantonio F, L. Y., Araujo C, G. A., Rojas, E. O., Gómez-Latorre, D. A., Alzate, D. F., Ortiz, L. A., Aguilera G, E., Boshell-Villamarin, J. F., Martínez M, F. E., Deantonio F, L. Y., Araujo C, G. A., Rojas, E. O., Gómez-Latorre, D. A., Alzate, D. F., Ortiz, L. A., Aguilera G, E. & Boshell-Villamarin,

- J. F. (2016). Agroclimatic zoning methodology for agricultural production systems in dry Caribbean region of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(3), 374-384. <https://doi.org/n8hm>
- Mendoza Morales, L. F., Escobar Pardo, O. F., Albarracín Bohorquez, N., y Mancera Rodríguez, L. P. (2021). La Pandemia COVID-19 como factor renovador del Modelo de Desarrollo Rural en Colombia. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 19(38), 1-26. <https://doi.org/10.15359/prne.19-38.1>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2005). *Sello Ambiental Colombiano*. <https://acortar.link/bQ6AD1>
- Ministerio de Cultura. (2019). *Lenguas nativas y diversidad cultural en Colombia*. <https://acortar.link/akp8Ut>
- Moreno, L. A., Andrade, G. I., y Ruíz-Contreras, L. F. (2017). *Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2016>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1997). *Zonificación agro-ecológica. Guía general*. <http://www.fao.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm>
- Rainforest Alliance. (2020). *2020 Certification Program*. Rainforest Alliance. <https://acortar.link/fBXWPs>
- Rojas, S., Muñoz, T. y Albarracín, N. (2018). *Ruralidad en Colombia* (1ra ed.). Universidad Central. Colombia.
- Roundtable on Sustainable Palm Oil. (2014). *2024 Standards Implementation*. <https://acortar.link/JmXoq7>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2021). *Informe sobre el patrimonio cultural inmaterial en Colombia*. <https://acortar.link/C9Pc6B>
- Vargas, Z. R. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. *Educación*, 33(1), 155–165. <https://acortar.link/DlcKIL>
- Xue-Yyuan, H., Chun-yi, W., Dong-sheng, D., Kui-dong, L., & Xie Bai-cheng. (2018). Climatic risk zoning of double cropping super rice cultivation in Hhunan province. *Journal of Tropical Meteorology*, 24(2), 199–208. <https://acortar.link/OrRiB5>



MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Evaluación de bacterias del género *Bacillus* en la calidad del compost, a partir de residuos de hojarasca.

*Evaluation of bacteria of the genus *Bacillus* in the quality of compost, from leaf litter waste.*

*Avaliação de bactérias do gênero *Bacillus* na qualidade de composto, a partir de resíduos de seravilha.*

Aron Esneyder Polo Ganchozo

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador

aron.polo@espam.edu.ec

Jessica Maribell Tuqueres Tacuri,
María Fernanda Pincay Cantos

Artículo científico

Enviado: 22/8/2024

Aprobado: 26/3/2025

Publicado: 29/3/2025

RESUMEN

En esta investigación se evaluó la incidencia del género *Bacillus* en la calidad del compost de hojarasca. Para tal efecto, se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas del material experimental, se seleccionó la materia orgánica y se reactivaron las bacterias. Se emplearon cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno. Se efectuaron análisis de madurez del compost mediante la determinación de la humedad; asimismo, se aplicó la prueba de fitotoxicidad a semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) consideradas para el estudio. Los resultados muestran que, la relación entre los parámetros analizados (temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica y porcentaje de germinación) y los tratamientos, presentan una interacción importante entre la calidad del compost; además, el porcentaje de germinación, tiempo de germinación y longitud de la raíz, evidencian que las bacterias utilizadas en la investigación no tuvieron mayor impacto en el desarrollo de estas variables, ya que ninguno de los factores o interacciones tuvo un efecto estadístico significativo. Se concluye que, las bacterias juegan un rol esencial en el proceso de maduración del compost, descomponiendo la materia orgánica en nutrientes más simples y estables para la formación de humus, componente clave para la fertilidad del suelo y el desarrollo de las plantas.

Palabras clave: acción enzimática, fitotoxicidad, germinación, sustancias húmicas

ABSTRACT

In this research, bacteria of the *Bacillus* genus and their impact on the quality of the compost were evaluated. For this purpose, the physicochemical properties of the experimental material were characterized, the organic matter was selected and the bacteria were reactivated. 4 treatments with 4 repetitions each were used. Compost maturity analyzes were carried out by determining humidity; Likewise, the phytotoxicity test was applied to lettuce seeds (*Lactuca sativa*) considered for the study. The results show that the relationship between the analyzed parameters (temperature, humidity, pH, electrical conductivity and germination percentage) and the treatments present an important interaction between the quality of the compost; Furthermore, the germination percentage, germination time and root length show that the bacteria used in the research did not have a major impact on the development of these variables, since none of the factors or interactions had a

significant statistical effect. It is concluded that bacteria play an essential role in the compost maturation process, decomposing organic matter into simpler and more stable nutrients for the formation of humus, a key component for soil fertility and plant development.

Keywords: enzymatic action, germination, humic substances, phytotoxicity

RESUMO

Nesta investigação foram avaliadas bactérias do género *Bacillus* e o seu impacto na qualidade do composto. Para tal, foram caracterizadas as propriedades físico-químicas do material experimental, selecionada a matéria orgânica e reativadas as bactérias. Foram utilizados 4 tratamentos com 4 repetições cada. As análises de maturidade do composto foram realizadas através da determinação da humidade; Da mesma forma, o teste de fitotoxicidade foi aplicado às sementes de alface (*Lactuca sativa*) consideradas para o estudo. Os resultados mostram que a relação entre os parâmetros analisados (temperatura, humidade, pH, condutividade elétrica e percentagem de germinação) e os tratamentos apresentam uma importante interação entre a qualidade do composto; Além disso, a percentagem de germinação, o tempo de germinação e o comprimento da raiz mostram que as bactérias utilizadas na investigação não tiveram grande impacto no desenvolvimento destas variáveis, uma vez que nenhum dos fatores ou interações teve um efeito estatístico significativo. Conclui-se que as bactérias desempenham um papel essencial no processo de maturação do composto, decompondo a matéria orgânica em nutrientes mais simples e estáveis para a formação de húmus, componente fundamental para a fertilidade do solo e o desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: ação enzimática, fitotoxicidade, germinação, substâncias húmicas

INTRODUCCIÓN

La quema de residuos de hojarascas, a fin de evitar su acumulación posterior a la cosecha, es una práctica habitual en las zonas rurales (Stefan, 2018). En contraste, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2020) resalta que, la quema de estos residuos tiene impactos relevantes sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad de las estructuras del paisaje y las distintas respuestas de la vegetación, por ello estos impactos van a depender de la intensidad, frecuencia y duración de la quema; sin embargo, entre los efectos más conocidos resaltan: pérdida de animales, pérdida de vegetación, degradación y erosión del suelo, contaminación del agua, entre otros (González, 2018).

La quema de residuos, aunque a menudo subestimada, genera impactos ambientales significativos a largo plazo. Al alterar la biodiversidad, los ciclos de nutrientes y los procesos ecológicos, esta práctica puede tener consecuencias duraderas, especialmente en ecosistemas sensibles (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2017). La frecuencia, intensidad y duración de las quemas son factores clave que determinan la magnitud de estos impactos. Si bien puede parecer una solución rápida para la gestión de residuos, es fundamental evaluar cuidadosamente sus consecuencias ecológicas a largo plazo (Valdés *et al.*, 2019).

Para Vargas *et al.* (2019) el desarrollo acelerado de la sociedad a nivel mundial ha ocasionado el incremento de residuos sólidos, entre los que destacan residuos orgánicos derivados de la actividad comercial, la industrias y los hogares. Según Musa *et al.* (2020) estos residuos están compuestos por restos alimenticios como: frutos, verduras, cáscaras; además de residuos de jardines, entre otros, cuya disposición final incorrecta genera gases de efecto invernadero que afectan directamente la calidad del aire. En conjunto estos desechos se componen por celulosa y almidón, por lo que necesitan de la acción enzimática de la amilasa y celulasa para su descomposición en moléculas

simples (Al Dhabhi *et al.*, 2019). De acuerdo a Ballesteros *et al.* (2017) el género *Bacillus* comprende un grupo de especies bacterianas filogenéticas y fenotípicas, que se caracterizan por ser Gram positivas, de forma bacilar, aerobias estrictas o anaerobias facultativas, que en condiciones estresantes forman una endospora central que deforma la estructura de la célula (Pedraza *et al.*, 2019); resistente a la desecación, a los desinfectantes y a las altas temperaturas, que les permiten ser usadas durante la fase termófila del compostaje (Vásquez y Millones, 2023).

Reyes *et al.* (2018) exponen que la aplicación de celulasa en el compostaje por medio de las bacterias, contribuye en la mejora de la degradación de la celulosa; en donde la producción de enzimas está controlada por los microorganismos, por lo que se deben considerar análisis de pH, temperatura, período de incubación, fuentes de carbono y nitrógeno, a fin de mejorar la productividad de las enzimas (Akintola *et al.*, 2021). Las bacterias del género *Bacillus* desempeñan un papel crucial en el compostaje, especialmente aquellas capaces de degradar almidón. Estas bacterias poseen enzimas que rompen los enlaces del almidón, convirtiéndolo en compuestos más simples que pueden ser utilizados por otros microorganismos. Si bien los hongos son conocidos por su eficiencia en la activación del compost, las bacterias, particularmente *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Cellulomonas*, han ganado interés debido a su rápido crecimiento y capacidad de degradar una amplia variedad de sustratos (Ni'matuzahroh *et al.*, 2023).

Como ya se ha mencionado, las bacterias del género *Bacillus* desempeñan un papel fundamental en el proceso de compostaje, especialmente en la degradación de la celulosa, un componente principal de la materia orgánica. Estas bacterias contribuyen a la formación de sustancias húmicas, enriqueciendo el compost y mejorando su calidad como fertilizante (Reyes *et al.*, 2018). Este estudio, se centra en analizar la influencia de *Bacillus wiedmannii* y *Bacillus albus* en la calidad del compost elaborado a partir de residuos de hojarasca de caoba y cítricos, con el objetivo de promover prácticas agrícolas más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

En otras palabras, la utilización de residuos de hojarascas para la producción de compost es una práctica sostenible que contribuye a la gestión de desechos y a la mejora de la calidad del suelo; en este contexto, la incorporación de bacterias específicas, como *Bacillus wiedmannii*, ha demostrado ser beneficiosa debido a su capacidad para descomponer materia orgánica de manera eficiente (Ballesteros *et al.*, 2017). *B. wiedmannii* es conocido por su potencial en la biodegradación y mineralización de residuos orgánicos, lo que facilita su transformación en un compost de alta calidad; su actividad enzimática robusta permite la descomposición de compuestos lignocelulósicos complejos, comunes en los desechos de origen forestal, mejorando así la tasa de degradación y la estabilidad del compost final (Ni'matuzahroh *et al.*, 2023).

Por otro lado, *Bacillus albus* es otra bacteria prometedora en el proceso de compostaje, pues este microorganismo se destaca por su capacidad para producir metabolitos secundarios y enzimas que favorecen la descomposición de la materia orgánica, incrementando la eficiencia del compostaje. *B. albus* también contribuye a la supresión de patógenos y al equilibrio microbiano del compost, lo que resulta en un producto final más seguro y saludable para el uso agrícola (Villareal *et al.*, 2018). La investigación en la aplicación de este tipo de bacteria en el compostaje de residuos orgánicos busca optimizar las condiciones de descomposición y mejorar la calidad del compost, promoviendo así prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Morocho y Leiva, 2019).

En consecuencia, el estudio de *B. wiedmannii* y *B. albus* en el compostaje de residuos de hojarascas es esencial para determinar cuál de estas bacterias, o su combinación, ofrece los mejores resultados en términos de calidad del compost. Evaluar su eficacia en la descomposición de materiales lignocelulósicos, su capacidad para suprimir patógenos y su impacto en las propiedades físicas y químicas del compost es fundamental para optimizar el proceso de compostaje (Vásquez, 2022).

Estos estudios no solo contribuyen a la ciencia del compostaje, sino que también tienen implicaciones prácticas en la gestión de residuos orgánicos y la producción de enmiendas orgánicas de alta calidad, beneficiando así tanto al medio ambiente como a la agricultura sostenible (Castillo, 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio, llevado a cabo en la Unidad de Investigación y Vinculación (UDIV) del Bosque Politécnico de la ESPAM MFL, tuvo como objetivo principal evaluar el potencial de las bacterias del género *Bacillus* en los procesos de descomposición de la materia orgánica en compost. Se analiza el efecto de la inoculación con especies de *Bacillus* sobre parámetros como la pérdida de masa, la temperatura, el pH y la concentración de nutrientes en el compost.

Para este trabajo, se consideró un diseño de bloques bifactorial, *tabla 1*:

Tabla 1. *Diseño experimental.*

Nomenclatura	Tratamiento	Repeticiones	Estiércol (kg)	Hojarasca (kg)
T1	A1 (hojarasca caoba)	4	7,5	35
	B1 (<i>Bacillus wiedmanii</i>)			
T2	A1 (hojarasca caoba)	4		
	B2 (<i>Bacillus albus</i>)			
T3	A2 (hojarasca cítricas)	4		
	B1 (<i>Bacillus wiedmanii</i>)			
T4	A2 (hojarasca cítricas)	4		
	B2 (<i>Bacillus albus</i>)			
Total		16	120	560

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Caracterización de las propiedades físicas y químicas de la hojarasca

Se inició con la revisión bibliográfica acerca de las características más relevantes de las hojarasca caoba y cítricos; pues, como lo menciona (Guirao, 2015) este procedimiento es fundamental en la primera etapa de toda investigación, ya que permite la identificación de lo que se sabe y de lo que se desea conocer sobre el objeto de estudio. Para la caracterización física y química de la biomasa se tomó una muestra representativa de las hojas de caoba y hojas de cítricos a las cuales se determinó la densidad aparente, el pH, la conductividad eléctrica (C.E.) y los porcentajes de P, K, Ca y Mg (Herrera-Rengifo *et al.*, 2020), según se muestra en la *tabla 2*.

Tabla 2. *Parámetros físicos.*

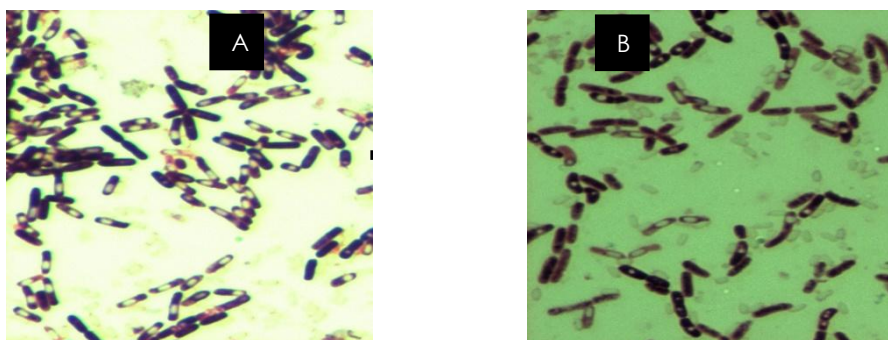
Parámetros físicos	Métodos	Materiales	Fuente
pH	Electrométrico	pH-metro	(Herrera-Rengifo <i>et al.</i> , 2020)
Conductividad eléctrica	Electrométrico	Conductímetro	
Calcio	Colorimetría	Bureta	
Magnesio	Colorimetría	Bureta	
Fósforo	Colorimetría	Espectrofotómetro	
Potasio	Colorimetría	Espectrofotómetro	
Densidad	Picnómetro	Picnómetro	

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Reactivación de las bacterias del género *Bacillus*.

Se consideraron bacterias del género *Bacillus*, presentes en el banco de muestras de la ESPAM MFL, obtenidas a partir de la expedición realizada a la Antártida en el año 2014 y conservadas a una temperatura de -20°C. Cabe indicar que el uso de las bacterias *B. albus* y *B. wiedmannii*, resultó por referencia a lo expuesto por (Morocho y Leiva, 2019), quienes alegan que el uso de estas bacterias mejora la calidad del compost elaborado a partir de residuos agrícolas. Las bacterias se reactivaron en medio líquido (Agua peptona) 40 ml y 10 ml de melaza por 48 horas a 37°C, para luego ser diluido en 5 L de melaza y 10 L de agua, sellando herméticamente el recipiente por cinco días para su posterior aplicación a las unidades experimentales (Torres, 2016).

Figura 1. Morfología de Género *Bacillus*: A. *Bacillus wiedmannii*, B. *Bacillus albus*.



Fuente: Elaborada por los autores.

Para la elaboración del compost se utilizaron residuos de hojarasca de caoba y cítricos, los cuales fueron triturados mecánicamente hasta obtener partículas de aproximadamente 1 cm. Estos materiales se mezclaron en una proporción de 7:3 con estiércol, proporcionando así una fuente de carbono y nitrógeno para los microorganismos del compostaje (tabla 1). Se llenaron 16 tinas con los residuos correspondientes a las repeticiones propuestas, luego se mezcló hasta que quedó homogénea y se procedió a regarlo una vez por semana. Esta mezcla se realizó una vez a la semana, adaptada a la técnica de sistemas abiertos o pilas, de acuerdo a la metodología sugerida por Román *et al.* (2013) en el Manual de Compostaje del Agricultor, por medio del siguiente proceso:

Se limpió el área donde se ubicaron tinas de composteras, asegurando la eliminación de cualquier elemento que pudiera afectar el proceso de compostaje. Se utilizaron tinas de 70 cm de diámetro por 50 cm de alto. Los sustratos fueron homogenizados en un lugar aparte para luego ser depositados en las tinas, los cuales fueron amontonados y tuvieron un volumen de 42,5 kg por cada tratamiento, dando una altura de 1m cada pila.

Se aplicaron bacterias del género *Bacillus*, 2 L durante la primera semana; para ello, se inocularon las bacterias y se mezclaron con agua, luego esta mezcla se agregó a la pila del compost. Posteriormente, se revolvió bien para distribuir las bacterias de modo uniforme, lo cual también ayuda a oxigenar la pila, lo que es esencial para los microorganismos aeróbicos.

Se procedió a cubrir las tinas con plástico negro con la finalidad de incrementar una mayor capacidad de calor y por ende un mayor proceso de descomposición de la materia orgánica. El volteo de cada pila se lo realizó manualmente con una frecuencia semanal durante tres meses; este tiene como objetivo ayudar que el metabolismo aeróbico cumpla con el proceso de forma homogénea, permitiendo una temperatura uniforme (Orozco *et al.*, 2019).

Análisis de la madurez del compost por medio del establecimiento de parámetros fisicoquímicos.

Consistió en tomar una muestra de 5 kg del compost para ser evaluado. Asimismo, se determinaron otros parámetros como: temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica y porcentaje de germinación. Otros análisis realizados se describen a continuación:

Temperatura: Se midió por medio de un termómetro manual (32 a 42 °C), en el horario de 13:00 los lunes, miércoles y viernes durante dos semanas. Esta práctica se efectuó con el fin de establecer la variación de temperatura desde el primer día, tal como lo establece Tovar (2013).

Humedad: Se inició con la toma del peso inicial del recipiente vacío (previamente tarado), luego se pesó aproximadamente 1 g de muestra por cada tratamiento y se registró el peso del recipiente junto con la muestra; seguidamente se colocaron en una estufa de aire a 105 °C por 12 h. Una vez transcurrido este tiempo, se llevaron las muestras al desecador, se dejaron enfriar y se volvió a tomar el peso de los recipientes junto a las muestras secas (Aulestia, 2022). Los valores obtenidos se calcularon por diferencia de peso, tomando en consideración la siguiente ecuación establecida por este mismo autor:

$$\%Humedad = \frac{(Pr + Prmh) - (Pr + Prms)}{Prmh - Pr} \times 100 [1]$$

Donde:

Prms: Peso en gramos (g) del recipiente junto a la muestra seca.

Prmh: Peso en gramos (g) del recipiente junto a la muestra húmeda.

Pr: Peso en gramos (g) del recipiente vacío.

El **pH** fue evaluado por medio de la potenciometría en agua relación 1:2, haciendo uso de un pHmetro marca Hanna Instruments modelo pH211; tomando como referencia lo que indican Rivas y Silva (2020). Para esta práctica se colocó una pequeña cantidad de la muestra de compost (aproximadamente una taza) en un recipiente limpio y se añadió una cantidad igual de agua destilada al compost (una taza de agua por cada dos de compost). Se mezcló bien la solución con una espátula y se dejó en reposo durante 15 minutos, a fin de que los componentes del compost se disolvieran en el agua. Se sumergió el electrodo del pHmetro en la solución previamente mezclada y se dio paso a la lectura del resultado.

La **conductividad eléctrica** se evaluó por medio del método de conductimetría, utilizando un conductímetro de marca Hanna Instruments modelo DiST 3 y siguiendo el procedimiento que refieren Rivas y Silva (2020) en su trabajo acerca de la calidad fisicoquímica de tres compostajes.

Prueba de fitotoxicidad en semillas de lechuga.

Se aplicó la prueba de fitotoxicidad por medio de la evaluación de la germinación y el crecimiento del cultivo en estudio, haciendo uso de la metodología establecida por García *et al.* (2014), en la que se efectuó el siguiente procedimiento:

Se emplearon recipientes de vidrio de 15 cm de altura y 8 cm de ancho, se añadieron de forma independiente 250 g de suelo y 250 g de compost. Tanto el suelo como el compost fueron previamente tamizados con un diámetro aproximado de 10 mm y humedecidos con agua potable hasta alcanzar la humedad óptima. El test se realizó por duplicado para cada caso. Las semillas de lechuga se colocaron sobre discos de algodón de 5,7 cm de diámetro, humedecidos con agua destilada. Se colocaron en los sistemas de forma tal, que no exista contacto directo entre el disco y el sustrato, ya fuera suelo o compost según el caso en estudio.

Los recipientes se taparon y se dejó un espacio de 1 cm entre la tapa y la boca del recipiente; colocándose en un lugar seco y claro, a temperatura ambiente durante siete días (fotoperiodo de 14 horas luz y 10 horas oscuridad). Durante ese período se observó cómo ocurría el proceso de germinación en todos los tratamientos. Las plantas crecidas se observaron detenidamente para determinar si existían problemas con su desarrollo; además, se evidenció si existía necrosis o clorosis en las hojas. Las plantas que crecieron se cortaron exactamente entre la raíz y el tallo, para medir su longitud y se compararon entre todos los tratamientos.

Valoración de la calidad del compost.

Se la realizó a través de la determinación de su madurez, tomando en cuenta lo dispuesto por la normativa chilena NCh 2880 para cumplir con los requisitos de madurez en un compost; la cual indica lo siguiente: La relación C/N debe ser menor o igual a 30; caso contrario el compost se considera inmaduro y no se le aplica otro ensayo. Se deben presentar niveles dentro de los rangos establecidos para compost maduro en dos ensayos elegidos aleatoriamente, entre los del grupo 1 y del grupo 2.

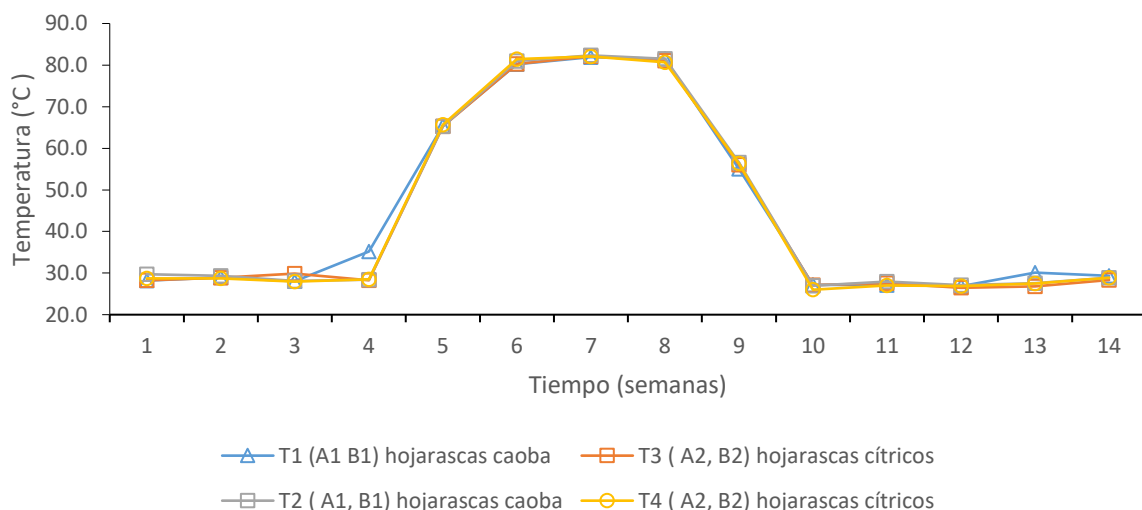
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la madurez del compost por medio del establecimiento de parámetros fisicoquímicos.

Temperatura

En cuanto a los datos de la evolución de la temperatura en el periodo de estudio, se evidenciaron varios patrones similares en todos los tratamientos (figura 2).

Figura 2. Variación de la temperatura en los tratamientos, durante el periodo de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

Como se observa en la figura 2, el T1 presentó un valor inicial de 28.19 °C manteniéndose constante hasta la semana cuatro, a partir de este periodo la temperatura alcanzó un aumento notable de 65.40 °C en la semana cinco, seguido por un aumento a 80.21 en la semana seis y un máximo de 81.92 °C en la semana siete. No obstante, después de ese incremento, los valores descienden drásticamente a 27.15 en la semana 10, estabilizándose en un rango de 29.35 en la semana 14. Por su parte, el T2 inicia en 29.72 °C, presentando una leve disminución a 28.13 °C en la semana tres;

similar al T1 experimenta un aumento significativo en la semana cinco de 65.28 °C y alcanza 80.96 °C en la semana seis, llegando a 82.33 en la semana siete.

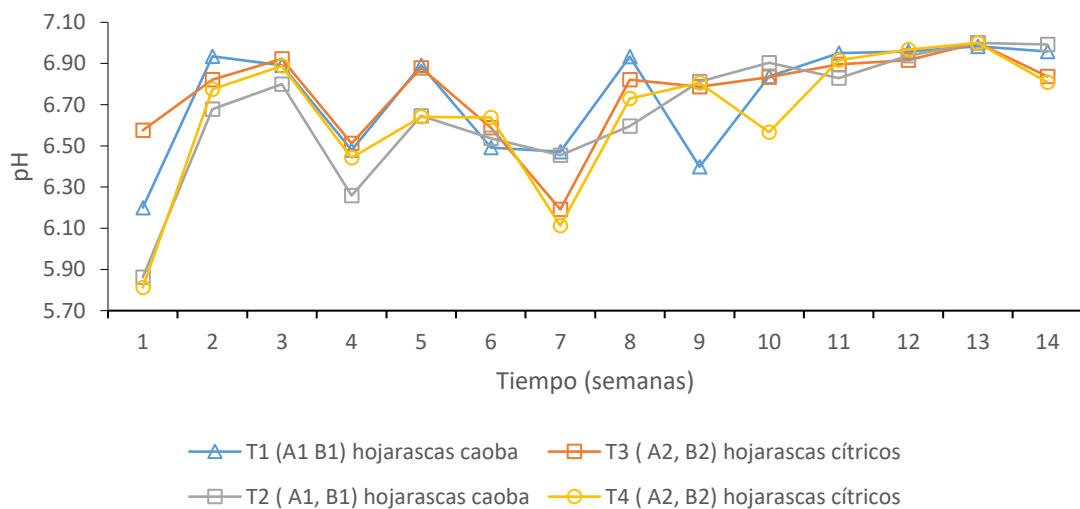
Después de estos incrementos, la temperatura disminuye a 26.97 °C en la semana 10 y finaliza en 28.91 °C; mientras que, el T3 comienza con 28.27 °C y presentando un ligero aumento en las primeras semanas, al igual que los otros tratamientos alcanza 65.28 °C en la semana cinco y 82.13 °C en la semana siete. Sin embargo, la temperatura desciende a 26.46 °C en la semana 12, hasta terminar en 28.33 °C. Finalmente, el T4 comienza en 28.75 °C y muestra una disminución gradual, alcanza 65.64 °C en la semana cinco y un máximo de 82.08 °C en la semana siete, después disminuye notablemente a 26.00 °C en la semana 10 y finaliza en 28.84 °C.

Fallas (2016) expone que, en el caso específico de mantener temperaturas similares en el compost, esta uniformidad sugiere que los tratamientos fueron sometidos a condiciones comparables a lo largo del estudio lo cual es crucial para minimizar variables externas que podrían sesgar los resultados y afectar la interpretación de los datos. Al contrario, Álvarez *et al.* (2021) afirman que es importante destacar que la presencia de picos inusuales en la temperatura de ciertos tratamientos, en momentos específicos del experimento; merece una atención especial, pues dichos picos indican la presencia de condiciones atípicas que están afectando la temperatura del compost en periodos particulares.

pH

En correspondencia al pH analizado (figura 3) durante el periodo de estudio, este presentaron variaciones significativas en cada uno de los tratamientos, como se observa a continuación:

Figura 3. Variación del pH en los tratamientos, durante el periodo de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

En la figura 3, sobre la variación del pH durante el periodo de estudio, se registraron diferentes tendencias y variaciones en los valores. En la primera semana, el T1 comienza con un valor de 6.20; sin embargo, a medida que avanzan las semanas se presentan variaciones alcanzando un máximo de 6.98 en la semana 13, luego logra una estabilización de 6.96 en la semana 14. Por otro lado, el T2 inicia con un pH de 5.86 en la semana uno con variaciones constantes hasta alcanzar un valor de siete en la semana 13, evidenciando un aumento progresivo en el pH. Mientras tanto, el T3 empezó con un valor de 6.58, con un aumento gradual hasta alcanzar un valor de siete en la semana 13; no

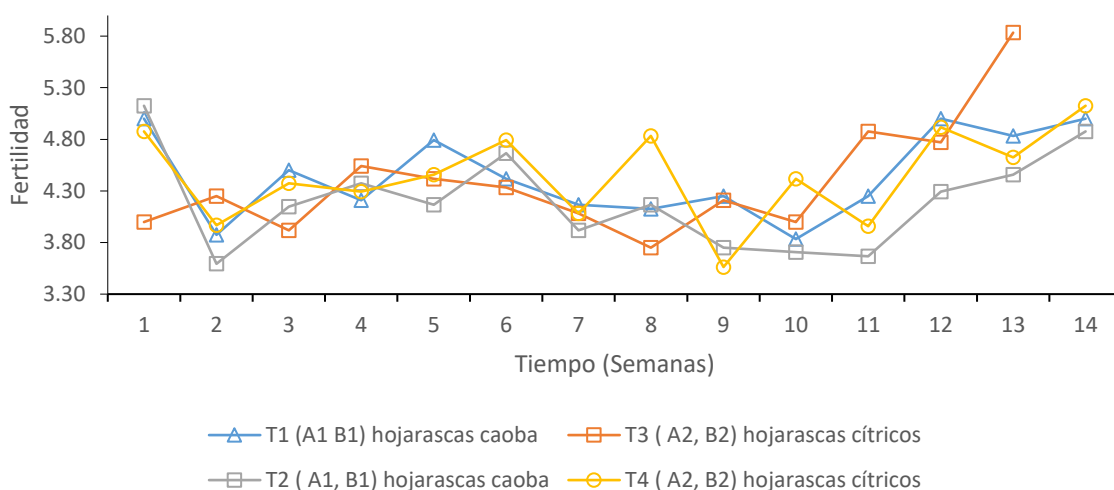
obstante, en la semana 14 hay una ligera caída a 6.84. Por último, el T4 tuvo un valor inicial de 5.81, siendo este el valor más bajo entre los demás tratamientos y también muestra un aumento inicial similar al T2, aunque sus valores fluctúan más llegando a siete en la semana 13, hasta disminuir a 6.81 en la última semana.

Según Monge (2023) las condiciones iniciales de los experimentos tienen gran impacto sobre el pH de un compost, pues factores como temperatura, humedad, presencia de microorganismos y composición de los materiales, influyen en el proceso de descomposición y por ende, en la variación del pH resultante. Por su lado, Gutiérrez (2018) expresa que el compostaje es un proceso dinámico que involucra la actividad de una amplia gama de microorganismos, los cuales pueden producir ácidos y bases como subproductos de sus actividades metabólicas; por dicha razón, es natural esperar variaciones en el pH a medida que estos microorganismos interactúan con los materiales orgánicos. Jódar (2017) menciona que, aunque exista cierta variación en el pH durante el proceso de compostaje, valores extremadamente altos pueden indicar desviaciones no deseadas en el proceso.

Fertilidad

Respecto a la evaluación de la fertilidad en el periodo de estudio, en cada uno de los tratamientos esta variable presentó variaciones significativas (figura 4).

Figura 4. Variación de la fertilidad en los tratamientos, durante el periodo de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

En el parámetro fertilidad se observa que el T1 empieza con una fertilidad de cinco y presenta variaciones notables hasta descender a 3.83 en la semana 10, regresando a su valor inicial en la semana 12 y terminando con un valor final de cinco en la semana 14. Por otro lado, el T2 presentó un valor inicial de 5.13, presentando una caída de 3.59 en la semana dos; las siguientes semanas muestran un ligero aumento alcanzando 4.29 en la semana 12 antes de terminar en 4.88, mostrando una tendencia de aumento. Mientras tanto, el T3 inicia con un valor de cinco y disminuye a 3.75 en la semana nueve; no obstante, muestra un aumento notable a 4.88 en la semana 12 y finaliza en 5.83 en la semana 14, siendo este el valor de fertilidad más alto en comparación con los demás tratamientos. Finalmente, el T4 empieza con un valor de 4.88 y desciende a 3.56 en la semana nueve, similar al T3. En consecuencia, el incremento de los valores es más moderado, alcanzando 4.92 en la semana 12 y finalizando con un valor de 5.13.

Para Román *et al.* (2013) la disminución inicial en la fertilidad del compost, seguida de un ligero aumento, significa que se está dando un proceso de compostaje controlado, ya que es común que la actividad microbiana sea alta en las primeras semanas del experimento, lo que puede llevar a una descomposición acelerada de la materia orgánica. Sin embargo, Pastor (2019) sostiene que a medida que avanza el proceso de compostaje y los microorganismos descomponedores hacen su trabajo, la liberación de nutrientes aumenta nuevamente, lo que podría explicar el posterior aumento en la fertilidad. Por el contrario, Acosta y Peralta (2015) formulan que a pesar de que se haya observado una estabilización en la fertilidad del compost hacia el final del periodo de estudio, las variaciones en el tiempo indicarían que el proceso de compostaje aún no ha alcanzado un estado de equilibrio completamente deseable.

Prueba de fitotoxicidad en semillas de lechuga.

Los resultados de la germinación de las semillas a través del Análisis de Varianza permitieron evaluar la influencia de los factores y los tratamientos de cada uno de los parámetros analizados: número de semillas germinadas, tiempo de germinación y longitud de la raíz; resultados que son presentados a continuación:

Porcentaje de germinación

El análisis de varianza aplicado al parámetro porcentaje de germinación, se expone en la *tabla 3*.

Tabla 3. ANOVA porcentaje de germinación.

Análisis de Varianza para Porcentaje de Germinación – Suma de Cuadrado Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado Medio	Ración- F	Valor-P
Efectos Principales					
A.F Hojas	13,2678	1	13,2678	0,03	0,8759
B.F Bacterias	621,38	1	621,38	1,19	0,2964
Interacciones					
AB	113,156	1	113,156	0,22	0,6496
Error	6255,49	12	521,291		
TOTAL	7003,29	15			

Fuente: Elaborada por los autores.

La tabla 3 ilustra cómo el ANOVA descompone la variabilidad en el porcentaje de germinación en función de diversos factores. Al utilizar la suma de cuadrados Tipo III (por defecto), se calcula la contribución de cada factor considerando los efectos de los demás factores. Los valores de significancia estadística de cada factor se evalúan mediante el valor P. Con un nivel de confianza del 95%, ninguno de los factores o interacciones muestra un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de germinación, ya que todos los valores P son superiores a 0.05.

Según estos resultados, la falta de evidencia estadística para respaldar la influencia de las especies *B. Wiedemanni* y *B. Albus* en la germinación de semillas es notable en los tratamientos estudiados; siendo así que, González *et al.* (2018) expresan que la nula significancia estadística entre los tratamientos analizados implica que no existen diferencias marcadas en la germinación de las semillas; no obstante, otros estudios han demostrado que algunas especies de *Bacillus*, incluidas cepas de *B. albus*, tienen efectos positivos en el crecimiento de las plantas al promover la germinación de semillas y mejorar la salud de las plántulas.

Tiempo de germinación

El análisis de varianza aplicado al parámetro tiempo de germinación determinó lo siguiente (tabla 4).

Tabla 4. ANOVA tiempo de germinación.

Análisis de varianza para la duración de la germinación – Suma de Cuadrados Tipo III					
Origen	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado Medio	Ración- F	Valor-P
Impacto Principal					
A.F Hojas	0,5625	1	0,5625	1,00	0,3370
B.F Bacterias	0,0625	1	0,0625	0,11	0,7446
Interacciones					
AB	0,0625	1	0,0625	0,11	0,7446
Error	6,75	12	0,563		
TOTAL	7,4375	15			

Fuente: Elaborada por los autores.

La tabla 4 presenta un análisis de varianza (ANOVA) que descompone la variabilidad en el tiempo de germinación en función de varios factores. Utilizando la suma de cuadrados del Tipo III (predeterminada), la contribución de cada factor se evalúa eliminando el efecto de otros factores. El valor P se emplea para determinar la significancia estadística de cada factor. Dado que todos los valores P son superiores a 0,05, ninguno de los factores ni interacciones muestra un efecto estadísticamente significativo sobre el tiempo de germinación con un nivel de confianza del 95%.

Los hallazgos de Dueñas (2020) indican que, bajo las condiciones experimentales establecidas, no se encontró evidencia estadísticamente significativa para apoyar la hipótesis de una relación entre las variables estudiadas. Estos resultados sugieren la necesidad de explorar otras variables o diseñar experimentos con mayor poder estadístico. Desde su punto de vista, Rodríguez (2019) indica que al no ser significativos los efectos de las *especies B. Wiedemanii* y *B. Albus*, se refuerza la idea de que estas variables no influyen en el tiempo de germinación, lo que sugiere que otros factores están jugando un papel más importante en la viabilidad de esta variable, pues se conoce que las *Bacillus* pueden acelerar el tiempo de germinación al promover condiciones favorables para el desarrollo de las semillas, como la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.

Figura 5. Germinación de las semillas de lechuga.



Fuente: Elaborada por los autores.

Longitud de la raíz

El análisis de varianza aplicado al parámetro longitud de la raíz se muestra en la tabla 5 a continuación:

Tabla 5. ANOVA longitud de la raíz.

Análisis de Varianza de Longitud - Suma de Cuadrados Tipo III					
Referencia	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrados Medios	Ración- F	Valor-P
Principales efectos					
A.F Hojas	2,41026	1	2,41026	1,35	0,2674
B.F Bacterias	0,195806	1	0,195806	0,11	0,7460
Interacciones					
AB	0,191406	1	0,1914061	0,11	0,7488
Error	21,384	12	1,782		
TOTAL	24,1814	15			

Fuente: Elaborada por los autores.

La tabla 5 ilustra cómo el ANOVA descompone la variabilidad en la longitud en función de diversos factores. Utilizando la suma de cuadrados del Tipo III (por defecto), se calcula la contribución de cada factor al eliminar los efectos de los demás. La significancia estadística de cada factor se evalúa mediante los valores P. Dado que todos los valores P son superiores a 0,05, ninguno de los factores ni sus interacciones tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la longitud con un nivel de confianza del 95%.

Según estos datos, es importante reconocer que el valor p no solo significa que las variables tengan un nulo efecto sobre los tratamientos, sino también, que los resultados derivan de otros factores no considerados en el estudio (Molina, 2017). Adicionalmente, De la Cruz *et al.* (2015) señalan que el hecho de que los efectos de las especies en estudio no sean significativos, puede deberse a la variabilidad natural en las respuestas de las plantas a diferentes condiciones ambientales o a la metodología utilizada en la investigación.

Figura 6. Medición de la raíz.



Fuente: Elaborada por los autores.

Valoración de la calidad del compost.

Por otra parte, se efectuó la comparación de los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio con cada uno de los parámetros propuestos por la normativa chilena para compost; la cual se encuentra regulada principalmente a través de diversas leyes, decretos y normativas técnicas que buscan establecer los requisitos y condiciones para la producción, comercialización y uso del compost. En la tabla 6 se exponen los datos de mayor relevancia:

Tabla 6. Comparación de resultados con normativa chilena.

Parámetros	Límites según norma chilena NCh 2880		
	Clase A	Clase B	Compost analizado
pH	5,0 – 7,5	5,0 – 8,5	8,3
DA (g/cm ²)	3	>5	0,41
C.E (dS/m)	3	<8	20,64
M.O	≥45	≥25	30,03
N (%)	>8		0,95
P (%)	>0,1	<0,1	0,27
K (%)	>1		1,59
Ca (%)	>1		2,11
Mg (%)	>1		0,42
Zn (ppm)	200	2000	61,5
Cu (ppm)	100	1000	26,5
Cd (mg kg ⁻¹)	2	8	0,76
Pb (mg kg ⁻¹)	100	300	22,15
C/N	≥25	≥30	18,38

Fuente: Elaborada por los autores.

En la tabla 6, se evidencia la comparación entre los resultados obtenidos del compost en estudio y los parámetros establecidos por la normativa chilena, en donde la clase A hace referencia a un compost de alta calidad; es decir, apto para uso en agricultura y jardinería sin restricciones. Por su lado, la clase B corresponde a una calidad aceptable, en donde el compost puede ser utilizado en áreas verdes y paisajismo, pero con algunas restricciones.

Básicamente, los datos generados en el laboratorio reflejan que el compost elaborado pertenece a la clase B según los límites permisibles de la normativa chilena; no obstante, algunos parámetros se encuentran por debajo de ambas clasificaciones, pudiendo otorgarse a una clase y calidad de compost aún más baja. Al respecto, Vargas *et al.* (2019) señalan que la superación de los límites establecidos para ciertos contaminantes o la deficiencia en nutrientes esenciales puede relegar a un compost a una categoría inferior, afectando su aplicabilidad y beneficios potenciales.

En este contexto, Delgado y García (2023) destacan que la normativa chilena clasifica el compost en clases A y B, dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, siendo la clase A la de mayor calidad. Según esta clasificación, los compost clase A deben cumplir con estrictos límites en cuanto a la presencia de metales pesados, patógenos y contenido de materia orgánica, entre otros parámetros (Cevallos y Sánchez, 2022). En definitiva, la normativa chilena para compost está diseñada para garantizar que el compostaje se realice de manera segura y efectiva, promoviendo la valorización de residuos orgánicos y protegiendo el medio ambiente y la salud pública.

CONCLUSIONES

El papel de las bacterias es crucial en el proceso de compostaje. La actividad metabólica de estos microorganismos, especialmente durante la descomposición de la materia orgánica, genera ácidos orgánicos y amoníaco, lo que explica los cambios observados en el pH del compost. Además, la mineralización de nutrientes por parte de las bacterias mejora la calidad del compost como fertilizante.

Los resultados obtenidos en este estudio no mostraron un efecto significativo de las bacterias inoculadas en el porcentaje de germinación, tiempo de germinación y longitud de raíz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, W. y Peralta, M. (2015). *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá* [Tesis de grado no publicada]. Universidad de Cundinamarca, Colombia.
- Akintola, A., Oyedele, O., Adewale, I. y Bakare, M. (2021). Production and physicochemical properties of thermostable, crude cellulase from enterobacter cloacae ip8 isolated from plant leaf litters of Lagerstroemia indica linn. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 8(4), 989-994. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.8.4.989-994>
- Al Dhabhi, N., Esmail, G., Ghilan, A. y Arasu, M. (2019). Composting of Vegetable Waste Using Microbial Consortium and Biocontrol Efficacy of Streptomyces Sp. Al-Dhabi 30 Isolated from the Saudi Arabian Environment for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 11(23), 6845. <https://doi.org/10.3390/su11236845>
- Álvarez, A., Llerena, L. y Reyes, J. (2021). Efecto de sustancias azucaradas en la descomposición de sustratos orgánicos para la elaboración de compost. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.916>
- Ballesteros, M., Hernández, M., Gómez, I., Mañón, M. y Carreño, M. (2017). Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Centro Azúcar*, 45(1), 1-10. <https://acortar.link/OFvmZT>
- Castillo, L. (2020). *Evaluación de la calidad del compost obtenido a partir de residuos orgánicos y microorganismos eficaces (EM) en el distrito de Huayucachi, Huancayo, 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/urK4Rh>
- Cevallos, A. y Sánchez, C. (2022). *Determinación de la calidad de compost a partir de co-compostaje en lodos residuales producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales "Las Viñitas" del cantón Ambato*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/VjZqds>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). *La gestión y manejo de residuos sólidos y sus propuestas regulatorias e impositivas*. <https://acortar.link/AK0mAy>
- De la Cruz, M., Zamudio, M., Corona, A., González, J. y Rojas, R. (2015). Importancia y estudios de las comunidades microbianas en los recursos y productos pesqueros. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(4), 99-115. <https://acortar.link/ry4fyc>

- Delgado, M. y García, C. (2023). *Contenido nutricional del compost a partir de residuos agropecuarios en la ESPAM MFL* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/13eJEU>
- Dueñas, K. (2020). *Relación entre la condición fisiológica de aves frugívoras y la viabilidad de semillas que pasan a través de su tracto digestivo* [Tesis de grado, Universidad de La Salle] Repositorio institucional. <https://acortar.link/TizdEO>
- Fallas, D. (2016). *Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada* [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/dz56FB>
- García, D., Lima, L., Ruíz, L. y Calderón, A. (2014). Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de Fincas. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 14(26). <https://acortar.link/zrZlcx>
- González, P. (2018). *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://acortar.link/OCUCic>
- González, L., Pita, B., Pinzón, E. y Serrano, P. (2018). Efecto de tratamientos pregerminativos en semillas de *Dianthus barbatus* L. cv. 'Purple' bajo condiciones controladas. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1). <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.83>
- Guirao, S. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Revista Ene*, 9(2). <https://acortar.link/OJESe>
- Gutiérrez, K. (2018). *Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria pseudomona aeruginosa en Huancayo* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/2ZNf5P>
- Herrera-Rengifo, J.D., Villa-Prieto, L., Olaya-Cabrera, A.C. y García-Alzate, L.S. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33(2), 25-34. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002>
- Jódar, J. (2017). Variabilidad y caracterización temporal y posicional del compostaje de residuos municipales [Tesis doctoral, Universidad de Jaén]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/xl9jVF>
- Molina, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p? *Pediatría Atención Primaria*, 19(76). <https://acortar.link/0sTQbp>
- Monge, A. (2023). *Evaluación del efecto del uso de distintos materiales secantes y diferentes tipos de pretratamiento en el proceso de compostaje doméstico en composteras giratorias* [Tesis de pregrado, Universidad de Costa Rica]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/yRxvJu>
- Morocho, M. y Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Revista de Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. <https://acortar.link/BjM8lv>
- Musa, A., Ishak, C., Karam, D., y Jaafar, N. (2020). Effects of fruit and vegetable waste and mixed biodegradable municipal waste composts on nitrogen dynamics in an oxisol. *Agronomy*, 10(10), 1609. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101609>

- Ni'matuzahroh. N., Affandi, M., Fatimah, A., Trikurniadewi, N., Abidin, A., Sari, S. & Khiftiyah, A. (2023). Diversity and enzymatic potential of bacteria isolated from household waste compost. *AIP Conference Proceedings*, 2554(1), 090010. <https://doi.org/10.1063/5.0109994>
- Orozco, C., Díaz, J., Macías, M. D. J., y Robles, F. (2019). Efecto de la frecuencia de volteo en el biosecado de residuos sólidos orgánicos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 979-989. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.16>
- Pastor, C. (2019). *Proyecto de diseño de un biorreactor para la producción de compost a partir de biorresiduos* [Tesis de grado, Universitat Jaume]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/L31VBD>
- Pedraza, L., López, C. y Uribe-Velez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Revista Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 112-125. <https://acortar.link/ZEA8Mk>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *El impacto de las quemas agrícolas: un problema de calidad del aire*. <https://acortar.link/dTXPJ6>
- Reyes, M., Oviedo, E., Domínguez, I., Komilis, D., y Sánchez, A. (2018). A systematic review on the composting of green waste: Feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77, 486-499. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.037>
- Rivas, M. y Silva, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia Unemi*, 13(32), 87-100. <https://acortar.link/MMDCli>
- Rodríguez, E. (2019). *Factores que influyen en la viabilidad, germinación y establecimiento de *Carpinus caroliniana walt** [Tesis de grado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio institucional. <https://acortar.link/Gs5la4>
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://acortar.link/9rFE0p>
- Stefan, C. (2018). *Quema de residuos de tala rasa en el manejo de bosques implantados* [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Nordeste]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/YNeyxZ>
- Torres, W. (2019). *Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la paja de trigo (*triticum ssp*) en el barrio de Nicrupampa, distrito de Independencia, Huaraz, 2015* [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/iQuSpO>
- Tovar, F. (2013). *Determinación de las curvas de temperatura de mezclas de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca para su compostaje* [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Orihuela]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/ITygbg>
- Valdés, A., López, E. y Alonso, A. (2019). Gestión de residuos industriales y sostenibilidad. Necesidad de un enfoque de economía ecológica. *Universidad y Sociedad*, 11(4). <https://acortar.link/PeYPRw>

- Vargas, O., Trujillo, J. y Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Revista Orinoqui*, 23(2). <https://acortar.link/L49WHt>
- Vásquez, E. (2022). *Consortios microbianos para potenciar el compostaje de residuos sólidos orgánicos urbanos a bajas temperaturas* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/iqOddv>
- Vásquez, E. y Millones, C. (2023). Isolation and Identification of Bacillus Bacteria from Composted Urban Solid Waste and Palm Forest in Northern Peru. *Microorganisms*, 11(3), 187-191. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030751>
- Villareal, M., Villa, E., Cira, L., Estrada, M., Parra, F. y Santos, S. (2018). El género Bacillus como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>



MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Comparación del compostaje y vermicompostaje en la calidad del suelo mediante el análisis de temperatura, pH y fertilidad.

Comparison of composting and vermicomposting on soil quality through the analysis of temperature, pH, and fertility.

Comparação da compostagem e vermicompostagem na qualidade do solo por meio da análise de temperatura, pH e fertilidade.

**José Fernando Mendoza Rodríguez,
José David Cuero Cortéz**

Unidad Educativa Joaquín Lalama, Ecuador
mendo-10@hotmail.com

Artículo científico

Enviado: 17/8/2025

Aprobado: 6/12/2025

Publicado: 18/12/2025

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo comparar los procesos de compostaje y vermicompostaje en distintos grupos, y verificar el comportamiento de las variables temperatura, fertilidad y pH. La metodología aplicada tuvo un enfoque cuantitativo, basado en estudios prospectivos. Se empleó materia orgánica y lombrices para realizar el análisis comparativo de las variables definidas. Las mediciones se efectuaron con el equipo rapitest digital 3-way analyzer en tres grupos: una compostera y dos lombriceras. Se aplicó estadística descriptiva para evaluar la dispersión entre grupos y estadística inferencial para determinar el nivel de correlación. En particular, se utilizó la correlación de Pearson para los datos con distribución normal y la de Spearman cuando la distribución fue asimétrica. Los resultados indicaron que el pH tuvo la menor dispersión entre los grupos, mientras que la temperatura mostró una alta correlación positiva en dos grupos. En cuanto a la fertilidad se obtuvieron valores ideales para procesos de cultivo y con una dispersión moderada.

Palabras clave: análisis estadístico, fertilidad, pH, temperatura.

ABSTRACT

This study compared composting and vermicomposting processes across different groups, analyzing the behavior of temperature, fertility, and pH variables. A quantitative methodology with prospective design was applied, using organic matter and earthworms. Measurements were conducted with a Rapitest digital 3-way analyzer in one compost bin and two vermicomposting bins. Descriptive and inferential statistics were used, applying Pearson correlation for normally distributed data and Spearman correlation for asymmetrical distributions. Results showed that pH had the lowest dispersion among groups, while temperature exhibited a strong positive correlation in two groups. Fertility values were ideal for cultivation processes, with moderate dispersion.

Keywords: fertility, pH, statistical analysis, temperature.

RESUMO

Este estudo comparou os processos de compostagem e vermicompostagem em diferentes grupos, analisando o comportamento das variáveis temperatura, fertilidade e pH. Foi aplicada uma metodologia quantitativa com desenho prospectivo, utilizando matéria orgânica e minhocas (*Eisenia fetida*). As medições foram realizadas com o equipamento Rapitest digital 3-way analyzer em uma composteira e duas vermicomposteiras. Utilizou-se estatística descritiva e inferencial, aplicando correlação de Pearson para dados com distribuição normal e correlação de Spearman para distribuições assimétricas. Os resultados mostraram que o pH apresentou a menor dispersão entre os grupos, enquanto a temperatura exibiu forte correlação positiva em dois grupos. Os valores de fertilidade foram ideais para processos de cultivo, com dispersão moderada.

Palavras-chave: análise estatística, fertilidade, pH, temperatura.

INTRODUCCIÓN

La lombricultura es un proceso agrícola donde se utiliza a las lombrices como agentes biológicos para la producción de humus (digestión de residuos orgánicos), considerado como un excelente abono natural. El proceso comienza con la alimentación directa de las lombrices mediante el uso de materia orgánica, conocida como desecho orgánico. La lombriz procesa el alimento mediante su sistema digestivo para transformar en humus o abono con un alto contenido de nutrientes (Andrade *et al.*, 2024).

Desde una perspectiva directa, la clasificación de los residuos orgánicos es el proceso donde se separan los materiales biodegradables o también conocidos como desechos, generados por actividades humanas. También, es importante señalar que se puede separar todo tipo de desechos orgánicos ya sea del hogar, actividades agrícolas, jardines, entre otras (Pacheco *et al.*, 2021).

La lombricultura ha demostrado tener un alto impacto en el desarrollo de los cultivos en sistemas agrícolas (Katiyar *et al.*, 2023), además, es muy rentable cuando su utilización se realiza de manera eficaz y eficiente. Las lombrices tienen la capacidad de reproducirse en un corto período de tiempo, potenciando así la calidad y fertilidad del suelo en el que se desarrollan. Este suelo puede ser aprovechado para cultivar distintos alimentos de mejor calidad nutricional y un crecimiento más saludable (Molina y de la Guerra, 2025). Las lombrices tienen la funcionalidad de degradar la materia orgánica y desprender pequeños compuestos orgánicos denominados nutrientes minerales, ya sea mediante sus procesos metabólicos o a partir de los tejidos muertos de las propias lombrices (Elissen *et al.*, 2023).

Tabla 1. Rangos de fertilidad del suelo.

Nutriente	Poco 0-2	Ideal 3-7	Demasiado 8-9
Nitrógeno	50 ppm	50-200 ppm	200 ppm
Fósforo	4 ppm	4-14 ppm	14 ppm
Potasio	50 ppm	50-200 ppm	200 ppm

Nota: ppm - partes por millón.

Fuente: Luster Leaf Products, Inc. (2024).

Por otra parte, el proceso de vermicompostaje ofrece varios usos y ventajas que ayudan a la agricultura. Hay varios beneficios, principalmente la obtención de un excelente abono natural, usado para que el suelo sea fértil y sobre todo para recuperar suelos que han sido maltratados con

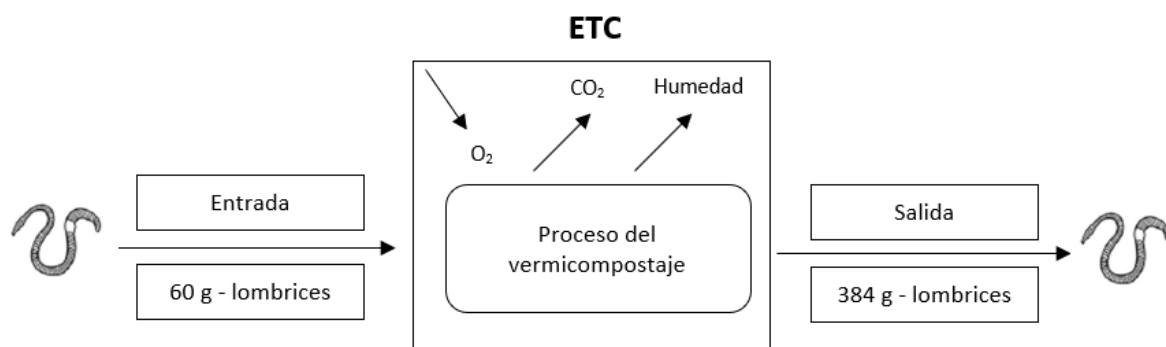
productos artificiales (Monta-Calle y Yáñez-Moreta, 2023). Con un buen tratamiento del suelo se puede cultivar hortalizas, frutos y hierbas medicinales de buena calidad, naturales y libres de elementos químicos que causan daño a la salud. Para este proceso es importante utilizar la materia orgánica (restos de vegetales o frutas), que simplemente es todo lo que se descompone.

Además, el vermicompostaje no requiere de mucho tiempo ni grandes inversiones para su implementación, ya que las lombrices se reproducen fácilmente, si las condiciones de hábitat son óptimas. De hecho, puede ayudar a la economía, ya que con la producción de humus de lombriz se puede vender el excedente a campos, plantas o viveros donde esa práctica se convierte en un negocio (Cando *et al.*, 2024). Su desventaja hace referencia a que necesitan una temperatura estable para su desarrollo (Enríquez, 2021).

Sin embargo, el compostaje es un material orgánico y limpio que sirve como abono para el cultivo de plantas. Este método también se puede utilizar tanto a nivel doméstico como en comunidades, escuelas o empresas (González-Jiménez y Villalobos-Morales, 2021). El compostaje ofrece muchos beneficios a la naturaleza mediante la descomposición de residuos orgánicos. Entre las ventajas principales están: mejoramiento en la calidad del suelo y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. La emisión de olores fuertes y la generación de plagas son considerados como desventajas en el proceso de compostaje (Carvalho y Ciri6n, 2022).

La temperatura del compostaje de los residuos orgánicos sin lombriz puede alcanzar hasta los 65 °C, aunque en condiciones ideales puede oscilar entre los 40 °C y 65 °C, debido a que es compatible con la mayoría de ambientes. Esto no implica que la temperatura esté en ese intervalo, depende de las etapas conocidas como la mes6fila (descomposición inicial de materia orgánica), term6fila (descomposición de compuestos m6s complejos) y de maduraci6n (Meena *et al.*, 2021). En el caso del abono de lombrices (vermicompostaje) la temperatura ideal est6 entre 15 °C y 25 °C (Zhang *et al.*, 2020).

Figura 1. Vermicompostaje - proceso.



Nota: ETC – Eficiencia de Tasa de Conversi6n.

Fuente: Adaptado de Nova *et al.* (2019).

El vermicompostaje tiene variables de control, como el ox6geno, que es aprovechado por los microorganismos para la descomposici6n de los desechos org6nicos y el di6xido de carbono y la humedad, que son liberados al ambiente, generando un equilibrio en la actividad biol6gica y la eficiencia del proceso. Adem6s, el vermicompostaje mejora la calidad del suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes e incrementa la productividad de los cultivos, adem6s, presentando un potencial para mitigar la degradaci6n del suelo (Oyege y Balaji, 2023).

En lo que corresponde a los parámetros edafológicos, las características físicas (temperatura del suelo), químicas (pH) y biológicas (presencia de lombrices) son esenciales para que los procesos de lombricultura y compostaje tengan beneficios tanto en la fertilidad del suelo y en la calidad del abono producido por las lombrices. El pH permite conocer que tan ácido o alcalino es un suelo, controlar esta variable genera cultivos saludables sin afectación de los nutrientes. Por otra parte, el pH aceptable para el vermicompostaje puede extenderse de 5,5 a 8, aunque el valor óptimo se sitúa cerca de 7 (Singh *et al.*, 2022). En el proceso de compostaje tradicional, el pH puede oscilar entre 5 a 7 (Ho *et al.*, 2022).

Es importante mencionar que la lombriz californiana (*eisenia fetida*) es una especie de lombriz roja de tierra de mucha utilidad en el vermicompostaje, debido a su alta eficiencia en la transformación de desechos orgánicos en abono natural o humus. Este humus tiene una característica particular de contener elevadas concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio, constituyéndose como nutrientes principales para la fertilización del suelo. Su aplicación mejora eficazmente las propiedades físicas, químicas y biológicas para el proceso y rendimiento de los cultivos (Pimentel *et al.*, 2023).

Con base en lo anterior, se plantearon las siguientes hipótesis nula (H_0) y de investigación (H_1):

H_0 : El proceso de vermicompostaje no produce cambios significativos en los parámetros edafológicos (pH, humedad y temperatura) ni en la calidad del suelo, en comparación con suelos tratados únicamente con compostaje tradicional.

H_1 : El proceso de vermicompostaje produce cambios significativos en los parámetros edafológicos (pH, humedad y temperatura) y en la calidad del suelo, en comparación con suelos tratados únicamente con compostaje tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que se utilizaron estudios prospectivos, es decir, se realizaron mediciones de las variables *temperatura*, *pH* y *fertilidad* en distintos momentos del proceso. Se utilizó un diseño no experimental, ya que no se manipularon ni se aplicaron tratamientos a las variables, únicamente se realizaron observaciones y mediciones a lo largo del tiempo, esto indica que el nivel de investigación fue longitudinal.

En lo que corresponde a los materiales utilizados en la investigación se detallan a continuación:

- Tres gavetas con dimensiones de 60 centímetros (cm) de largo, 40 cm de ancho y 22 cm de altura. Dos de ellas para la ubicación de 150 lombrices californianas en cada una, en adelante denominadas lombriceras y una tercera para el compostaje, en adelante denominada compostera.
- 36 kilogramos (kg) de tierra oscura, distribuidos en partes iguales, es decir, 12 kg por cada gaveta.

Tanto las lombriceras como la compostera se ubicaron bajo una cubierta, con la finalidad de resguardarlas de la lluvia y la exposición directa al sol, especialmente para proteger la supervivencia de las lombrices.

Es importante mencionar que la zona definida para la ubicación de las lombriceras y la compostera fue en los jardines de la Unidad Educativa Joaquín Lalama, ubicada en la ciudad de Ambato, Ecuador, durante los meses de abril a julio de 2025.

Procedimiento para el tratamiento de lombriceras y compostera

En lo que corresponde a las lombriceras, la alimentación fue una vez a la semana, donde se utilizaron los siguientes alimentos: cáscaras de papa, tomate, pepino, zanahoria, remolacha, plátano verde y plátano maduro, así como cáscaras de guineo (banana), cáscaras de huevo y hojas de lechuga. Los alimentos fueron picados en trozos pequeños para facilitar el proceso de ingestión.

Por otro lado, en el compostaje se utilizaron desechos orgánicos en proceso de descomposición durante 15 días, para luego ser mezclados con la tierra oscura. Esta actividad se repitió cada 15 días durante un período de tres meses. Finalizado este tiempo, se dejó la compostera en reposo durante otros tres meses para que los desechos se descompusieran completamente.

Procedimiento para la recolección de datos

Para medir las variables *temperatura*, *pH* y *fertilidad* se utilizó el equipo de medición rapitest digital 3-way analyzer que cuenta con las siguientes instrucciones básicas de funcionamiento: presionar el botón de encendido para encender y apagar el medidor, utilizar las teclas de flecha para cambiar la función de prueba, identificar la función de prueba en uso se indica mediante la flecha intermitente en la pantalla del medidor, y finalmente, tener en cuenta que el equipo se apaga automáticamente después de aproximadamente cuatro minutos para conservar la batería.

Aunque el equipo rapitest digital 3-way analyzer no es un instrumento de medición profesional de laboratorio, su uso y funcionalidad están respaldados por la literatura que valida este tipo de dispositivos de bajo costo para el control y monitoreo de variables ambientales y agrícolas (Ruiz-Gonzalez *et al.*, 2024; Hinojosa-Meza *et al.*, 2022). Además, dado que existen diferencias entre equipos de laboratorio y sensores económicos en términos de precisión y costo, estos últimos permiten una cobertura mayor y una implementación más práctica en contextos educativos o comunitarios (Schwamback *et al.*, 2023).

Figura 2. Equipo rapitest digital 3-way analyzer.



Fuente: Luster Leaf Products, Inc. (2024).

Las mediciones se realizaron una vez por semana durante tres meses. Se recolectaron los datos de las variables *temperatura*, *pH* y *fertilidad* para los grupos lombricera 1 (L1), Lombricera 2 (L2) y compostera (C). La diferencia entre las lombrices radicó en la distribución de los alimentos. Cada variable tuvo un proceso específico de medición, de acuerdo con la funcionalidad del equipo rapitest digital 3-way analyzer.

Para la medición de la *temperatura* se siguió el siguiente proceso:

- Paso 1: con el equipo encendido y configurado en el modo de temperatura, se insertó la sonda en el suelo a una profundidad mínima de 5 a 8 cm.
- Paso 2: luego se esperó 60 segundos (s) hasta que se estabilice la medición, momento en el cual se observó y registró el valor mostrado en la pantalla del equipo.
- Paso 3: se retiró la sonda de la tierra oscura y se procedió su limpieza con algodón.

En lo que corresponde al *pH*, se aplicó el siguiente procedimiento:

- Paso 1: se retiraron los 5 cm superiores de la superficie de la tierra oscura, para luego desmenuzar cualquier terrón presente hasta alcanzar una profundidad de 12 cm.
- Paso 2: Se añadió 1 litro (L) de agua hasta alcanzar una condición de saturación hídrica.
- Paso 3: se apisonó la tierra húmeda hasta compactarla completamente.
- Paso 4: se introdujo ligeramente la sonda a una profundidad de 10 a 12 cm (en el caso de que no se deslizaba fácilmente, se seleccionaba una nueva posición) configurado el equipo en el modo de *pH*.
- Paso 5: se giró la sonda en sentido horario y antihorario varias veces hasta que la tierra se distribuya sobre la superficie de la sonda.
- Paso 6: se registró el valor mostrado en la pantalla del equipo.
- Paso 7: se retiró la sonda y se procedió su limpieza con algodón.

En lo que corresponde a la *fertilidad*, se realizó el mismo procedimiento en lo que concierne al *pH*, con la eliminación del paso 3 y la modificación del paso 4 en lo que corresponde a la configuración del equipo en el modo de *fertilidad*.

Para garantizar que factores externos no influyeran en las mediciones, se establecieron criterios de control de variables ambientales, como la exposición excesiva a la luz solar (que afectan directamente a las lombrices), la lluvia y los cambios bruscos de temperatura ocasionados por las corrientes de viento del sector. Por esta razón, tanto las lombriceras como las composteras se ubicaron bajo una cubierta como medida de protección y control. Asimismo, las mediciones se realizaron siempre en el mismo horario (entre las 09:00 y las 10:30), cuando las condiciones climáticas permanecían estables. Este tipo de controles permitieron reducir las afectaciones asociadas a variables externas sobre los parámetros edafológicos registrados.

Es importante mencionar que, tanto el procedimiento para el tratamiento de lombriceras y compostera como el procedimiento para la recolección de datos fueron ejecutadas por estudiantes de primero y segundo de bachillerato de la unidad educativa previamente mencionada, quienes recibieron la debida capacitación para realizar las actividades de forma correcta.

Tratamiento estadístico

En lo que corresponde al tratamiento estadístico, se efectuó un análisis general mediante la aplicación de estadística descriptiva con el propósito de conocer el comportamiento previo de las variables en estudio. Entre los estadísticos utilizados se incluyeron la media aritmética, desviación estándar, valor mínimo y máximo. Asimismo, se realizó un gráfico de distribución de densidad y se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk (adecuada para muestras pequeñas) con la finalidad de verificar el supuesto de normalidad en los datos. La muestra establecida por cada grupo fue de nueve observaciones según las variables de estudio establecidas.

El número de observaciones se estableció en función del período de muestreo, acorde con el enfoque y diseño de la investigación, correspondiente a mediciones semanales durante tres meses. Al ser un tamaño muestral pequeño, este resulta válido cuando se trata de estudios de carácter exploratorio y es compatible con las características y requerimientos de la prueba de Shapiro-Wilk, diseñadas específicamente para evaluar la normalidad de los datos en muestras reducidas (Serdar *et al.*, 2021).

Además, para verificar si las variables medidas entre los grupos presentaban diferencias significativas, se aplicó la correlación de Pearson o Spearman, dependiendo de la normalidad de los datos. Al existir tres grupos, y si al menos dos de ellos cumplían con el supuesto de normalidad, se utilizó la prueba paramétrica (Pearson) o viceversa.

Para el procesamiento de los datos tanto para la parte gráfica como en la estructuración y análisis, se utilizó el software RStudio en su versión 2024.12.1, junto con los paquetes: "readxl", "ggplot2", "dplyr" y "tidyr", cada una con sus respectivas librerías.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadísticos descriptivos muestran que la variable *temperatura* presenta una mayor dispersión y rangos (tabla 3), lo cual se confirma con la distribución de densidad de la figura 3, donde se observa que para los tres grupos C, L1 y L2 el comportamiento a grandes rasgos, no cumple con el supuesto de normalidad debido a que su distribución asimétrica, es decir, existen sesgos. Para corroborar de forma adecuado mediante inferencia estadística, los p-valores de la prueba de normalidad mostrados en la tabla 4 son inferiores a 0.05, ratificando que los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 2. Datos recolectados por grupo y variable.

Grupo	Temperatura	Fertilidad	pH
L1	11.66	5	7.0
L2	10.55	8	6.6
C	10	7	7.0
L1	12.77	4	6.4
L2	13.33	4	6.8
C	11.66	8	6.3
L1	12.22	5	6.8
L2	12.22	6	6.8
C	11.66	6	6.2
L1	15	4	7.0
L2	13.33	6	6.8
C	15	8	6.4
L1	12.22	5	6.5
L2	11.11	6	6.8
C	12.22	5	6.6
L1	11.11	5	6.7
L2	11.66	5	6.0
C	11.11	5	7.0

L1	11.66	6	7.6
L2	12.77	5	7.2
C	12.22	5	7.0
L1	20.55	4	7.0
L2	18.33	6	7.0
C	18.88	5	7.2
L1	12.22	5	6.9
L2	10.55	7	6.4
C	10.55	7	7.2

Nota: Los valores de temperatura están expresados en °C. La fertilidad no se expresa en ppm, se interpreta por rangos y categorizada de forma ordinal mediante una escala del 0 al 9 establecida por el fabricante del equipo (tabla 1).

Fuente: Elaborada por los autores.

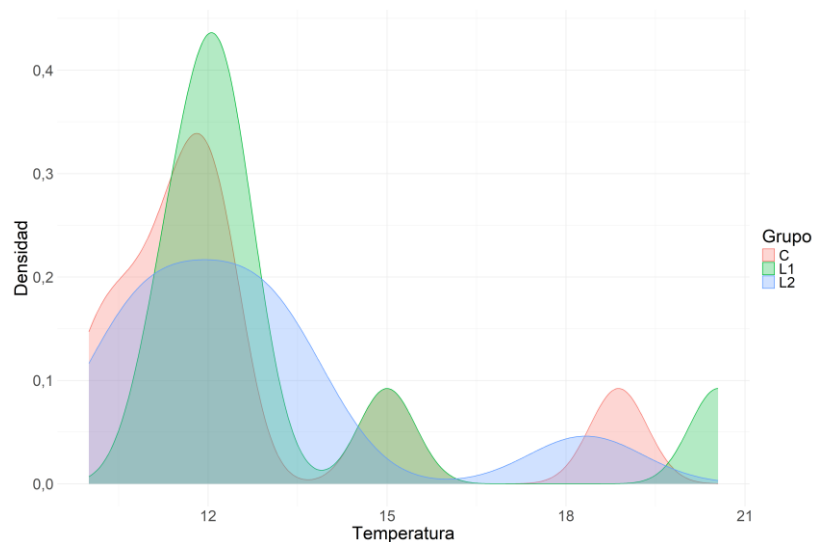
Tabla 3. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura.

Grupo	Media aritmética	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
C	12.6	2.75	10.0	18.9
L1	13.3	2.95	11.1	20.6
L2	12.6	2.39	10.6	18.3

Nota: Los valores de temperatura están expresados en °C. Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 3. Distribución de densidad para la variable temperatura.



Nota: La figura se elaboró con los datos procesados en RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores

Tabla 4. Prueba de normalidad para la variable temperatura.

Grupo	W	p-valor
C	0.7978	0.0193
L1	0.6781	0.0008
L2	0.7973	0.0190

Nota: W es el estadístico de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Por otro lado, la variable *fertilidad* presenta una variabilidad y rangos moderados (tabla 5). En la figura 4, se observa que para los grupos C y L1 las distribuciones son asimétricas con presencia de picos, lo que indica una mayor concentración de los datos en ciertas zonas. En el caso del grupo L2, la distribución tiende a ser más simétrica, sugiriendo una mayor probabilidad que la distribución sea normal. Para contrastar esta observación, en la tabla 6 los p-valores correspondientes a los grupos C y L1 son inferiores a 0.05, indicando que los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. En cambio, el grupo L2 presenta un p-valor superior a 0.05, lo que permite verificar que los datos cumplen con una distribución normal.

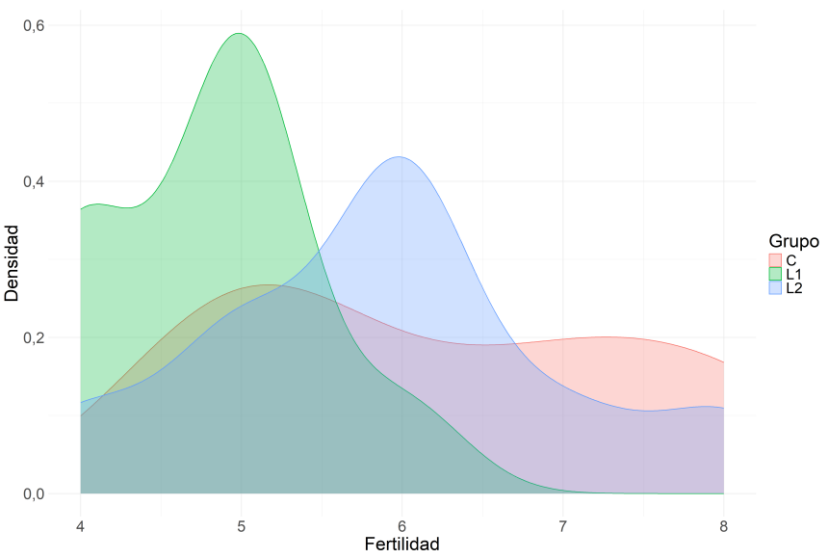
Tabla 5. Estadísticos descriptivos para la variable fertilidad.

Grupo	Media aritmética	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
C	6.22	1.30	5	8
L1	4.78	0.667	4	6
L2	5.89	1.17	4	8

Nota: La fertilidad no se expresa en ppm, se interpreta por rangos y categorizada de forma ordinal mediante una escala del 0 al 9 establecida por el fabricante del equipo (tabla 1). Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 4. Distribución de densidad para la variable fertilidad.



Nota: La figura se elaboró con los datos procesados en RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Tabla 6. Prueba de normalidad para la variable fertilidad.

Grupo	W	p-valor
C	0.8158	0.0309
L1	0.8126	0.0284
L2	0.9412	0.5948*

Nota: W es el estadístico de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

El * indica que el grupo se distribuye normalmente ($p \geq 0,05$). Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Finalmente, la variable *pH* presenta una menor dispersión y rangos reducidos (tabla 7). La exploración previa de los datos, mostrada en la figura 5, indica que los grupos tienen mayor concentración de datos en la zona central de la distribución de densidad. A pesar de que los rangos son bajos, la gráfica muestra sesgos moderados en la distribución. En base a lo explicado, un gráfico estadístico es útil para observar el comportamiento de los datos, pero no permite determinar la veracidad si los datos se distribuyen de forma normal. En este caso, aplicar la prueba de normalidad definida en el apartado anterior, ayuda a verificar con mayor precisión el supuesto de normalidad. En la tabla 8, se muestra que los p-valores en los grupos son superior a 0.05, esto indica que la variable *pH* sigue una distribución normal en cada grupo.

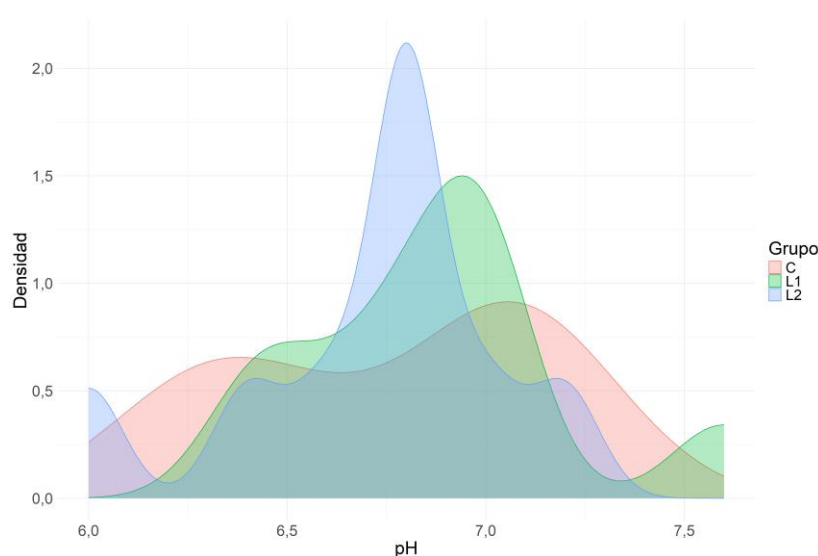
Tabla 7. Estadísticos descriptivos para la variable pH.

Grupo	Media aritmética	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
C	6.77	0.394	6.2	7.2
L1	6.88	0.349	6.4	7.6
L2	6.71	0.348	6.0	7.2

Nota: Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 5. Distribución de densidad para la variable pH.



Nota: La figura se elaboró con los datos procesados en RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Tabla 8. Prueba de normalidad para la variable pH.

Grupo	W	p-valor
C	0.8680	0.1170*
L1	0.9193	0.3865*
L2	0.9131	0.3385*

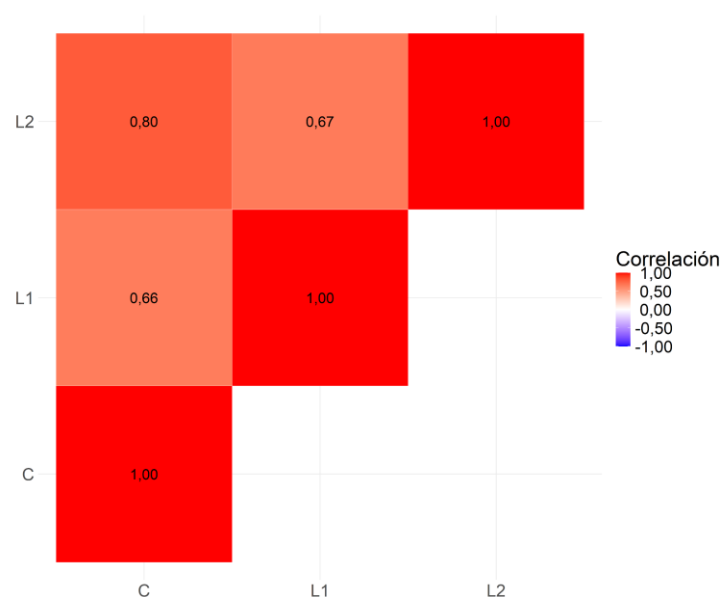
Nota: W es el estadístico de prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

El * indica que el grupo se distribuye normalmente ($p \geq 0,05$). Los datos fueron procesados y analizados utilizando RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

En cuanto a la correlación entre grupos para cada variable analizada, se encontró que la variable *temperatura* (figura 6) presenta una alta correlación positiva en todos los grupos, especialmente en C y L2, con un valor de 0.80. Este valor permite interpretar que la actividad de ubicar la alimentación en el compostaje y vermicompostaje genera diferencias significativas, principalmente por la humedad producida por los alimentos, ya sea por el proceso de descomposición o por el humus que generado por las lombrices. Esto indica que la temperatura mantiene una relación directamente proporcional con estos factores. En los demás casos, las comparaciones entre grupos mostraron correlaciones moderadas (Zhou *et al.*, 2021).

Figura 6. Matriz de correlación de Spearman para la variable temperatura.



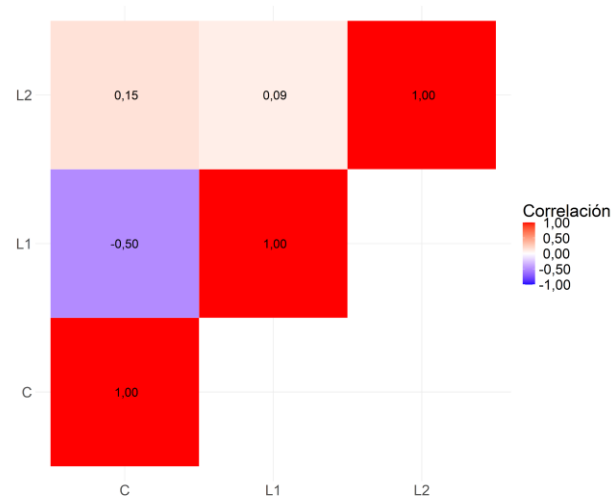
Nota: Los coeficientes de la correlación de Spearman se representan mediante una escala de color, donde los tonos más intensos indican correlaciones más altas. La figura se generó con los datos procesados en RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

En relación con la variable *fertilidad* (figura 7), se observa una correlación negativa moderada entre los grupos C y L1 con un coeficiente de -0.5. Este valor se puede interpretar que la fertilidad entre los dos grupos mantiene una proporcionalidad inversa. Esta situación puede explicarse debido a que el vermicompostaje, que depende de la digestión de las lombrices, genera concentraciones mayores de nutrientes, sin embargo, al tener dosis elevadas puede incrementar el nivel de acidez del suelo, afectando negativamente el crecimiento de vegetales. Por otro lado, el compostaje, al utilizar residuos orgánicos en descomposición presenta una mejor estabilidad química que favorece las

condiciones del suelo. En los demás casos, las comparaciones entre grupos mostraron correlaciones bajas (Gebrekidan et al., 2025).

Figura 7. Matriz de correlación de Spearman para la variable fertilidad.

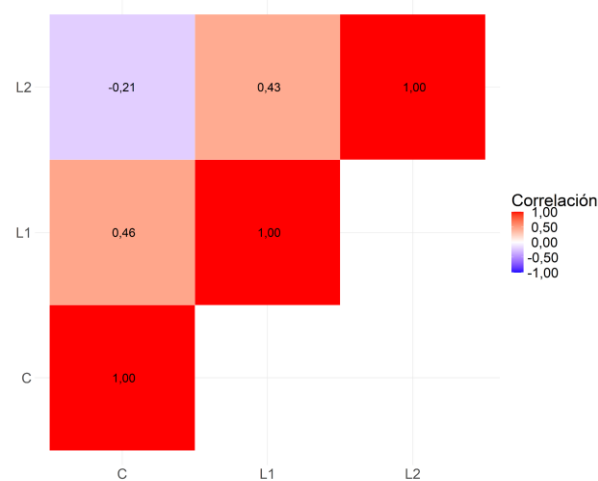


Nota: Los coeficientes de la correlación de Spearman se representan mediante una escala de color, donde los tonos más intensos indican correlaciones más altas. La figura se generó con los datos procesados en RStudio (2024).

Fuente: Elaborada por los autores.

Finalmente, la variable *pH* (figura 8), se observa una correlación positiva moderada en los grupos C y L1 con un coeficiente de 0.46 y en los grupos L1 y L2 con un valor correlacional de 0.43. Estos valores indican que tanto en el compostaje y vermicompostaje presentan una proporcionalidad directa. Se puede argumentar que los desechos orgánicos y el humus proporcionado por las lombrices origina que el *pH* se incremente debido a la concentración de nutrientes, esto resulta muy beneficioso para cualquier proceso de cultivo siempre y cuando exista una estabilidad o equilibrio en la composición química (Terefe et al., 2024).

Figura 8. Matriz de correlación de Pearson para la variable *pH*.



Nota: Los coeficientes de la correlación de Pearson se representan mediante una escala de color, donde los tonos más intensos indican correlaciones más altas. La figura se generó con los datos procesados en RStudio (2024).

La aplicabilidad del proceso de vermicompostaje depende de diversos factores que inciden en su ejecución directa o indirecta. Uno de los factores es el tratamiento adecuado de las lombrices, que incluye el cuidado del hábitat, alimentación, entre otras. La finalidad es garantizar una funcionalidad óptima de las lombrices y el correcto uso del suelo enriquecido de nutrientes que aporta el humus. La *temperatura* es una variable fundamental al utilizar lombrices, los resultados mostraron que en los grupos analizados la temperatura oscila entre 10 y 20.6 °C, lo que concuerda parcialmente con la investigación realizada por Rincones et al. (2023), donde señalan que la temperatura ideal es de 20 y 30 °C. La variación observada puede deberse por la ubicación geográfica y a las características de cada región (Sierra o Costa).

Respecto a la variable *fertilidad*, los resultados mostraron valores entre 4 y 8, considerados como ideales para el proceso de cultivo según las especificaciones técnicas establecidas en el manual de Luster Leaf Products, Inc. (2024). Las concentraciones de los nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio desempeñan un papel importante en la calidad del suelo y una buena alimentación que reciba las lombrices es crucial para lograr parámetros ideales. Sin embargo, la humedad en el hábitat de las lombrices debe controlarse cuidadosamente. Rincones et al. (2023) manifiestan que el rango óptimo oscila entre el 70 y 80%, y que valores superiores podrían perturbar la piel de las lombrices, afectando directamente la respiración.

Por otro lado, la variable *pH* mostró valores entre 6 y 7,6; considerados en un rango óptimo para procesos de cultivo y favorable para la supervivencia de las lombrices. Además, en este rango de *pH*, todos los nutrientes minerales esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) están disponibles para los cultivos en cantidades suficientes. No obstante, un suelo demasiado ácido impide que las bacterias que descomponen la materia orgánica puedan vivir (Barrow y Hartemink, 2023).

Con respecto al equipo rapitest digital 3-way analyzer, este es un dispositivo portable semicuantitativo, cuya funcionalidad es reportar valores de fertilidad en forma de rangos o escalas, y no como mediciones exactas expresadas en ppm. Esto limita la comparabilidad directa con el análisis de laboratorio, no obstante, la justificación para su uso en la presente investigación fue por su accesibilidad, bajo costo y replicabilidad en contextos educativos o comunitarios, aunque es recomendable la validación y calibración frente a un análisis de referencia en estudios futuros (Pal et al., 2024). El uso de equipos portátiles es apropiado para realizar actividades pedagógicas y obtener diagnósticos rápidos, sin embargo, en proyectos que tengan como fin establecer normativas o políticas a gran escala, es conveniente incorporar procesos de validación analítica y el incremento del tamaño muestral para conseguir mayor precisión y robustez en los resultados (Kohl et al., 2025).

En cuanto a las variables ambientales externas, se controlaron factores intrínsecos (uso de cubierta y estandarización en el horario para la toma de datos), así como la variabilidad geográfica y situaciones climáticas propias del sector, las cuales pueden diferir con estudios aplicados en otras regiones. Por ende, resulta de gran importancia replicar este tipo de investigaciones en diversos contextos y localizaciones, con la finalidad de fortalecer la validez externa de los resultados (Ngaba et al., 2024).

CONCLUSIONES

El análisis de las variables *temperatura*, *fertilidad* y *pH* mostraron un comportamiento distinto al comparar los grupos C, L1 y L2. El *pH* presentó la menor dispersión, con promedios de 6.77 (± 0.394) en C, 6.88 (± 0.349) en L1 y 6.71 (± 0.348) en L2, lo que evidencia una mejor estabilidad entre la comparación de grupos. Por otro lado, la temperatura mostró una mayor variabilidad, con promedios de 12.6 ($\pm 2.75^\circ\text{C}$) en C, 13.3 ($\pm 2.95^\circ\text{C}$) en L1 y 12,6 ($\pm 2.39^\circ\text{C}$) en L2, variación asociada a la presencia de humedad tanto en la descomposición de los alimentos en el compostaje como en el humus

generado en el vermicompostaje. Finalmente, la fertilidad tuvo una variabilidad moderada, con promedio de 6.22 (± 1.30) en C, 4.78 (± 0.667) en L1 y 5.89 (± 1.17) en L2, manteniéndose dentro de rangos ideales para la concentración de nutrientes.

Al comparar los grupos por cada variable, la temperatura mostró una alta correlación ($r = 0.8$) entre los grupos C y L2, demostrando que la actividad microbiana, descomposición de residuos orgánicos y el humus de las lombrices influyen en el compostaje y vermicompostaje respectivamente. En los demás casos, la comparación de grupos presentó correlaciones bajas y moderadas en las variables *fertilidad* ($r = 0.15$ entre C y L2; $r = 0.09$ entre L1 y L2) y *pH* ($r = -0.21$ entre C y L2; $r = 0.43$ entre L1 y L2) respectivamente, evidenciando diferencias en la dinámica de estos parámetros.

El uso de estadística descriptiva e inferencial en este tipo de variables permitió comprobar la funcionalidad y viabilidad de realizar actividades de compostaje y vermicompostaje. Asimismo, la comparación mediante el compostaje evidenció en qué medida el suelo favorece el proceso de cultivo mediante la concentración de nutrientes. Estos resultados son de utilidad para la toma de decisiones, sobre todo para optimizar la manipulación de materia orgánica y el manejo de lombrices, procurando prácticas amigables con el medio ambiente y saludables para el ser humano cuando se utiliza este tipo de suelo en los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, M. R., Ramírez S, C. y Cadena C, L. F. (2024). Las prácticas agrícolas tradicionales para enfrentar retos medioambientales: una revisión sistemática de la literatura publicada entre 2020 y 2024. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 932-954. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13474
- Barrow, N. J. y Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 487(1), 21-37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
- Cando, L. E. C., Vaca, C. V. B., Cabezas, L. A. M. y Carrión, E. N. Q. (2024). Potencialidades de la lombricultura, en la educación ambiental, para optimizar el aprendizaje de la química verde. *Polo del Conocimiento*, 9(2), 807–827. <https://acortar.link/z8TWL6>
- Carvalho, A. M. y Cirión, L. E. C. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990-1013. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641
- Elissen, H. J. H., van der Weide, R. y Gollenbeek, L. (2023). *Effects of vermicompost on plant and soil characteristics – a literature overview* (Informe WPR-OT 995). Wageningen Research. <https://doi.org/10.18174/587210>
- Enríquez, J. T. (2021). *Los abonos orgánicos: Ventajas y desventajas en los cultivos hortícolas de la costa ecuatoriana* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio institucional. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9284>
- Gebrekidan, L., Wogi, L. y Chimdi, A. (2025). Integrated effect of NPS and vermicompost addition on the selected soil properties at the Bako Agricultural Research Center in Gobu Sayo District Western Oromia, Ethiopia. *Discover Agriculture*, 3(1), 27. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00129-9>
- González-Jiménez, Y. y Villalobos-Morales, J. (2021). Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de

- trampas de grasa y aceite. *Revista tecnología en marcha*, 34(2), 11-22. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i2.4843>
- Ho, T. T. K., Le, T. H., Tran, C. S., Nguyen, P. T., Vo, T. D. H., Thai, V. N., y Bui, X. T. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100211. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100211>
- Hinojosa-Meza, R., Olvera-Gonzalez, E., Escalante-Garcia, N., Dena-Aguilar, J. A., Montes Rivera, M., y Vacas-Jacques, P. (2022). Cost-Effective and Portable Instrumentation to Enable Accurate pH Measurements for Global Industry 4.0 and Vertical Farming Applications. *Applied Sciences*, 12(14), 7038. <https://doi.org/10.3390/app12147038>
- Katiyar, R. B., Sundaramurthy, S., Sharma, A. K., Arisutha, S., Pratap-Singh, A., Mishra, S., Ayub, R., Jeon, B.-H., y Khan, M. A. (2023). Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 15(20), 14701. <https://doi.org/10.3390/su152014701>
- Kohl, L., Vielhauer, C., Ozturk, A., Minarsch, E.-M. L., Ahl, C., Niether, W., Clifton-Brown, J. y Gatteringer, A. (2025). Field Evaluation of a Portable Multi-Sensor Soil Carbon Analyzer: Performance, Precision, and Limitations Under Real-World Conditions. *Soil Systems*, 9(3), 67. <https://doi.org/10.3390/soilsystems9030067>
- Luster Leaf Products Inc. (2024). *Rapitest digital 3way soil analyzer: Instructions (Manual del modelo 1835)*. <https://acortar.link/Y31XFV>
- Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D. y Mishra, R. P. (2021). Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter*, 1, 85-90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13546.95689>
- Molina, J. C. T. y de la Guerra, C. G. C. (2025). Estrategia de Química Verde para el Manejo Sostenible de Residuos Orgánicos de la Agricultura Ecuatoriana: Un Enfoque Ecológico y Técnico de Lombricultura. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 6(15), 461-472. <https://doi.org/10.56519/h46w7191>
- Monta-Calle, D. y Yáñez-Moreta, P. (2023). Consideraciones para un prototipo de estación de lombricultivo y el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en una institución de educación superior de Quito. *Polo del Conocimiento*, 8(9), 300-323. <https://acortar.link/inEChH>
- Ngaba, M. J. Y., Mgelwa, A. S., Gurmesa, G. A., Uwiragiye, Y., Zhu, F., Qiu, Q., ... y Rennenberg, H. (2024). Meta-analysis unveils differential effects of agroforestry on soil properties in different zonobiomes. *Plant and Soil*, 496(1), 589-607. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06385-w>
- Nova, M. L., Ferronato, N., Ragazzi, M. y Torretta, V. (2019). Vermicomposting process for treating animal slurry in Latin American rural areas. *Waste Management y Research*, 37(6), 611-620. <https://doi.org/10.1177/0734242X19839483>
- Oyege, I. y Balaji Bhaskar, M. S. (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting sustainable agriculture. *Soil Systems*, 7(4), 101. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
- Pacheco, A. M., Porras, I. D. y Rodríguez, D. A. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista Habitus: Semilleros de investigación*, 1(2), 12181. <https://doi.org/10.19053/22158391.12181>

- Pal, A., Dubey, S. K., Goel, S. y Kalita, P. K. (2024). Portable sensors in precision agriculture: Assessing advances and challenges in soil nutrient determination. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 180, 117981. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2024.117981>
- Pimentel, K. R., Pérez, D. M., Peña, L. E. T., Revol, M. M. y Reyes, D. M. (2023). Efecto de la utilización de estiércol porcino y caprino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foétida* (Lombriz roja californiana). *Ecovida*, 13(2), 58-65. <https://acortar.link/wLmact>
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A. y Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20. <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642023000200011>
- Ruiz-Gonzalez, A., Kempson, H. y Haseloff, J. (2024). Development of a Low-Cost Sensor System for Accurate Soil Assessment and Biological Activity Profiling. *Micromachines*, 15(11), 1293. <https://doi.org/10.3390/mi15111293>
- Schwamback, D., Persson, M., Berndtsson, R., Bertotto, L. E., Kobayashi, A. N. A. y Wendland, E. C. (2023). Automated Low-Cost Soil Moisture Sensors: Trade-Off between Cost and Accuracy. *Sensors*, 23(5), 2451. <https://doi.org/10.3390/s23052451>
- Serdar, C. C., Cihan, M., Yücel, D. y Serdar, M. A. (2021). Sample size, power and effect size revisited: simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. *Biochemia médica*, 31(1), 010502. <https://hrcak.srce.hr/252075>
- Singh, V., Wyatt, J., Zoungrana, A. y Yuan, Q. (2022). Evaluation of Vermicompost Produced by Using Post-Consumer Cotton Textile as Carbon Source. *Recycling*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.3390/recycling7010010>
- Terefe, Z., Feyisa, T., Molla, E. y Ejigu, W. (2024). Effects of vermicompost and lime on acidic soil properties and malt barley (*Hordeum Distichum* L.) productivity in Mecha district, northwest Ethiopia. *PloS One*, 19(12), e0311914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0311914>
- Zhang, H., Li, J., Zhang, Y., y Huang, K. (2020). Quality of Vermicompost and Microbial Community Diversity Affected by the Contrasting Temperature during Vermicomposting of Dewatered Sludge. *International journal of environmental research and public health*, 17(5), 1748. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051748>
- Zhou, Y., Zhang, D., Zhang, Y., Ke, J., Chen, D. y Cai, M. (2021). Evaluation of temperature on the biological activities and fertility potential during vermicomposting of pig manure employing *Eisenia fetida*. *Journal of Cleaner Production*, 302, 126804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126804>



GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Percepción del cambio climático y análisis climático local en Sontecomapan, Veracruz, México.

Perception of climate change and local climate analysis in Sontecomapan, Veracruz, Mexico.

Percepção das mudanças climáticas e análise do clima local em Sontecomapan, Veracruz, México.

**Mario Castelán Lorenzo,
Joaquín Parra Álvarez, Ulises Iván López Reyes,
Jorge Antonio Bustillos Herrera**
Universidad Autónoma Chapingo, México
mcastelanl@chapingo.mx

Artículo científico

Enviado: 2/5/2025
Aprobado: 13/8/2025
Publicado: 29/9/2025

RESUMEN

El cambio climático ha alterado los fenómenos meteorológicos en todo el mundo, con lo que se ha afectado al natural y social. El objetivo de este trabajo fue identificar las causas, efectos, impactos y consecuencias de este fenómeno mundial en Sontecomapan, Veracruz, para lo cual se rescataron testimonios de los habitantes locales y se contrastaron con la climatología disponible en el Servicio Meteorológico Nacional usando las normales climatológicas del periodo 1960-2020 con el uso del método de investigación cualitativo-descriptivo. Como causas destacan la deforestación, contaminación atmosférica y cambio de uso de suelos; los efectos principales son el aumento de temperatura, disminución de las lluvias e incremento de la radiación solar. Los impactos principales son sequía, olas de calor y daños a la salud y como consecuencias sobresalen la afectación en cultivos y ganado, disminución en la calidad de vida y pobreza económica. Los registros climáticos indican que en el periodo 1961-1990 la precipitación era de 3878.5 mm y para el periodo 1991-2020, fue de 3791.8 mm, mientras que la temperatura máxima incrementó de 28.3°C a 29.3°C y la temperatura media de 24.2°C a 24.5°C, con oscilaciones mensuales importantes. Al saber que el cambio climático es una realidad los habitantes sugieren adoptar y practicar medidas de adaptación y mitigación inmediatas.

Palabras clave: aumento térmico, precipitación extrema, variabilidad climática.

ABSTRACT

Climate change has altered weather phenomena around the world, affecting both the natural and social environments. The objective of this study was to identify the causes, effects, impacts, and consequences of this global phenomenon in Sontecomapan, Veracruz. To this end, testimonies from local residents were collected and compared with the climatology available from the National Meteorological Service using climatological normal for the period 1960-2020, employing a qualitative-descriptive research method. The causes include deforestation, air pollution, and land-use change; the main effects are increased temperature, decreased rainfall, and increased solar radiation. The main impacts are drought, heat waves, and health damage, and the consequences include damage to crops and livestock, a decline in quality of life, and economic poverty. Climate records indicate that precipitation was 3,878.5 mm between 1961 and 1990, and 3,791.8 mm between 1991 and 2020. The maximum temperature increased from 28.3°C to 29.3°C, and the

average temperature went from 24.2°C to 24.5°C, with significant monthly fluctuations. Knowing that climate change is a reality, residents suggest adopting and practicing immediate adaptation and mitigation measures.

Keywords: climate variability, extreme precipitation, thermal increase.

RESUMO

A mudança climática alterou os fenômenos meteorológicos ao redor do mundo, afetando tanto o ambiente natural quanto o social. O objetivo deste estudo foi identificar las causas, efeitos, impactos e consequências desse fenômeno global em Sontecomapan, Veracruz. Para tanto, foram coletados depoimentos de moradores locais e comparados com a climatologia disponível no Serviço Nacional de Meteorologia, utilizando normais climatológicas para o período de 1960 a 2020, empregando um método de pesquisa qualitativo-descritivo. As causas incluem desmatamento, poluição do ar e mudanças no uso da terra; os principais efeitos são o aumento da temperatura, a diminuição da precipitação e o aumento da radiação solar. Os principais impactos são a seca, as ondas de calor e os danos à saúde, e as consequências incluem danos às plantações e ao gado, declínio na qualidade de vida e pobreza econômica. Os registros climáticos indicam que a precipitação foi de 3.878,5 mm entre 1961 e 1990, e de 3.791,8 mm entre 1991 e 2020. A temperatura máxima aumentou de 28,3 °C para 29,3 °C, e a temperatura média, de 24,2 °C para 24,5 °C, com flutuações mensais significativas. Conscientes de que as mudanças climáticas são uma realidade, os moradores sugerem a adoção e a prática imediata de medidas de adaptação e mitigação.

Palavras-chave: aumento térmico, precipitação extrema, variabilidade climática.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura media global como consecuencia del efecto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se han acumulado en la atmósfera provocando su alteración, de tal manera que el calentamiento global, constituye una fase importante del cambio climático antropogénico cuyas manifestaciones ya se hicieron evidentes (IPCC, 2023), como lo refiere Thunberg (2022) con la participación de más de 100 científicos de todo el mundo; ante esta situación sugiere continuar investigando los impactos y consecuencias a nivel global, regional y local. El último informe del IPCC en marzo de 2023 señaló que la temperatura ha aumentado 1.1 °C desde los niveles preindustriales, lo que ha provocado la intensificación de los fenómenos meteorológicos en todo el mundo afectando las actividades productivas primarias de las que no escapan la agricultura, ganadería y forestería, siendo la agricultura de temporal la principal afectada (Bernal *et al.* 2021).

Por otro lado, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2021) América Latina y el Caribe es una de las regiones del mundo que más ha sido afectada por el cambio climático, cuya intensificación de fenómenos meteorológicos ya está causando graves daños a la salud, al agua, a la energía y al desarrollo socioeconómico de la región; por ejemplo, se han presentado las peores sequías e incendios en los últimos 50 años en el Sur de la selva amazónica, así como huracanes e inundaciones en Centroamérica y el Caribe. México no se escapa de esta situación, siendo uno de los países que tendrán consecuencias negativas (Diario Oficial de la Federación, 2020). Sin embargo, las ideas y percepciones que los distintos grupos sociales tienen en relación al cambio climático difieren en cuanto a los países y zonas geográficas; por ejemplo, en México, debido a la complejidad del territorio nacional, las opiniones en torno a las afectaciones son diferentes en las zonas costeras, la altiplanicie y las regiones áridas y semiáridas, ello se debe en parte a la localización geográfica, contexto territorial

y variables sociodemográficas como género, ocupación y lugar de residencia, rural o urbana (Castelán y Rivera, 2023; Gómez *et al.* 2020; Vázquez-Luna *et al.* 2024).

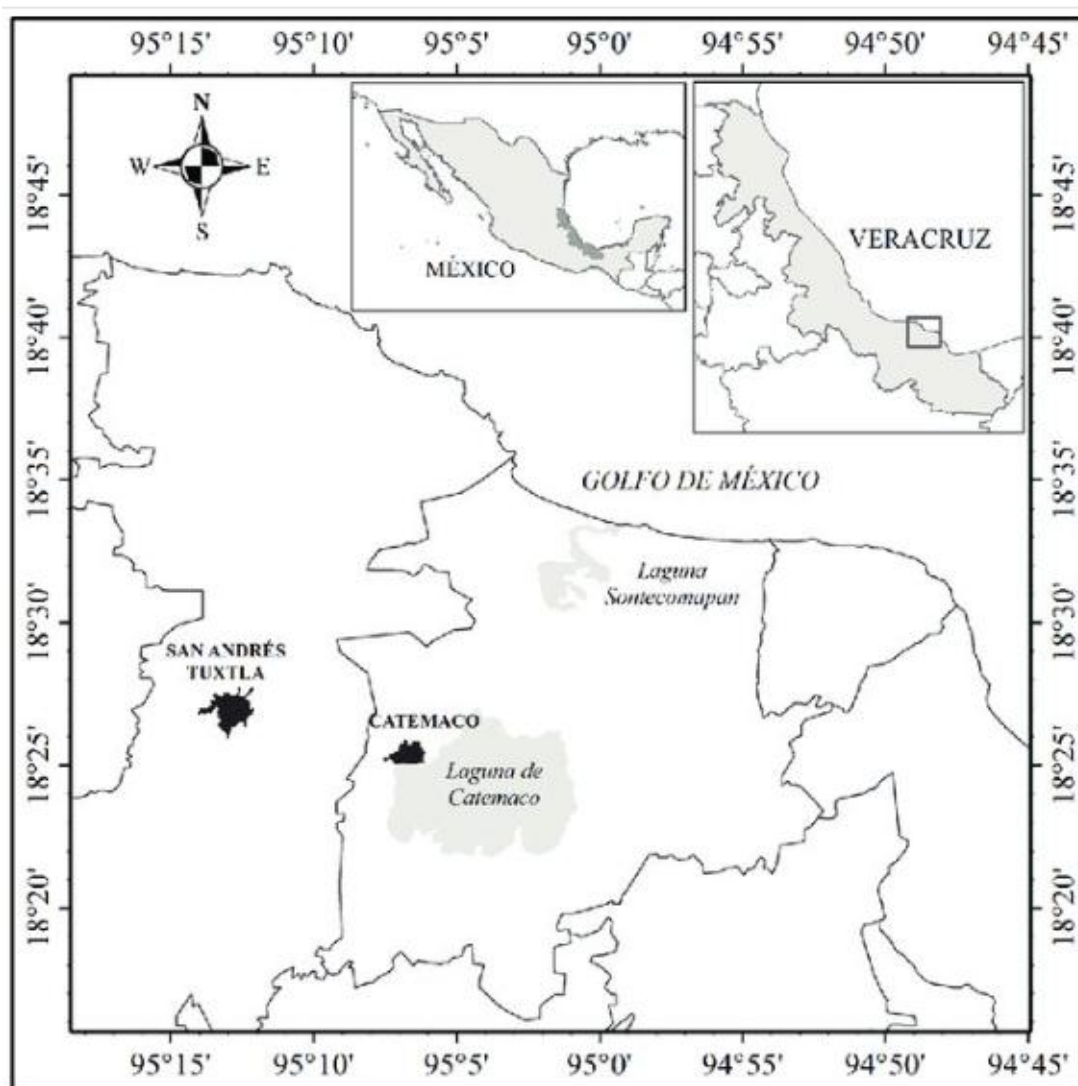
De esta forma, las afectaciones son distintas en el Norte, centro, y Sur del país. Lo que es un hecho es que el cambio climático está afectando el comportamiento de los fenómenos hidrometeorológicos a escala global, siendo común escuchar que la sequía se ha intensificado en el Norte de México, contrariamente en la zona centro, donde las inundaciones son más frecuentes e intensas, mientras que en el Sur del país las lluvias son extremas por efecto de los ciclones tropicales, en relación con el elemento precipitación, y en cuanto a temperatura las percepciones son que estas han aumentado no sólo en México, sino en toda Mesoamérica, tal y como lo señalan Mardero *et al.* (2023). Los fenómenos meteorológicos son impredecibles, año con año, las noticias informan sobre las pérdidas de cosechas por sequía y heladas, los ganaderos reportan pérdidas económicas por la muerte de sus animales por falta de agua, pero en la temporada de lluvias, sucede lo contrario, se presentan inundaciones y lluvias extremas. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar las causas, efectos, impactos y consecuencias del cambio climático en la comunidad de Sontecomapan, perteneciente al municipio Catemaco, estado Veracruz y contrastarlo con la climatología local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron 120 entrevistas con una muestra por conveniencia de tipo no probabilístico (Otzen y Manterola, 2017), con enfoque mixto de tipo cualitativo-descriptivo, dirigidas a los habitantes de Sontecomapan, perteneciente al municipio Catemaco, Veracruz (*figura 1*). El tamaño de la muestra se debió a la dificultad de acceder a una muestra aleatoria de la población objetivo, en este caso, personas de la tercera edad, por ello, se seleccionaron participantes de diferentes edades y niveles socioeconómicos de acuerdo con la disponibilidad de entrevistadores y al tiempo destinado para realizar las entrevistas. El guion de las entrevistas fue de tipo semiestructurado, el cual permite al entrevistador formular las preguntas planteadas, pero también puede proponer otros ejes de conversación, en este caso, derivadas del tema en cuestión y el entrevistado puede profundizar en el tema de su interés (Pablo, 2015). Las preguntas se enfocaron en la definición y concepto de cambio climático, comportamiento de los fenómenos naturales, causas, efectos, impactos y consecuencias en los medios de vida, actividades agropecuarias, pesca y silvicultura, fuentes de información, así como algunas medidas de adaptación y mitigación. El *Anexo 1* muestra el guion de entrevista empleado para recabar la información.

De acuerdo con Forni y De Grande (2020) la metodología mixta integra datos cuantitativos y cualitativos pues compara resultados sobre parámetros climáticos con datos cualitativos sobre percepción comunitaria del cambio climático. Las entrevistas permiten al entrevistador y entrevistado emplear la comunicación interpersonal o dialógica que, de acuerdo con Naranjo (2008) en la comunicación asertiva es la que se da de persona a persona o “cara a cara”, ambos se reconocen como partes de un objetivo común para esclarecer el significado de la temática abordada. Las respuestas proporcionadas por los habitantes se clasificaron y ubicaron en los parámetros causas, efectos, impactos y consecuencias del cambio climático con las que se realizaron gráficas con los respectivos porcentajes desde el punto de vista o percepción de los habitantes.

Figura 1. Ubicación del área objeto de estudio, Sontecomapan, Veracruz, México.



Fuente: Monroy y Gibert (2013).

Se relacionó la percepción del cambio climático de los pobladores derivada de los testimonios rescatados con el análisis de la climatología local usando la información climatológica disponible en el Servicio Meteorológico Nacional a través de la comparación de los elementos temperatura (°C) y precipitación (mm) de las normales climatológicas del período 1960-2020 (Comisión Nacional del Agua, 2022). Para obtener la tendencia y comportamiento de la precipitación y temperatura en el período de tiempo referido, se graficaron dos series de 30 años, 1960-1990 y 1990-2020, analizando los valores medios mensuales, lo que permitió comparar y observar probables cambios o variabilidad climática, para lo cual se estimaron los estadísticos básicos: desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximo, medio y mínimo y los rangos de oscilación.

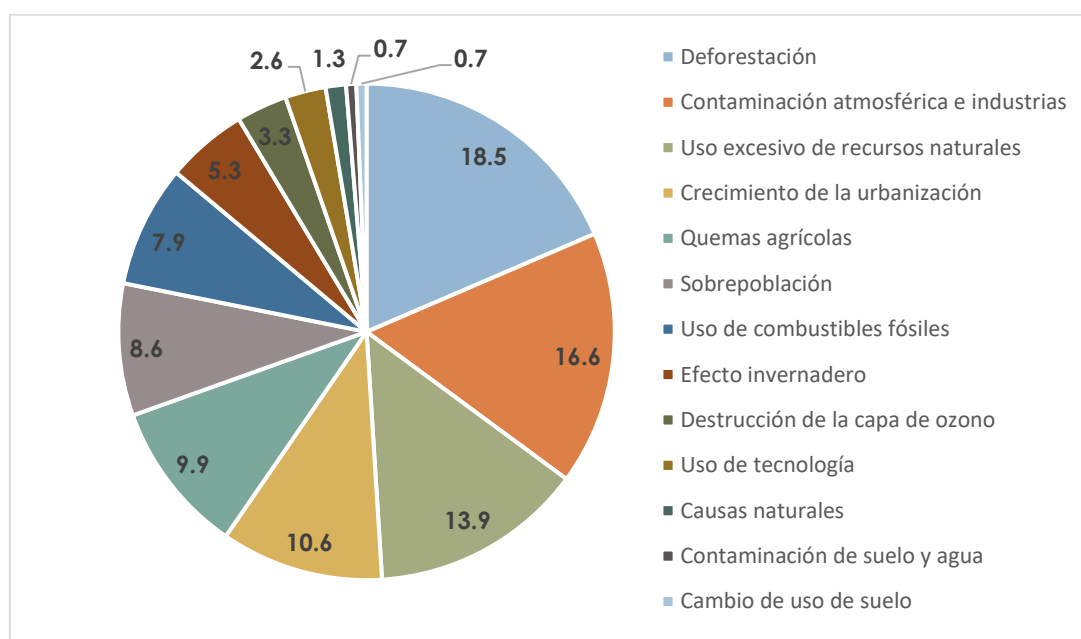
De acuerdo con García (2004) Sontecomapan presenta un clima del tipo cálido húmedo, Am(f), con lluvias de verano y con influencia de monzón, pues se ubica en la vertiente del Golfo de México y es considerada como zona vulnerable a afectaciones por hidrometeoros (Gobierno del Estado de Veracruz, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la Real Academia Española (2024) una causa es aquello que se considera como el fundamento u origen de algo, así, el fundamento del cambio climático tiene varias causas, entre ellas naturales y humanas, como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que tienen su origen en la contaminación atmosférica. De ahí que la complejidad del estudio del cambio climático sea multifactorial y la influencia en el planeta sean globales, regionales y locales (Naciones Unidas, s.f.). Diversas fuentes de noticias vierten las causas, los efectos, los impactos y las consecuencias generalizadas, muchas de ellas se refieren al aumento en la temperatura, disminución y/o aumento de las lluvias, calentamiento de las aguas oceánicas, deshielo de los glaciares, aumento en el nivel del mar, entre otros, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos desde que surgió la ciencia del cambio climático (Lugo y Inbar, 2002; Lieberman y Gordon, 2021; Organización Meteorológica Mundial, 2021). Por eso es un tema que genera debate y controversias, por su complejidad. Los comentarios y percepciones que los habitantes expresaron se detallan a continuación.

Causas del cambio climático: Las causas que han originado el cambio climático son bastas. Para que se presenten cambios en el clima tiene que haber acciones que lo provoquen, pueden ser naturales o humanas que operan en diversas escalas de tiempo desde minutos hasta millones de años (Lieberman y Gordon, 2021; IPCC, 2014; IPCC, 2023). En la actualidad se le denomina cambio climático antropogénico, atribuyendo como principal causa a las actividades humanas (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023). Los habitantes de Sontecomapan refirieron 151 respuestas con los porcentajes respectivos (*figura 2*), donde destacan deforestación, contaminación atmosférica por industrias diversas y el uso excesivo de recursos naturales como las principales, seguido del aumento en la urbanización, quemas agrícolas, sobrepoblación y uso de combustible fósiles, esta última a su vez es la causante de la liberación de gases de efecto invernadero que destruyen la capa de ozono. En este sentido, igualmente señalaron el uso de la tecnología como una causa importante al igual que las naturales, quedando en último lugar la contaminación de suelo y agua y cambio de uso de suelo que de manera indirecta contribuyen en gran manera en esta problemática.

Figura 2. Distribución porcentual de la percepción de las causas del cambio climático.

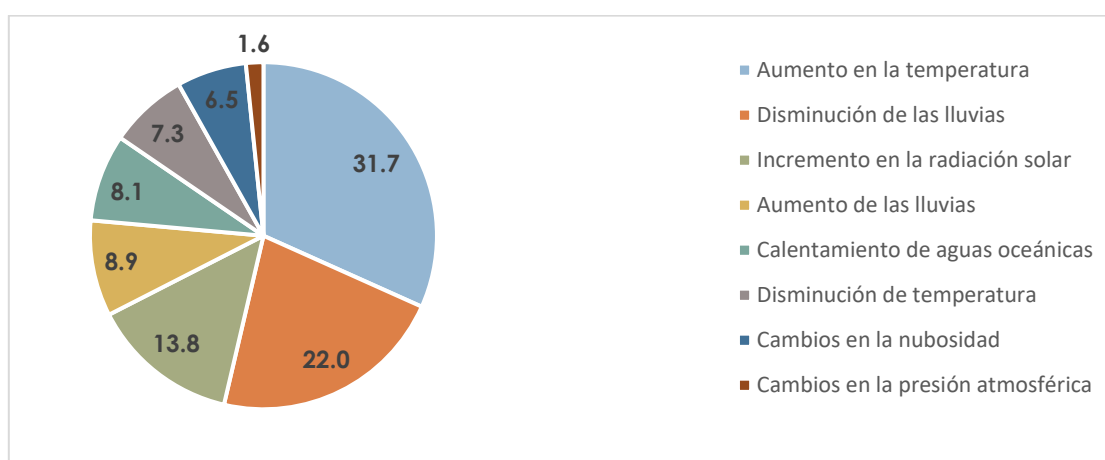


Fuente: Elaborada por los autores.

Efectos del cambio climático: El efecto es lo que le sigue a la causa, de tal manera que estos pueden variar en intensidad, presencia o tiempo de duración. En este rubro se obtuvieron 123 respuestas, de las que resalta el aumento en la temperatura, disminución de las lluvias y aumento de la radiación solar (*figura 3*).

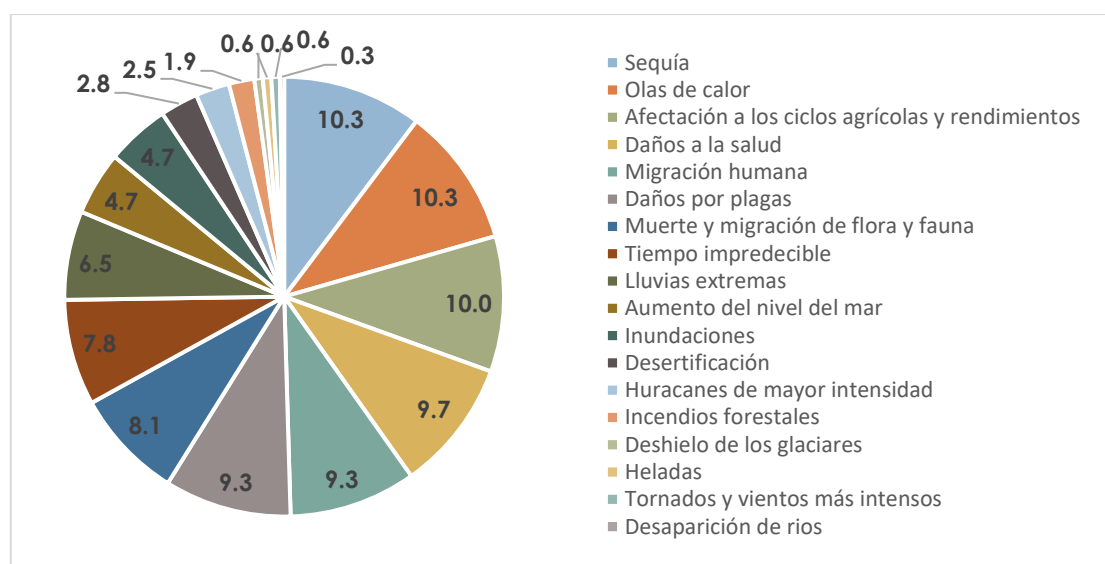
Impactos del cambio climático: El impacto es la manifestación o influencia del efecto, aunque suele confundirse con el efecto por los diversos contextos o aplicaciones, sobre todo porque los impactos pueden ser positivos y negativos, al igual que abarcan varios ejes como el ambiental, social, económico, ecológico, agronómico, entre otros. Se obtuvieron 321 respuestas, la *figura 4* muestra los porcentajes respectivos destacando la sequía, olas de calor, daños a la salud y tiempo impredecible como los principales.

Figura 3. Distribución porcentual de la percepción de efectos del cambio climático.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 4. Distribución porcentual de la percepción de impactos del cambio climático.

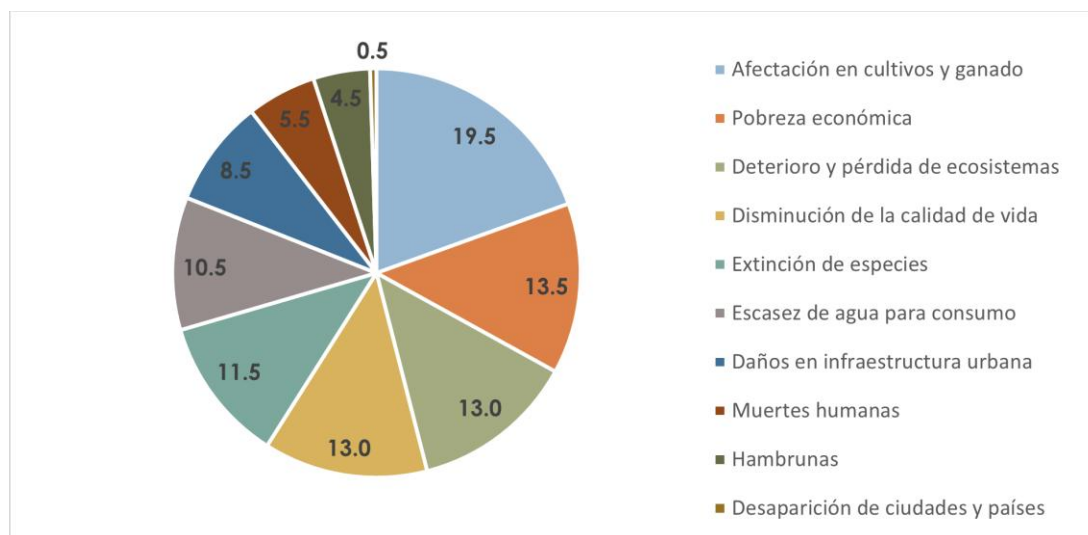


Fuente: Elaborada por los autores.

Consecuencias del cambio climático: Las consecuencias son las manifestaciones visibles y tangibles del impacto; por ejemplo, las inundaciones provocan pérdidas humanas y afectan la infraestructura urbana. Tan sólo en el sector agropecuario las sequías prolongadas impactan en el rendimiento de los

cultivos y forrajes para la alimentación del ganado, entre otras. El impacto denominado tiempo impredecible, puede expresarse como irregularidad en las lluvias provocando escasez de agua y su disponibilidad para las poblaciones humanas, así como riesgos y daños a la salud (Bernal *et al.* 2021). En este rubro se obtuvieron 200 respuestas. La *figura 5* muestra los porcentajes respectivos, entre las que destacan como principales la afectación en cultivos y ganado, pobreza económica, deterioro y pérdida de ecosistemas y disminución en la calidad de vida.

Figura 5. Distribución porcentual de la percepción de las consecuencias del cambio climático.



Fuente: Elaborada por los autores.

Los habitantes señalaron como principal consecuencia del cambio climático la afectación a los cultivos y ganado, por ser un lugar rural donde aún se practica la actividad agropecuaria, traducida en pobreza económica. Estas consecuencias son las que la humanidad debe evitar, por ello, el Acuerdo de París de 2015 señaló la diferencia entre el cambio climático peligroso y el cambio climático catastrófico (IPCC, 2023). El peligro se puede evitar y mitigar, pero la catástrofe no, de ahí que, los habitantes de esta zona deben adaptarse y mitigar con acciones locales cómo lo han hecho en otras zonas rurales e indígenas de México, reduciendo la vulnerabilidad del cambio climático (Green *et al.* 2020). Dicho Acuerdo definió el parteaguas entre el peligro y la catástrofe, y consiste en no rebasar los 2 °C en el aumento de la temperatura en los próximos años.

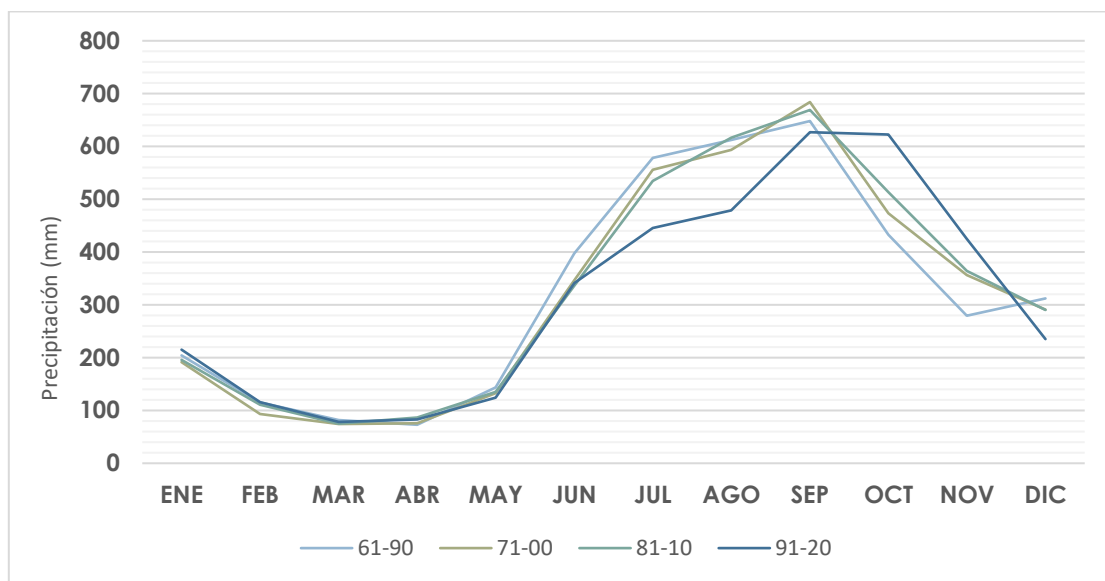
Análisis de la percepción local

Los habitantes señalaron cambios perceptibles con mayor intensidad en los últimos 5 y 10 años, pero ya iniciaban desde hace 15 y 20. Los comentarios de los pobladores versaron sobre los cambios muy frecuentes en el estado del tiempo, sobre todo que las lluvias se han reducido, a su vez, cuando se presentan son más intensas y agresivas; así, la cantidad de agua al ser mayor en un lapso más corto provoca inundaciones; además de los cambios bruscos en la temperatura. Al mismo tiempo, señalaron que la sequía se ha intensificado en los meses de abril y mayo, provocando un desequilibrio en el periodo de lluvias. La disminución de las lluvias se refiere a la cantidad mensual y anual, sobre todo en el verano, sin embargo, el aumento en las lluvias señalado por los pobladores como efecto, se refiere al hecho de que cae mucha agua en un solo evento extremo puntual y ello provoca un reparto desigual de la lluvia (Planos *et al.* 2013; Sikora *et al.* 2022).

Al contrastar lo expresado por los habitantes con la información climatológica disponible en el Servicio Meteorológico Nacional se encontró que la lluvia ha disminuido desde el año 1960 al año 2020, puesto

que en el periodo 1961-1990 la precipitación total anual era de 3878.5 mm y para el periodo 1991-2020, fue de 3791.8, expresado en un déficit de 86.7 mm. La *figura 6* muestra el comportamiento de la precipitación de cuatro periodos de tiempo reportados por el Servicio Meteorológico Nacional en las normales climatológicas. Se observa una disminución de las lluvias de junio a septiembre, justamente en el verano, con lo cual puede inferirse la sequía intraestival en el periodo 1991-2020; pero al mismo tiempo, se observa un incremento en la lluvia en los meses de octubre a noviembre, lo cual se explica por la mayor intensidad de los ciclones tropicales al ingresar más agua, que igualmente expresaron los lugareños (Rosengaus *et al.* 2021).

Figura 6. Comportamiento de la precipitación total anual en cuatro periodos de tiempo en Sontecomapan, Veracruz.

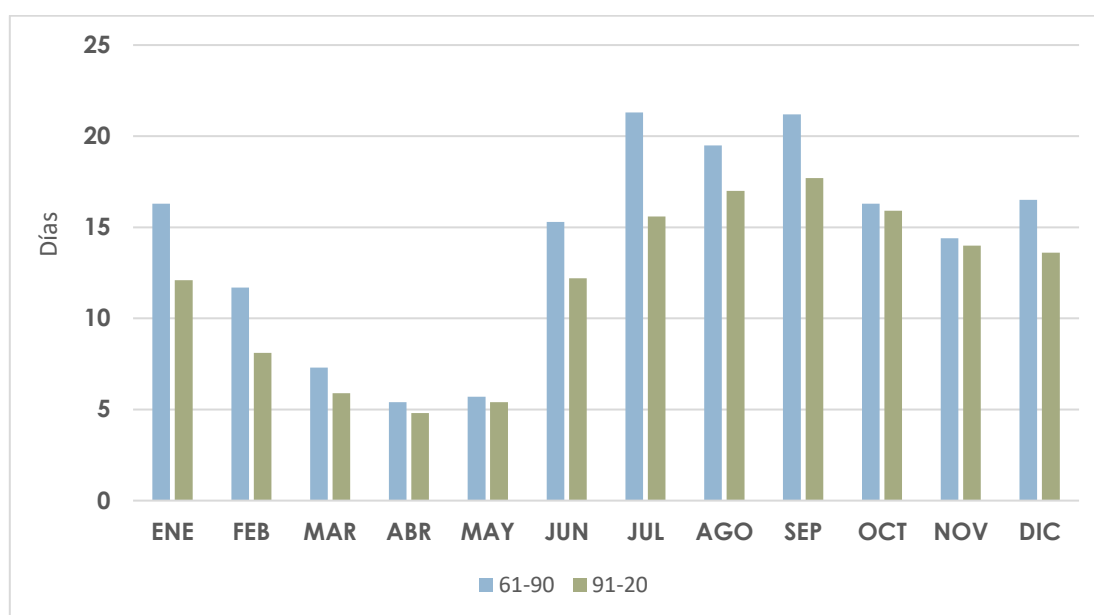


Fuente: Elaborada por los autores.

Varios estudios sobre la percepción del cambio climático en la actualidad refieren que los pobladores de zonas rurales no saben con exactitud cuándo ocurrirán las lluvias, pese a que la predicción de estas fechas es primordial para los ciclos agrícolas, los productores perciben la variación climática de los últimos años, destacando la disminución de las lluvias que se expresa en sequía. Todo ello lo relacionan con acciones antropogénicas como la deforestación y la contaminación principalmente, siendo innegable que el rendimiento de la producción agrícola ha disminuido con la alteración climática, reflejándose en los bajos ingresos económicos de los productores, situación que se ha agudizado en la última década (Soares y García, 2014; Castelán y Rivera, 2023; Vázquez-Luna, *et al.* 2024).

Los comentarios de los entrevistados concuerdan con el análisis de las lluvias puntuales extremas, así, la ocurrencia de una lluvia extrema se registró el 17 de agosto de 1989, con 310.9 mm, el 6 de octubre de 1991 llovieron 382.3 mm y el 15 de noviembre de 1997 precipitaron 305.4 mm; en el año 2000, el 17 de septiembre, se registraron 364.6 mm. En este lugar las lluvias se han caracterizado por superar los 300 mm, así, un evento extremo de esta naturaleza ocurrió el 14 de julio de 2006 donde llovieron 326.2 mm, pero se han desfasado, puesto que se han presentado en los meses secos con influencia de las lluvias frontales, de esta manera el 29 de enero de 2012 llovieron 247.6 mm y el 7 de febrero de 2018 llovieron 224 mm. Todo ello, afecta indudablemente la uniformidad de las lluvias y por supuesto los días con lluvia, pues en el periodo 1961-1990 el número de días con lluvia fue de 170.9 y bajó a 142.3 días para el segundo periodo (*figura 7*).

Figura 7. Número de días con lluvia en dos periodos de tiempo en Sontecomapan, Veracruz.

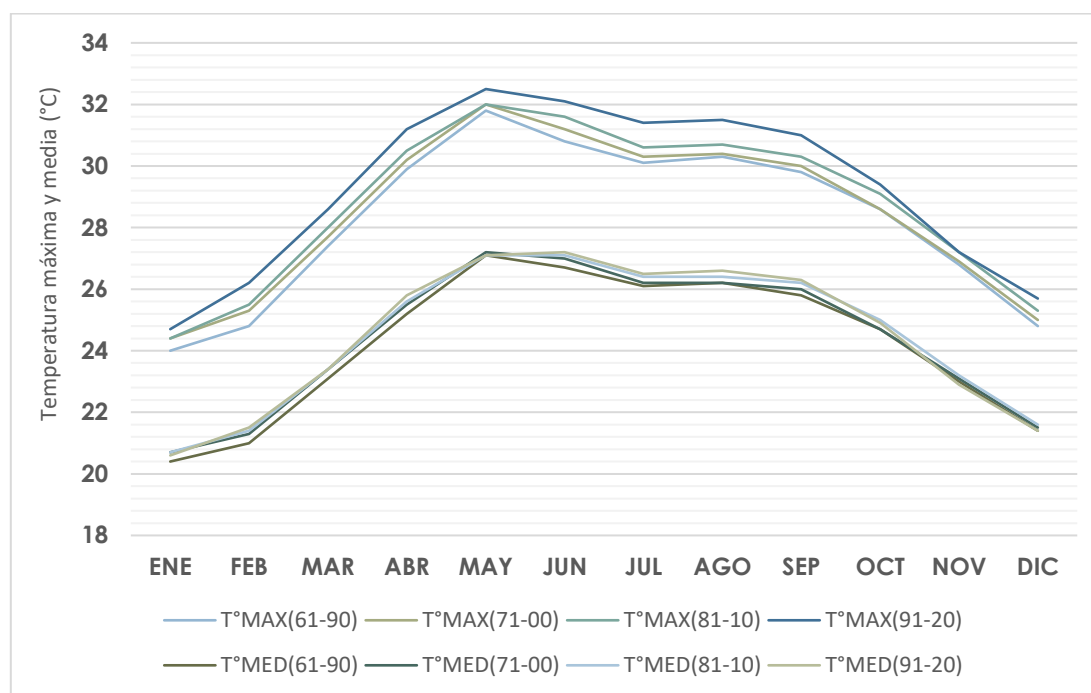


Fuente: Elaborada por los autores.

Respecto a la variable temperatura, los comentarios de los entrevistados concuerdan con las alteraciones en las temperaturas máximas, medias y mínimas, pues al comparar los periodos de tiempo referidos se observan cambios importantes. La temperatura máxima en el primer periodo era de 28.3°C y en el segundo fue de 29.3°C, el incremento es de 1°C; la temperatura media en el primer periodo era de 24.2°C y para el segundo fue de 24.5°C, el incremento fue de 0.3°C, sin embargo, las oscilaciones son mayores en algunos meses (*figura 8*).

Los estadísticos básicos (*tabla 1*) estimados para las variables consideradas no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) cuyos valores de p son: $T^{\circ}\text{Max} = 0.79$, $T^{\circ}\text{Med} = 0.98$, $T^{\circ}\text{Min} = 0.90$ y $PP = 0.99$, sin embargo, eso no quiere decir que no exista evidencia de cambio; así una etiqueta de significancia estadística no significa ni implica que una asociación o efecto sea altamente probable, real, verdadero o importante; a su vez, una etiqueta de no significancia no dice que la asociación o efecto sea improbable, ausente, falso o poco importante (Di Leo y Sardanelli, 2020) sobre todo en el estudio del cambio climático cuyos efectos son notables a diferentes escalas, ello en vista de que los fenómenos atmosféricos son en su mayoría irrepetibles en cuanto a comportamiento.

Figura 8. Comportamiento de las temperaturas máximas y medias de cuatro periodos de tiempo en Sontecomapan, Veracruz.



Fuente: Elaborada por los autores.

Tabla 1. Estadísticos estimados para la variable temperatura media mensual y precipitación de dos periodos de tiempo en Sontecomapan, Veracruz.

Parámetros	Temperatura Máxima (°C)		Temperatura Media (°C)		Temperatura Mínima (°C)		Precipitación (mm)	
	(61-90)	(91-20)	(61-90)	(91-20)	(61-90)	(91-20)	(61-90)	(91-20)
Promedio	28.3	29.3	24.2	24.5	20.1	19.7	3878.5	3791.8
Desviación estándar	2.64	2.73	2.36	2.43	2.13	2.14	209.77	202.41
Coficiente de variación	9.34	9.35	9.74	9.93	10.60	10.87	5.41	5.34
Mínimo	24	24.7	20.4	20.6	16.7	16.5	72.9	78.3
Máximo	31.8	32.5	27.1	27.2	22.6	22.2	648	626.9
Rango	7.8	7.8	6.7	6.6	5.9	5.7	575.1	548.6

Fuente: Elaborada por los autores.

Wang *et al.* (2023) señalan que la temperatura del agua en el Golfo de México aumentó aproximadamente $1,0^{\circ} \pm 0,25^{\circ}\text{C}$ entre 1970 y 2020 con una tasa de calentamiento para todo el Golfo de México de $0,86 \pm 0,26 \text{ W m}^{-2}$ cuya concentración del calor se ubica en los primeros 1000 metros de profundidad entre un 80% y 90%, con efectos negativos para la supervivencia del coral de aguas profundas (*Lophelia pertusa* L.) y el desove del atún rojo (*Thunnus thynnus* L.) que se han desplazado más al Norte (Lunden *et al.* 2014; Muhling *et al.* 2011). Pero una de las probables consecuencias del calentamiento es que podría provocar una mayor estratificación del O_2 y reducir su solubilidad en el agua (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023), con ello, se pueden mezclar menos nutrientes en las aguas superficiales repercutiendo negativamente en la producción de fitoplancton y eventualmente, reducir las poblaciones de especies marinas y con ello, la pesca comercial, que está

relacionada con la disminución en la calidad de vida, señalada como una de las principales consecuencias del cambio climático.

Lo anterior refleja la problemática ambiental¹, puesto que la reducción de la pesca tiene que ver con la extinción de especies, en este sentido los habitantes señalaron que han disminuido poblaciones de cangrejo azul, mojarra negra, jaiba, langostino, robalo, sierra, guachinango, mantarraya y lobo marino; que hasta hace unos 15 años eran abundantes en los ríos y lagunas asociados al manglar, aunado a la pesca excesiva. Así también la desaparición de nacimientos de agua y disminución del caudal de arroyos que abastecen a los cuerpos de agua. En este sentido, los habitantes mencionaron principalmente manantiales, donde antes tenían agua disponible todo el año, pero ahora ya no la hay, lo que representa una reducción en la disponibilidad de agua para consumo humano, destacan el río “Mata yegua” y el pozo “Agua caliente” que se han secado y el río “Ancho” que está próximo a desaparecer pues su caudal se encuentra en niveles bajos.

Uno de los cultivos principales en Sontecomapan es el chile (*Capsicum annuum* L.) y los habitantes refirieron que en décadas pasadas realizaban hasta ocho cortes y actualmente sólo realizan dos, además de la presencia de plagas difíciles de controlar; ante ello, Medina-García *et al.* (2017) al estudiar los efectos del cambio climático en este cultivo, encontraron una alteración en las temperaturas cardinales óptimas en el período 1981-2010 en el norte-centro de México, principalmente en los estados de Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes; donde aumentaron el número de horas en el rango óptimo, lo que representa una condición favorable para el cultivo, pero con un efecto desfavorable por aumentar el número de horas con temperaturas máximas por arriba del umbral superior en las temperaturas nocturnas, que se refleja en la reducción de la polinización, aumento del aborto en flores y frutos pequeños.

Álvarez-Vázquez *et al.* (2023) reportan la percepción del cambio climático de los pobladores en la selva Lacandona de Chiapas, contrastándola con índices climáticos y su influencia en el sistema milpa. Los hallazgos fueron que del periodo 1980-2016, la temperatura máxima aumentó 1.5 °C, la temperatura mínima aumentó 0.5°C y la precipitación disminuyó 500 mm, con ello, la siembra se retrasó por 20-30 días y la canícula se prolongó por más de 10 días. De esta manera, los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran la necesidad de ajustar los calendarios agrícolas de los cultivos locales, puesto que el desfase en las lluvias puede afectar la fenología y el rendimiento, al mismo tiempo se deben buscar cultivos alternativos que puedan adaptarse a los cambios futuros del clima.

CONCLUSIONES

Los testimonios y percepción de los habitantes de Sontecomapan revelan que el cambio climático no es ajeno al conocimiento popular, ya que el 100% de los entrevistados manifestaron con precisión lo que está ocurriendo a nivel local, puesto que relacionaron lo que se les mencionó en el guion de entrevista con lo que sucede en su entorno.

Entre las causas que más destacaron están la deforestación y contaminación atmosférica y de manera indirecta señalaron la contaminación de suelo y agua, además del cambio de uso de suelo. Los efectos principales que señalaron fueron el aumento de la temperatura y disminución de la lluvia, pero indicaron igualmente, aunque en menor porcentaje como efectos, cambios en la nubosidad y presión atmosférica.

¹ Entendido el ambiente como un “complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (Puerta, 2022, p. 5).

Los impactos mayormente mencionados fueron sequía y olas de calor y los que señalaron en menor porcentaje fueron tornados y vientos más intensos, así como desaparición de ríos. Finalmente, en el rubro consecuencias los habitantes indicaron en mayor porcentaje de acuerdo con su percepción afectaciones en cultivos agrícolas y ganadería, así como pobreza económica, y en menor porcentaje hambrunas y desaparición de ciudades y países.

Desde un enfoque cualitativo-descriptivo, basado en entrevistas semiestructuradas, se identificaron percepciones locales que revelan la correlación entre el conocimiento empírico y los datos climatológicos oficiales puesto que las tendencias de las variables climáticas hacen evidentes los cambios en cuanto a incrementos en la temperatura media y máxima y la reducción de la precipitación.

Entre las recomendaciones que los pobladores proponen destacan medidas tales como: practicar la pesca artesanal, limpieza de playas, sancionar a las industrias contaminantes, cuidado de los manglares, menos uso de lanchas de motor para el turismo y principalmente educar ambientalmente a toda la población. Las políticas públicas y gubernamentales en torno al cuidado de las zonas costeras, donde la reforestación de los manglares se torna urgente, serán clave para la mitigación climática tanto en Sontecomapan como en otros lugares con características similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Vázquez, J. L., Aguilar-Sánchez, G., Granados-Ramírez, R., Duch-Gary, J., Juárez-Méndez, J. y Tamara-Pedron, I. (2023). Análisis de indicadores extremos climáticos y la percepción local en dos comunidades de la selva Lacandona. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(7), 1-12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i7.2996>
- Bernal M. R., Velasco H. M. de los A., Morales A. T., Hernández V. M., Orozco F. S. y Jiménez L. J. (2021). Impacto de la variabilidad climática en la agricultura de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 17(4), 713–733. <https://acortar.link/31x4qu>
- Castelán, M. y Rivera, J. M. (2023). Percepción del cambio climático en Santa Rita del Mar, Oaxaca y su impacto en la agricultura. En O. R. Castro-Martínez, E. Velázquez-Cigarroa y J. C. Fontalvo-Buevas (Coords.), *Agricultura, huertos educativos y transformaciones socioecológicas: Experiencias significativas en México* (pp. 53–69). Azul de Samarcanda Ediciones.
- Comisión Nacional del Agua. (2022). Normales climatológicas del estado Veracruz. Servicio Meteorológico Nacional. <https://acortar.link/lnFSrT>
- Di Leo, G. y Sardanelli, F. (2020). Significación estadística: valor p, umbral de 0.05 y aplicaciones a la radiómica: razones para un enfoque conservador. *European Radiology Experimental*, 4(18). <https://doi.org/10.1186/s41747-020-0145-y>
- Diario Oficial de la Federación. (2020). *Acuerdo por el que se aprueba el Programa Institucional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://acortar.link/AwpT4Z>
- Forni, P. y De Grande, P. (2020). Triangulación y métodos mixtos. *Revista Mexicana de Sociología*, 82(1), 159-189. <https://acortar.link/ucBAKp>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://acortar.link/Omac0L>

- Gobierno del Estado de Veracruz. (2023). *Atlas de riesgos del estado de Veracruz 2023*. Secretaría de Protección Civil de Veracruz. <https://acortar.link/ZeCRBT>
- Gómez, M. L., Cortez, A. G. y Herrera, A. L. I. (2020). Estudios geográficos sobre el cambio climático en México. En L. Gómez-Mendoza y E. Caetano (Coords.), *El clima cambiante: una aproximación geográfica para México* (pp. 67-79). Bonilla Artigas Editores.
- Green, L., Schmook, B., Radel, C. y Mardero, S. (2020). Vivir la vulnerabilidad de los pequeños productores: la experiencia cotidiana del cambio climático en Calakmul, México. *Revista de geografía latinoamericana*, 19(2), 110–142. <https://dx.doi.org/10.1353/lag.2020.0028>
- Lieberman, B. y Gordon, E. (2021). *El cambio climático en la historia de la humanidad. Desde la prehistoria al presente*. Almuzara.
- Lugo, H. J. y Inbar, M. (2002). *Desastres naturales en América Latina*. Fondo de Cultura Económica.
- Lunden, J., McNicholl, C. G., Sears, C. R., Morrison, Ch. L. & Cordes, E. E. (2014). Acute survivorship of the deep-sea coral *Lophelia pertusa* from the Gulf of Mexico under acidification, warming, and deoxygenation. *Frontiers in Marine Science*, 1(78), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00078>
- Mardero, S., Schmook, B., Calmé, S., White, R. M., Joo-Chang, J. C., Casanova, G. y Castelar, J. (2023). Traditional knowledge for climate change adaptation in Mesoamerica: A Systematic Review. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1), 100473. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100473>
- Medina-García, G., Mena-Covarrubias, J., Ruiz-Corral, J. A., Rodríguez-Moreno, V. M. y Soria-Ruiz, J. (2017). El Cambio climático afecta el número de horas dentro de los rangos térmicos del Chile (*Capsicum annuum* L.) en el Norte-Centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1797-1812. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.703>
- Monroy, J. y Gibert, K. (2013). Percepción del cambio climático y análisis climático local en Sontecomapan, Veracruz. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 8(4), 218-242. <https://doi.org/10.46380/rias.v8.e498>
- Muhling, B., A., Lee, S. K., Lamkin, J. T. y Liu, Y. (2011). Predicting the effects of climate change on bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) spawning habitat in the Gulf of Mexico. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6), 1051–1062. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr008>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Acción por el clima. Causas y efectos del cambio climático*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Naranjo, M. L. (2008). Relaciones interpersonales adecuadas mediante una comunicación y conducta asertivas. *Actualidades Investigativas en Educación*, 8(1), 1-27. <https://doi.org/10.15517/aie.v8i1.9315>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). *Trends in atmospheric carbon dioxide. Global Monitoring Laboratory*. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020*. (OMM-N° 1272). <https://library.wmo.int/viewer/28227/>

- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. <https://n9.cl/s38>
- Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2023). Summary for policymakers. En *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Planos, E., Rivero, R. y Guevara, V. (2013). *Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba*. Instituto de Meteorología. Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología. <https://acortar.link/99XV6M>
- Puerta de Armas, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Real Academia Española. (2024). *Causa*. Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/causa>
- Rosengaus, M., Jiménez, M. y Vázquez, M. T. (2021). *Atlas climatológico de ciclones tropicales en México*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. <https://acortar.link/HBgiVu>
- Sikora, V. A., Medeiros, D., Rotunno, O. C., Rudke, A. P., Daza, C. y Nascimento, L. M. (2022). Spatio-temporal analysis of remotely sensed rainfall datasets retrieved for the transboundary basin of the Madeira River in Amazonia. *Atmósfera*, 35(1), 39–66. <https://doi.org/10.20937/ATM.52783>
- Soares, D. y García, A. (2014). Percepciones campesinas indígenas acerca del cambio climático en la cuenca de Jovel, Chiapas-México. *Cuadernos de Antropología Social*, (39), 63-89. <https://acortar.link/NIQgMk>
- Tenorio, R. (2015). *Expresión oral y escrita, elementos teóricos y analítica del discurso* (3ra reimpresión). Universidad Autónoma Chapingo.
- Thunberg, G. (Ed.). (2022). *El libro del clima*. LUMEN.
- Vázquez-Luna, M., Ellis, E. A., Navarro-Martínez, M. A., Cerdán-Cabrera, C. R. y Ortiz-Ceballos, G. C. (2024). Percepción pública sobre el cambio climático en la península de Yucatán, México. *Sociedad y Ambiente*, (27), 1-26. <https://doi.org/10.31840/sya.v2024i27.2935>
- Wang, Z., Boyer, T., Reagan J. y Hogan, P. (2023). Upper Oceanic Warming in the Gulf of Mexico between 1950 and 2020. *Journal of Climate*, 36(8), 2721-2734. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0409.1>

Anexo 1. Guion de entrevistas empleado en el trabajo de campo

Nombre de los entrevistadores:

La presente entrevista será dirigida en parejas. Puede pedir permiso al entrevistado para grabar la charla.

Datos Generales

Sexo: _____ Edad: _____

Ocupación: Agricultor (); Ganadero (); Pescador (); Comerciante (), Promotor turístico (),

Otro: _____

Nivel de Estudios: _____

Lugar: Ciudad o poblado _____

Tiempo que tiene viviendo en el lugar: _____

1. Ha escuchado hablar sobre el cambio climático global. Si () No () No sabe ()
2. ¿Usted cree que el clima ha variado? Si _____ No _____
3. ¿Desde cuándo ha percibido el cambio?
5 años _____ 10 años _____ 15 años _____ más _____
4. ¿Cuáles son las causas del cambio climático que ha visto o escuchado?
5. Con base en las causas que señaló, ¿cuáles cree que sean los efectos?
6. ¿Ha visto o sentido los impactos del cambio climático que se derivan de los efectos? Si _____ no _____ señale cuáles.
7. ¿Cuáles cree que sean las posibles consecuencias que se presentarán o ya están ocurriendo en su localidad?
8. De las siguientes opciones, ¿Qué tipo de cambios ha percibido?
Precipitación: _____ Más () Menos () No sabe ()
Temperatura: _____ Más () Menos () No sabe ()
Humedad: _____ Más () Menos () No sabe ()
Sequía: _____ Más () Menos () No sabe ()
Hace frío y calor a la vez: _____ si () no () no sabe ()
Lluvias más frecuentes: _____ si () no () no sabe ()
Vientos más intensos: _____ si () no () no sabe ()
Disminución del volumen de los cuerpos de agua: _____ si () no () no sabe ()
Desaparición de cuerpos de agua: _____ si () no ()
Ríos: _____ Arroyos: _____ Manantiales: _____ Lagunas: _____
Temperaturas extremas _____ ¿en qué mes se presentan? _____
Precipitaciones extremas o inundación _____ ¿en qué mes se presentan? _____
Sequías _____ ¿en qué mes se presentó? _____
Cambios en el patrón de lluvias _____ lluvias tempranas _____ lluvias tardías _____
Mayor número de huracanes _____
Reducción de la zona costera _____ incremento del nivel del mar _____
Pérdida o disminución de especies pesqueras _____
Pérdida de playa _____
Ha experimentado incremento en la temperatura del agua _____
Aparición de más enfermedades en su localidad atribuible al cambio climático _____

Las siguientes preguntas cierran la entrevista, el objetivo es identificar si el entrevistado contribuye al fenómeno de manera local, pero, además, si realiza alguna acción para mitigar o adaptarse al cambio climático.

Desde el punto de vista de la actividad que realiza, ¿Cómo contribuye al cambio climático? Los efectos o impactos pueden ser negativos o positivos.

¿Qué medidas practica o sugiere para adaptarse o mitigar el cambio climático?

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección General de Investigación, Posgrado y Servicio de la UACH por el financiamiento recibido a través del proyecto 25088-C-94. Así como a las autoridades de la Preparatoria Agrícola por la gestión de recursos para los estudiantes que participaron en el proyecto. Un agradecimiento especial a los habitantes de la comunidad Sontecomapan, quienes proporcionaron información valiosa a través de los gestores C. Efraín Moreno Bucio y Efraín Moreno Oliveros y a los revisores anónimos cuyas aportaciones mejoraron significativamente el trabajo.



GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

**Modelo hidrológico conceptual para la
caracterización dinámica del humedal Parque
Nacional Palo Verde, Costa Rica.**

**Alisson Escobar García y
Belkis Alejandra Morales Guevara**
Universidad Nacional, Costa Rica
alisson.escobar.garcia@est.una.ac.cr

*Conceptual hydrological model for the dynamic
characterization of the Palo Verde National
Park wetland, Costa Rica.*

Artículo científico

*Modelo hidrológico conceitual para a
caracterização dinâmica da zona úmida do
Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica.*

Enviado: 20/9/2024

Aprobado: 27/6/2025

Publicado: 30/6/2025

RESUMEN

La investigación se centró en el humedal Parque Nacional Palo Verde, un ecosistema clave que actúa como frontera entre los sistemas acuáticos y terrestres, considerado un sitio Ramsar de importancia internacional. El objetivo general de la investigación fue desarrollar un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del humedal. Localizado en la región Chorotega, el humedal depende del régimen hidrológico de la zona, con variaciones marcadas entre la época lluviosa y poco lluviosa. Durante la temporada de lluvias, los volúmenes de agua aumentan, lo que fue identificado mediante imágenes satelitales de Sentinel 2, mientras que en la época poco lluviosa la vegetación reemplaza al cuerpo de agua. Se usó el programa QGis para delimitar y caracterizar las subcuencas que alimentan el humedal, destacando mayores caudales en la cuenca del río Bebedero en comparación con el río Tempisque. Además, se realizaron mediciones de campo para registrar los niveles de agua y se analizaron datos meteorológicos de la estación Los Negritos, encontrando una relación entre la temperatura y la evapotranspiración, así como la influencia de la precipitación. Los datos obtenidos permitieron desarrollar un modelo hidrológico conceptual, delimitando las variables que influyen en la dinámica del humedal, principalmente la estacionalidad.

Palabras clave: Chorotega, espejo de agua, estacionalidad, fluvigráficas, incidencia, río Bebedero, río Tempisque, sitio Ramsar.

ABSTRACT

The research focused on the Palo Verde National Park wetland, a key ecosystem that acts as a boundary between aquatic and terrestrial systems and is considered a Ramsar site of international importance. The general objective of the research was to develop a conceptual hydrological model for the annual dynamic characterization of the wetland. This wetland, located in the Chorotega region, depends on the hydrological regime of the area, with marked variations between the rainy and dry seasons. During the rainy season, the volumes of water increase, which was identified through satellite images from Sentinel 2, while in the dry season the vegetation replaces the body of water. The QGis software was used to delimit and characterize the subbasins that feed the wetland, highlighting higher flows in the Bebedero river basin compared to the Tempisque river. In addition, field measurements were made to record water levels and meteorological data from the Los Negritos station were analyzed, finding a relationship between temperature and evapotranspiration, as well

as the influence of precipitation. The data obtained allowed the development of a conceptual hydrological model, delimiting the variables that influence the dynamics of the wetland, mainly seasonality.

Keywords: Chorotega, fluvigraphic, incidence, Ramsar site, seasonality, Bebedero river, Tempisque river, water mirror.

RESUMO

A pesquisa concentrou-se na zona úmida do Parque Nacional de Palo Verde, um ecossistema chave que atua como fronteira entre os sistemas aquáticos e terrestres e é considerado um sítio Ramsar de importância internacional. O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver um modelo hidrológico conceitual para a caracterização dinâmica anual da zona úmida. Esta zona húmida, localizada na região de Chorotega, depende do regime hidrológico da zona, com variações marcantes entre as estações chuvosa e seca. Durante o período chuvoso, os volumes de água aumentam, o que foi identificado através de imagens do satélite Sentinel 2, enquanto no período seco a vegetação substitui o corpo d'água. O programa QGis foi utilizado para delimitar e caracterizar as sub-bacias que alimentam a zona úmida, destacando vazões mais elevadas na bacia do rio Bebedero em comparação com o rio Tempisque. Além disso, foram feitas medições de campo para registrar os níveis de água e analisados dados meteorológicos da estação Los Negritos, encontrando-se uma relação entre temperatura e evapotranspiração, bem como a influência da precipitação. Os dados obtidos permitiram o desenvolvimento de um modelo hidrológico conceitual, delimitando as variáveis que influenciam a dinâmica da zona úmida, principalmente a sazonalidade.

Palavras-chave: Chorotega, espelho d'água, fluvigráfica, incidência, rio Bebedero, rio Tempisque, sazonalidade, sitio Ramsar.

INTRODUCCIÓN

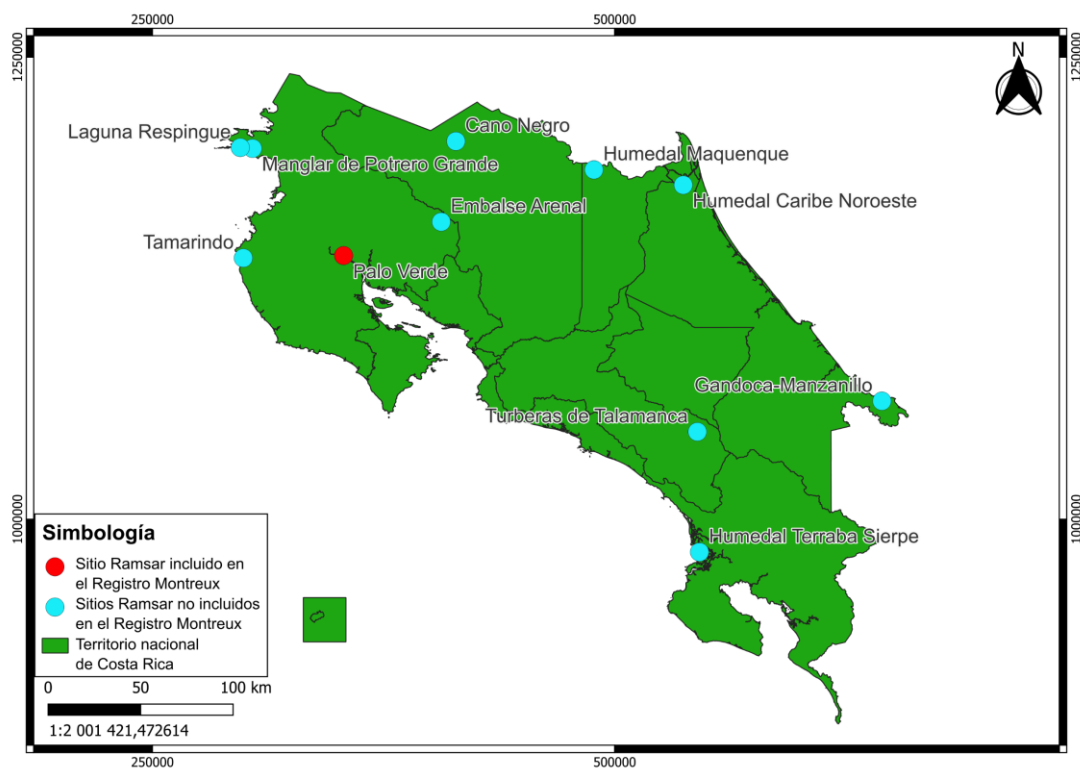
El humedal Parque Nacional Palo Verde (PNPV), pertenece a la provincia de Guanacaste, al noroeste de Costa Rica. En esta zona la temperatura media anual ronda los 27°C y la precipitación anual es de 2 296 mm (Mora y Castañeda, 2022), la estación poco lluviosa se extiende por cinco meses, va de diciembre a abril y la estación lluviosa de siete meses, la cual va de mayo a noviembre (Rojas *et al.*, 2015). El PNPV ofrece diversos servicios ecosistémicos, entre los cuales destacan soporte, regulación, provisión y culturales, estos son valorados en promedio en unos 654 765 823 de dólares anuales (Murillo y Miranda, 2018).

Costa Rica en el año 1991 ratificó la Convención Ramsar donde incluye al PNPV en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, mismo que se designó según los criterios de Ramsar, al ser un humedal representativo a nivel hidrológico, biológico y ecológico en el funcionamiento natural de una cuenca hidrográfica, sistema costero y transfronterizo. El gobierno de Costa Rica solicitó en 1993 la inclusión al Registro Montreux, misma que fue aceptada dado a los cambios en las características ecológicas en el sitio, cambios generados en sus características hidrológicas a efectos de actividades agrícolas y ganaderas en sus alrededores (Convención Ramsar, 1998).

En la actualidad es el único de los 12 sitios Ramsar en Costa Rica que aún sigue dentro del Registro Montreux, como se aprecia en la *figura 1*. A pesar de que en el año 1997 el gobierno de Costa Rica solicitó a la Oficina de la Convención Ramsar la aplicación del Procedimiento de Orientación para la Gestión, coordinado por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación y el Ministerio del Ambiente y Energía, dado que aún existen problemas de degradación y pérdida del ecosistema, llevado a un

nivel de decisiones administrativas y políticas, tanto a nivel espacial como temporal, dentro de los límites del humedal como fuera de ellos.

Figura 1. Lista del Registro Montreux de humedales amenazados en Costa Rica.



Fuente: Elaborada por las autoras.

En el año 2011 el gobierno de Costa Rica solicitó a la Secretaría de la Convención Ramsar un asesoramiento en el sitio, mismo que evaluó las medidas implementadas para la conservación del humedal y su eventual retiro del Registro Montreux. En el informe se menciona que es imprescindible realizar estudios hidrológicos a la brevedad posible, recomendado así, su no retiro del Registro (Convención Ramsar, 2012). Es por esto por lo que instituciones como el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, con el apoyo técnico de Servicio Nacional de Aguas subterráneas, Riego y Avenamiento, han unidos esfuerzos para dar seguimiento a las recomendaciones generadas.

Por otro lado, de acuerdo con la Convención Ramsar (2021) en Palo Verde no se cuenta con iniciativas para mejorar la sostenibilidad del uso del agua, evidenciando que no se han adoptado las medidas de gestión adecuadas para la contribución al desarrollo sostenible de las subcuencas circundantes. Aunado a lo anterior se desconoce de información preliminar técnica de la distribución hídrica del sistema del humedal desde un enfoque de aporte, por lo tanto, este proyecto contribuye a los estudios hidrológicos que se requieren en la zona.

Las condiciones hidrológicas presentes tienen un papel fundamental en las acciones a tomar sobre la protección y gestión del humedal Palo Verde, cuyo ecosistema posee gran valor ecológico, económico y turístico en el Área de Conservación Arenal-Tempisque. Por lo tanto, dicho estudio es relevante para las instituciones públicas interesadas en realizar próximas gestiones/proyectos en la zona.

El objetivo general de esta propuesta se basa en elaborar un modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica anual del funcionamiento del humedal. Para alcanzar este objetivo se

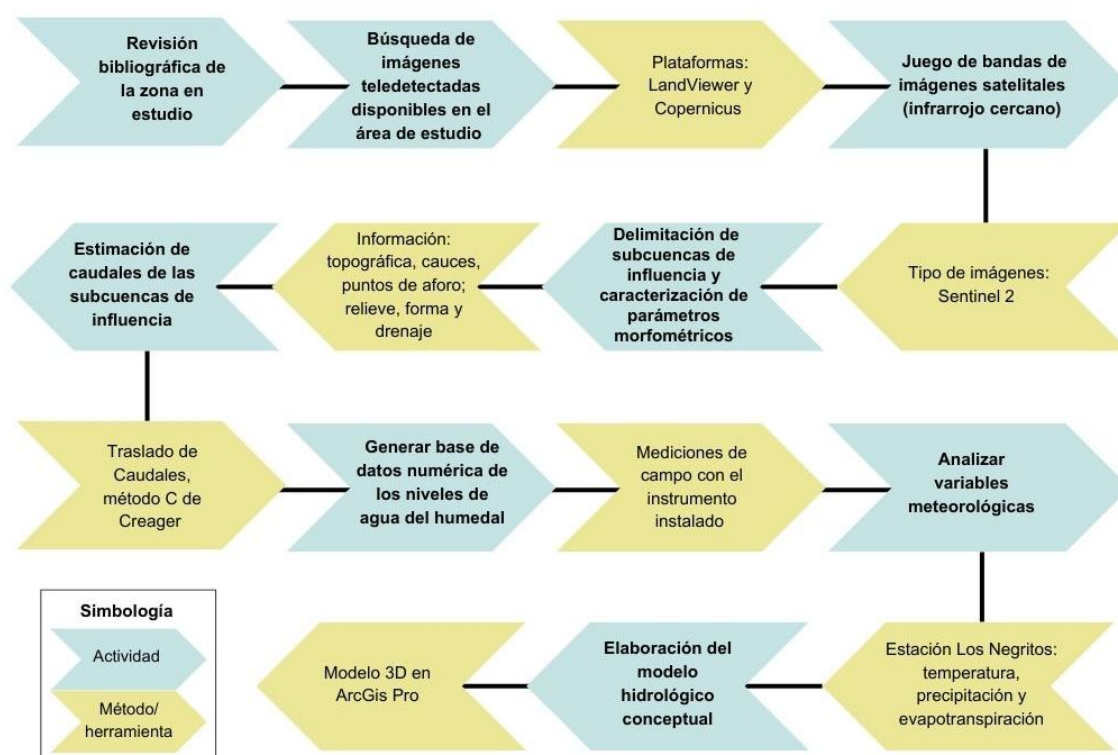
plantearon los siguientes objetivos específicos: describir los cambios en la superficie del agua mediante imágenes satelitales para la comparación de la dinámica estacional que atraviesa el humedal, establecer la delimitación espacial de las subcuencas de influencia mediante sistemas de información geográfica para la estimación de los aportes de agua que recibe el humedal, determinar el comportamiento dinámico mediante la medición de campo de los niveles del agua para la identificación de las condiciones de frontera que rigen en el humedal, analizar las variables meteorológicas mediante métodos matemáticos para estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal y finalmente, elaborar el modelo mediante sistemas de información geográfica para la delimitación espacial dinámica del humedal.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se asumió la población como la totalidad del área protegida del PNPV, no obstante, se realizó un muestreo no probabilístico, usando el método intencional. Se seleccionó el cuerpo de agua presente en la zona por el enfoque del análisis, por ende, solo se contempló el humedal y donde se identificó su comportamiento dinámico referente a sus entradas y salidas en el marco de la hidrología.

Basado en las actividades principales acerca de los objetivos propuestos se ejecutó la investigación en ocho etapas como se muestra en la *figura 2*. Para el procesamiento de las imágenes satelitales, así como la delimitación de las cuencas se usó el programa QGIS versión 3.16.15.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico.



Fuente: Elaborada por las autoras.

Las imágenes satelitales abarcaron los años 2018, 2019, 2020 y 2021, comparando la estacionalidad entre la época poco lluviosa y lluviosa. Asimismo, el procesamiento de los datos se realizó a partir del infrarrojo cercano (Sentinel 2), se empleó para realizar las delimitaciones directas de masas de agua, en este caso, el humedal. Se delimitaron las subcuencas de mayor influencia en el humedal

considerando la red hídrica, y a partir de las mismas se obtuvieron los parámetros morfométricos, dicha información permitió interpretar la funcionalidad hidrológica.

Finalmente se calcularon los caudales a partir del método de traslado de caudales en el periodo del 2018 al 2021, lo que implicó el traslado de datos de una cuenca con registro a otra cuenca que no se posee información de caudales. Para ello se contó con datos de seis estaciones fluviográficas, las cuales son Corobicí, Tilarán, Paso Hondo, Rancho Rey, La Guinea y Bebedero, mismas que tenían registro mensual y que incidían en el humedal.

En cuanto a la cuantificación de los niveles de agua en el humedal, se realizaron visitas de campo mensuales para llevar un registro a través de Microsoft Excel, la duración comprendió de junio 2023 a enero 2024. Inicialmente se usó una regla medidora de nivel del agua existente en la zona, no obstante, este se obstaculizó por el crecimiento de plantas invasoras, por lo que se acudió a un plan estratégico, el cual consistió en utilizar una nueva regla, misma que se calibró con el instrumento anterior, por ende, se mantuvieron las condiciones de medición iniciales. Se analizó la influencia de la estación meteorológica Puestos Negritos ubicado dentro del humedal, contemplando parámetros de precipitación máxima mensual en milímetros y la temperatura en grados Celsius. Aunado a lo anterior, con respecto a la disponibilidad de parámetros, se utilizó el método Thornthwaite para estimar la evapotranspiración real.

Referente al modelo hidrológico conceptual se realizó una cartografía 3D en el programa ArcGisPro, representando así las diversas variables como red hídrica, subcuencas de influencia, datos hidrológicos e hidrometeorológicos y las imágenes satelitales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

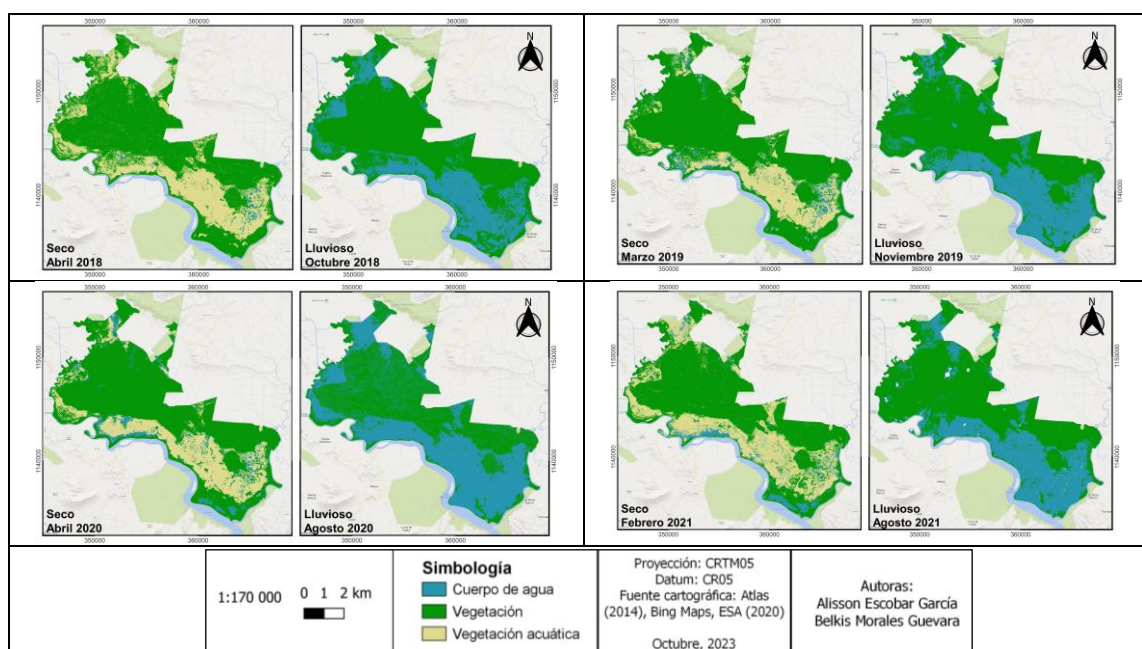
Comparación de la dinámica estacional del humedal

En cuanto a los usos se identificaron vegetación de humedal referente a su espejo del agua y vegetación acuática. Respecto a esta última, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (2016) menciona que en el humedal PNPV hay especies de plantas acuáticas como la tifa (*Typha domingensis*) y platanilla (*Thalia geniculata*); evidenciando un exceso que cubre los espejos del agua del humedal.

Para el año 2018, en la época poco lluviosa, la vegetación acuática era de 30,4%, y la vegetación de 68,5%; para la época lluviosa el humedal abarcó un 30,7% y la vegetación un 69,3%. En el 2019 la vegetación acuática representada en época seca fue de 19,3%, mientras que la vegetación alcanzó el 71.5% y en menor presencia está el humedal con un 9,2%. En cuanto a la época lluviosa el humedal se encontraba en un 35,5% mientras que la vegetación rondaba el 64,5%.

En el 2020, durante la época poco lluviosa, un 69,4% de la superficie fue cubierta por vegetación, mientras que un 23,8% de vegetación acuática, en contraste, solo un 6.8% de la superficie refleja el cuerpo de agua. Por otro lado, en la época lluviosa se percibió un notable cambio en la distribución de la superficie, siendo un 48% vegetación, mientras que el 52% corresponde al cuerpo de agua. Para el año 2021, durante la época lluviosa un 62,6% fue cubierta por vegetación y un 36,8% cuerpo de agua representativo del humedal, cabe destacar que el 0,6% fueron nubes, producto del proceso de teledetección que hace lectura de estos elementos atmosféricos. Con respecto a la época poco lluviosa, el 64% fue vegetación, 6,7% cuerpo de agua y 29,3% vegetación acuática.

Figura 3. Estacionalidad del PNPV en los periodos de 2018, 2019, 2020 y 2021.

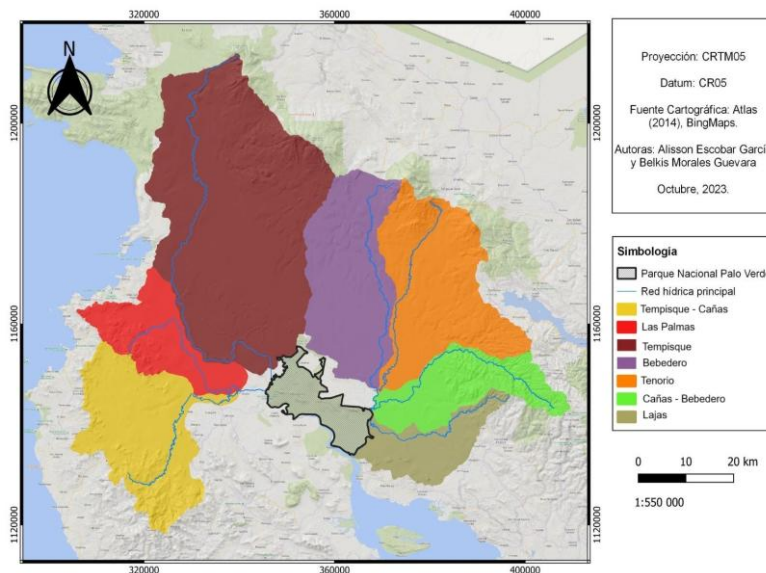


Fuente: Elaborada por las autoras.

Delimitación espacial de las subcuencas de influencias

Se obtuvieron siete subcuencas, siendo tres que escurren sus ríos principales y tributarios en el margen izquierdo del humedal, los cuales son, río Cañas, Las Palmas y Tempisque, pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Tempisque. Mientras que en el margen derecho está el río Bebedero, Tenorio, Cañas y Lajas, formando parte de la cuenca hidrográfica del río Bebedero. Cabe resaltar que las dos grandes cuencas hidrográficas desembocan en el Golfo de Nicoya.

Figura 4. Subcuenca de influencias al PNPV.



Nota: Los colores representan las diferentes subcuencas.

Fuente: Elaborada por las autoras.

Como se observa en la *tabla 1*, la subcuenca de mayor área es la del río Tempisque, misma tiene el río principal con mayor longitud, por ende, obtiene el tiempo de concentración más prolongado. Por otro lado, con respecto al coeficiente de compacidad, la subcuenca del río Las Palmas es la que posee el valor más alto, determinándola como rectangular. Además, refiriéndose al factor de forma, de

acuerdo con Zhica (2020), todas se caracterizan por ser alargadas, ya que son menores a 1. Por otra parte, siguiendo el criterio de Baldeón (2016), las subcuencas que se encuentran en la cuenca del río Bebedero son las que presentan las pendientes más altas y destacan la del río Tenorio y río Cañas.

Tabla 1. *Parámetros morfométricos de las subcuencas de influencia.*

Parámetro Morfométrico	Unidad	S. Tempisque	S. Las Palmas	S. Cañas (Tempisque)	S. Bebedero	S. Tenorio	S. Cañas (Bebedero)	S. Lajas
Área	km ²	1659.44	336.61	618.456	634.93	698.2	368.43	264.57
Perímetro	km	192.642	133.5	64.6	125.794	147.573	117.252	106.253
Coefficiente de Compacidad	sin unidad	1.32	2.04	0.73	1.40	1.56	1.71	1.83
Elevación Máxima	m s. n. m	1280	555	546	599	1211	1344	923
Elevación Mínima	m s. n. m	52	3	4	10	2	3	6
Factor de Forma Horton	sin unidad	0.07	0.17	0.15	0.19	0.20	0.12	0.06
Longitud del Cauce Principal	km	150.81	44.07	64.6	58.17	58.397	54.62	67.99
Pendiente Media Río	%	8.1	12.5	8.4	10.1	20.7	24.6	13.5
Tiempo de Concentración Kirpich	Hr	4.46	1.11	1.89	1.58	1.21	1.06	1.66

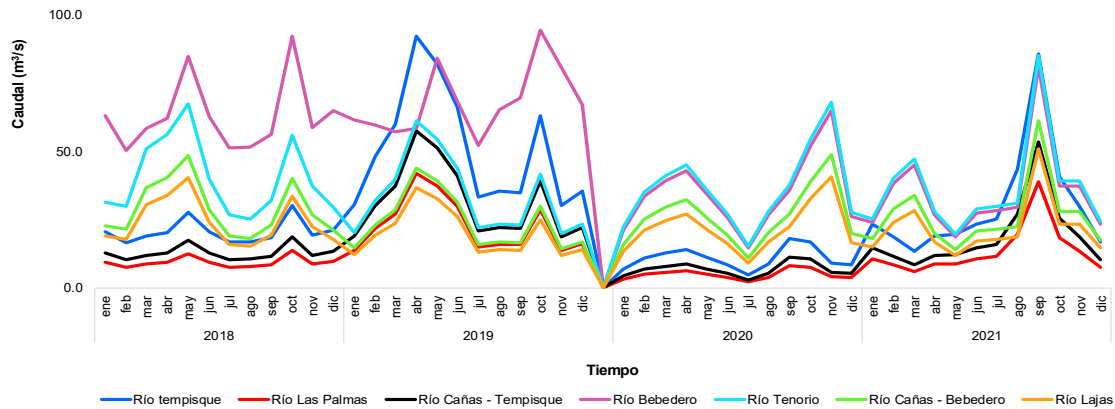
Nota: la “S” representa Subcuencas. **Fuente:** *Elaborada por las autoras.*

La subcuenca del río Tempisque, al tener un área mayor respecto a las demás subcuencas, sus caudales estimados (*figura 5*) fueron menores respecto a la subcuenca del río Tenorio que es la segunda con mayor área, indicando que esta subcuenca recibe menos entrada de agua anualmente. No obstante, en la subcuenca del río Cañas, al tener un área mayor de acuerdo con la cuenca del río Las Palmas, se evidenció la influencia del área, donde los aportes son superiores. Los caudales más altos registrados entre los cuatro años de análisis corresponden a la subcuenca del río Tempisque en el año 2019. Es apreciable la estacionalidad en los meses poco lluviosos y lluviosos, incidiendo en el caudal.

Las dos grandes cuencas hidrográficas (Tempisque y Bebedero) son regidas por la climatología de la zona, según Ramírez (1986) la región del Pacífico Norte se rige por la precipitación característica del Pacífico donde sus periodos poco lluvioso y lluvioso están bien definidos, además, se da una interrupción de la estación lluviosa en la vertiente del Pacífico, disminuyendo las precipitaciones

entre los meses de julio y principios de agosto. La variabilidad climática de las precipitaciones incide en la entrada de volumen del caudal que reciben las subcuencas según el mes.

Figura 5. Tendencia de los caudales en las subcuencas de influencia.



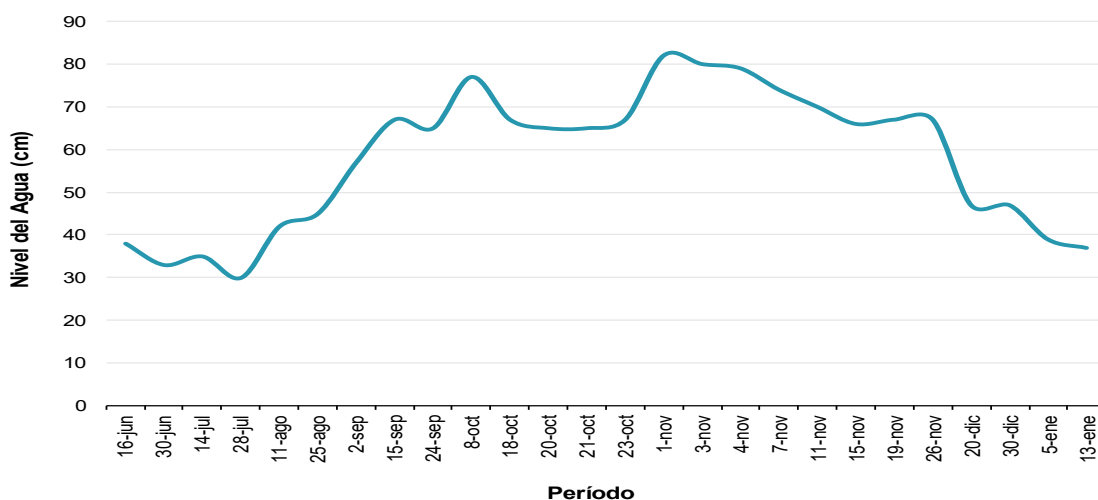
Fuente: Elaborada por las autoras.

Comportamiento dinámico de los niveles del agua que rige el humedal

Como se observa en la *figura 6*, el registro comprende desde junio del 2023 hasta el mes de enero del 2024, niveles de mediciones que variaron de una fecha a otra, en su mayoría el nivel del agua en centímetros fue ascendiendo, considerando que las expediciones en gran parte se desarrollaron en la época lluviosa. El nivel de agua más alto fue el primero de noviembre, este se relaciona con la intensidad de lluvia que se presentó en la provincia de Guanacaste debido a la influencia indirecta de la tormenta tropical Pilar, aunado a las crecidas de los ríos de influencia al humedal. Además, en ese periodo también se presentaba marea alta en el Pacífico (Instituto Meteorológico Nacional, 2023).

El humedal recibe entrada de agua dulce por medio de las cuencas hidrográficas y agua salada provenientes de las mareas del Golfo de Nicoya, convirtiendo las aguas del humedal en salobres.

Figura 6. Registro de medición de los niveles del agua, periodo junio 2023-enero 2024.



Fuente: Elaborada por las autoras.

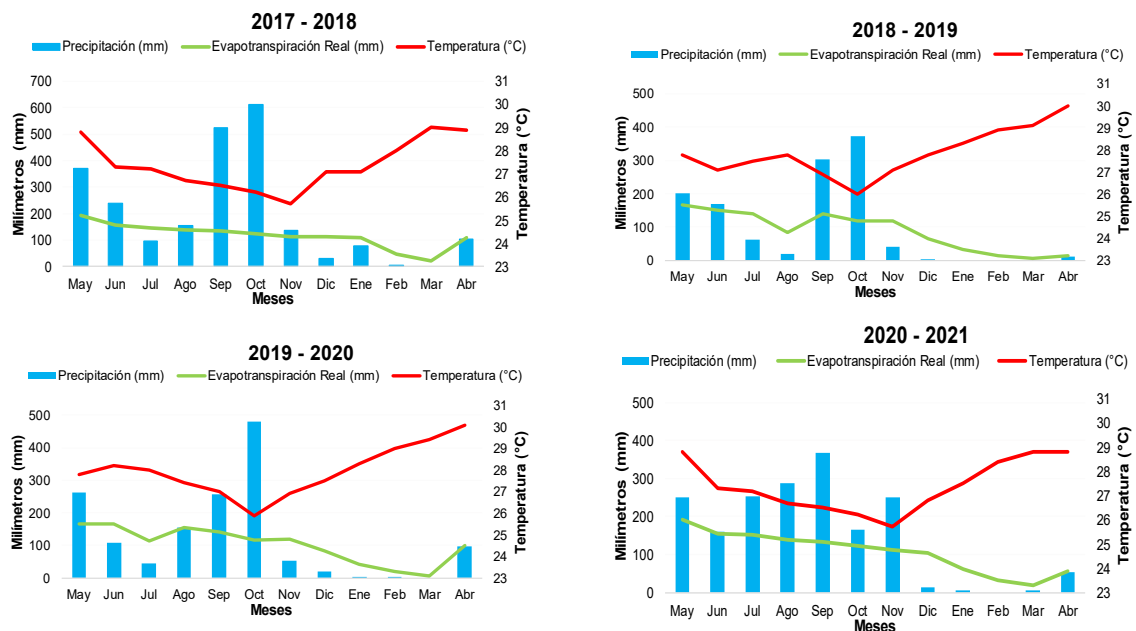
Análisis de variables meteorológicas para la estimación de la incidencia sobre el balance de agua del humedal

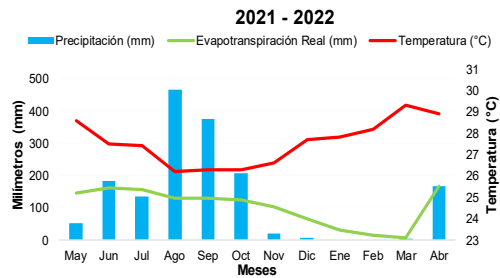
En cuanto al análisis de variables meteorológicas, como la temperatura, la precipitación y la evapotranspiración, en el periodo 2018-2021 se observó que las precipitaciones más altas fueron las del año 2019 (*figura 7*), específicamente en octubre, cuyo año coincide con el caudal más alto registrado.

Por otro lado, se observa que la temperatura no varía considerablemente de un mes a otro, no obstante, las precipitaciones son muy marcadas debido a la estacionalidad que posee el área objeto de estudio. Tras realizar un análisis de correlación entre las variables temperatura y evapotranspiración, se determinó que existe relación directa entre ellas, ya que, en los meses con temperaturas más elevadas se presenta la tasa de evapotranspiración más alta, cuyas características se visualizan de mejor manera en la época poco lluviosa, un ejemplo específico es el mes de marzo del 2021. De igual manera se observa en la época lluviosa del 2020, donde la evapotranspiración más alta se registró en el mes más cálido, cuyo reflejo es mayo.

Las barras de precipitación mostradas en los gráficos de la *figura 7* poseen un comportamiento característico de precipitaciones de tipo convectiva, donde según Brenes y Saborío (1995) este tipo de precipitación está más asociada a zonas llanas, el aire de esa zona se convierte más cálido y ligero que el aire alrededor, lo cual hace que ascienda como una columna vertical. La temperatura de ese aire elevado llega a ser igual o superior al aire circundante, cuando eso sucede se detiene y empieza a condensarse. Las gotas de la precipitación se caracterizan por ser gruesas y caen de forma rápida, esto causa un gran impacto en el suelo y esparce partículas en todas direcciones. La región Chorotega en sus partes llanas se caracteriza por presentar este tipo de precipitación.

Figura 7. Relación de variables meteorológicas, periodo 2017-2023.



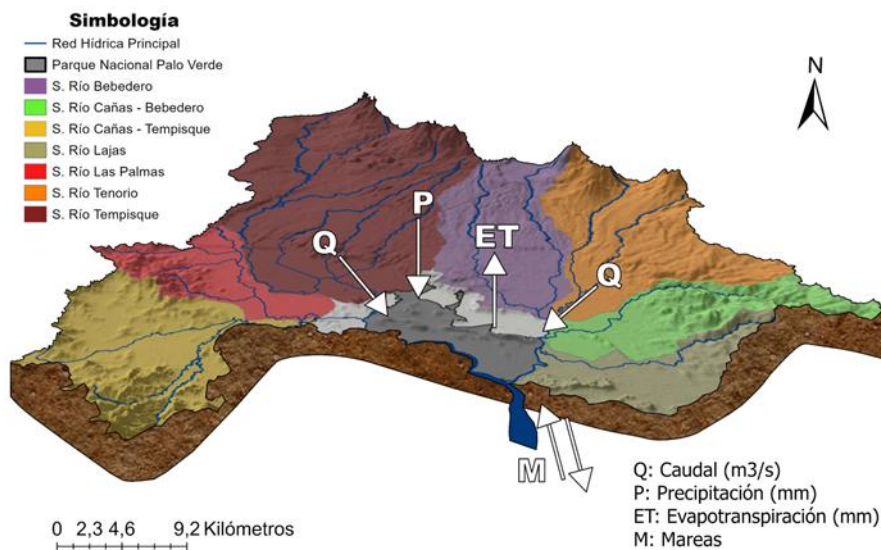


Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Modelo hidrológico conceptual del humedal

Se desarrolló el modelo hidrológico conceptual del humedal a partir de los resultados anteriores (*figura 8*), detallándose las variables que funcionan como entradas y salidas, siendo el caudal, precipitación y mareas las entradas, mientras que la evapotranspiración y mareas son las salidas. Aunado a lo anterior, según Guizada (2018) los principales componentes de aporte hidrológico de un humedal son la precipitación, evapotranspiración, las inundaciones y las mareas, similar al modelo en estudio.

Figura 8. *Modelo Hidrológico Conceptual del Humedal del PNPV.*



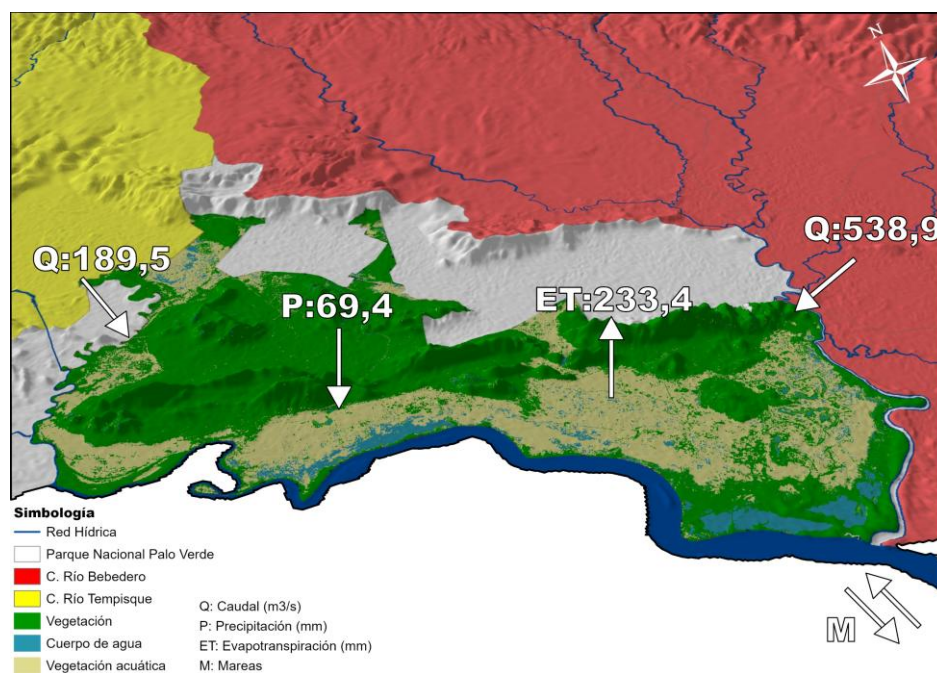
Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Al ubicarse el humedal en la desembocadura de dos cuencas hidrográficas importantes para la región Chorotega se obtuvieron las subcuencas delimitadas, estas aportan un determinado caudal (Q) de entrada a través de sus afluentes, es decir, agua superficial que llega a incidir en el sistema. De igual manera, está la influencia directa de la precipitación (P), tomada de la estación meteorológica Los Negritos, luego se observa tanto la entrada como la salida de mareas (M) provenientes del Golfo de Nicoya. Con respecto a esta última, mediante expediciones de campo realizadas en la desembocadura del río Tempisque, así como la visita a puerto Chamorro, se corroboró que la dirección de la corriente del río se rige de acuerdo con la entrada de las mareas, teniendo incidencia en las partes aledañas al manglar.

Por otro lado, de acuerdo con lo mencionado por B. Fallas (comunicación personal, 2023), encargado del Departamento de Hidroclimatología del Instituto Costarricense de Electricidad, en la estación fluviográfica del río Bebedero los registros son afectados por las mareas. Asimismo, se contempla como salida la evapotranspiración (ET) que se genera en el humedal.

Por otro lado, se analiza el modelo hidrológico conceptual a partir de las estaciones climáticas que presenta el humedal, primeramente, se observa el funcionamiento de la época poco lluviosa (*figura 9*), con los respectivos datos teóricos, los cuales muestran una dinámica regida principalmente por la evapotranspiración y las mareas. Estas últimas pueden llegar a inundar partes del humedal con agua salada (Corrales y Murillo, 2018). No obstante, con referente a los caudales de los ríos al mermar sus volúmenes, producto de las características climáticas de la región, el aporte que recibe el humedal disminuye y a su vez el nivel del cuerpo de agua se modifica.

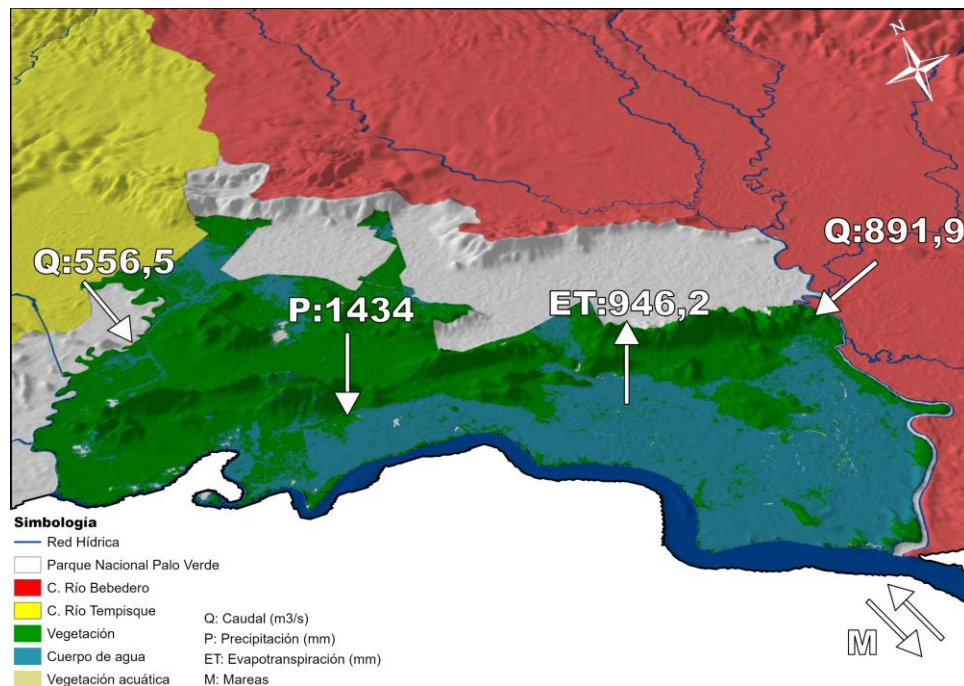
Figura 9. Modelo Hidrológico Conceptual del humedal del PNPV, estación poco lluviosa 2021.



Fuente: Elaborada por las autoras.

La dinámica hidrológica y climatológica del humedal está fuertemente influenciada por factores como la estacionalidad de las lluvias, el escurrimiento superficial desde las colinas cercanas y la alta evapotranspiración, lo que determina tanto su volumen como su profundidad y provoca que durante los meses de marzo y abril el humedal se seque por completo (Corrales y Murillo, 2018). Aunado a lo anterior, al realizar una comparación entre los dos modelos se comprueba que el humedal es estacional, cuya dinámica en la época lluviosa, es más evidente que la poca lluviosa, ya que los volúmenes de entrada y salida son significativos, además, se comprueba mediante las imágenes satelitales que el cuerpo de agua posee mayor área, producto de todas sus entradas. En el caso del modelo de la época lluviosa (*figura 10*), las precipitaciones aumentan alrededor de 20 veces más que en la época poco lluviosa. Respecto a los caudales, el volumen del río Tempisque es aproximadamente el triple, mientras que el río Bebedero aumenta alrededor de un 60%.

Figura 10. Modelo Hidrológico Conceptual del Humedal del PNPV, estación lluviosa 2021.



Fuente: Elaborada por las autoras.

CONCLUSIONES

Se identifica la complejidad de las interacciones de las variables de entrada (precipitación, caudales y mareas) y las variables de salida (evapotranspiración y mareas) dentro del humedal. Los valores generados en el modelo muestran una interpretación descriptiva y cuantitativa teórica del funcionamiento del humedal bajo la estacionalidad del lugar.

El modelo conceptual permite comprender hidrológicamente las entradas y salidas del recurso hídrico existentes dentro del humedal.

La subcuenca de influencia del río Bebedero es la que aporta mayor caudal al humedal, dadas las condiciones morfométricas y meteorológicas de la zona, siendo esta última referida a las precipitaciones.

Durante el evento hidrometeorológico asociado a la Tormenta Tropical Pilar, se identificó el valor más alto en el nivel de humedad, alcanzando los 82 centímetros, este incremento refleja una influencia indirecta de dicho fenómeno, de acuerdo con los registros disponibles.

Se identifican variaciones extremas en el cuerpo de agua debido a la estacionalidad característica de la zona, en el cual, durante la época poco lluviosa la presencia de dichos cuerpos es escaso, mientras que en la temporada lluviosa aumenta significativamente; como es el caso del año 2020, donde en época poco lluviosa era de 6,8%, mientras que en época lluviosa fue de 52%.

La iniciativa desarrollada en cuanto a la medición de los niveles de agua del humedal es un punto de partida de registro para el monitoreo en tiempo real, no obstante, al no contar con una base histórica de registro genera desventaja comparativa, lo cual queda en plano descriptivo la determinación del comportamiento dinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldeón, J. (2016). *Modelamiento Hidrológico de la Subcuenca del Río Achamayo* [Tesis de Posgrado, Universidad del centro del Perú.]. Repositorio institucional. <https://bit.ly/3hZWiby>
- Brenes, A. y Saborío, V. F. (1995). *Elementos de Climatología su Aplicación Didáctica a Costa Rica*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. <https://goo.su/emcWd03>
- Convención Ramsar. (1998). *Procedimiento de Orientación para la Gestión. Informe Final*. <https://acortar.link/ogczWT>
- Convención Ramsar. (2012). *Misión Ramsar de Asesoramiento No. 73. Humedal de Importancia Internacional Palo Verde, Costa Rica*.
- Convención Ramsar. (2020). *Lista de Humedales de Importancia Internacional incluidos en el Registro de Montreux*. <https://bit.ly/42s39g5>
- Convención Ramsar. (2023). *7 buenas prácticas para la restauración de humedales*. <https://bit.ly/3nUWiNk>
- Corrales, L. y Murillo, W. (2018). Diseño e implementación de acciones de adaptación al cambio climático en el humedal Ramsar del bosque seco. *Revista Ambientico*, 266, 41-49. <https://acortar.link/uAt4Wf>
- Guizada, L. (2018). *Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica* [Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Escuela de Posgrado]. Repositorio Institucional. <https://goo.su/WycRtPa>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2023). #IMN_Imágenes (10:30 a.m.) Nubes dispersas en el Pacífico. Un foco de calor con presencia de columna de humo hacia la península de Nicoya. Facebook. <https://bit.ly/3BMOvV6>
- Mora, J. M. y Castañeda, F. E. (2022). Terrestrial movements, activity patterns and habitat use by Kinosternon scorpioides (Testudines: Kinosternidae) in Palo Verde National Park, Costa Rica. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 21(1), 3-15. <https://acortar.link/wUbjMq>
- Murillo, W. y Miranda, M. (2018). Rehabilitación de ecosistemas de humedal como medida de adaptación a los impactos de la variabilidad climática: El caso del sitio Ramsar Palo Verde, sector Catalina. *Revista Ambientico*, 266, 50-57. <https://acortar.link/TrJSP7>
- Ramírez, P. (1986). *Estudio Meteorológico de los veranillos en Costa Rica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería / Instituto Meteorológico Nacional. <https://goo.su/3qhg0Ij>
- Rojas-Chaves, P. A., Vílchez-Alvarado, B., Moya-Roque, R., y Sasa-Marín, M. (2015). Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en dos estadios de sucesión secundaria y bosques primarios en el Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12(29), 29–45. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v12i29.2253>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (18 de febrero 2016). *Misión y Visión del Sistema Nacional de Áreas de Conservación Costa Rica*. <https://bit.ly/45jnAh8>

Zhica, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, Cantón Gualaceo* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3EndRtj>

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al M.C. William Gómez, M.C. Erik Gerardo Orozco, M.C. Dorian Mauricio Carvajal y Dr. Ronald Sánchez Brenes por su acompañamiento en diferentes etapas del proyecto. También al equipo que facilitó el trabajo en el área de estudio: M.C. Jacklyn Rivera, coordinadora del Programa Nacional de Humedales y M. C. Sonia Castro, funcionaria del Servicio Nacional de Aguas subterráneas, Riego y Avenamiento. Un agradecimiento también para el personal del Departamento de administración del área de conservación, en especial a Manrique Montes, Fabián Chávez, Fabricio Obando, Juan Antonio Ramírez, Alejandro Cordero y Juan Alvarado. Finalmente, se agradece a las instituciones por la información brindada, al ICE e IMN sobre datos hidrológicos e hidrometeorológicos.



GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Perspectivas multidimensionales en la morfología de los barrios periféricos en Tunja, Colombia.

Multidimensional perspectives on the morphology of peripheral neighborhoods in Tunja, Colombia.

Perspectivas multidimensionais sobre a morfologia de bairros periféricos em Tunja, Colombia.

Rubén Dario Calixto Morales

Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
mgrubencalixto@gmail.com

Artículo científico

Enviado: 24/12/2024

Aprobado: 9/4/2025

Publicado: 16/4/2025

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en tres barrios periféricos de la ciudad de Tunja (Altos de Cooservicios, Altamira y Santa Elena). Su objetivo fue analizar las problemáticas de carácter social, económico y ecológico que afectan a estos sectores mediante un levantamiento cartográfico y fichas específicas. La metodología combinó análisis planimétrico, visitas de campo, registros fotográficos y entrevistas informales; permitiendo identificar factores clave como acceso inadecuado, invasión del espacio público y problemas de seguridad. Se aplicaron técnicas descriptivas y correlacionales para examinar las relaciones entre las variables recolectadas y priorizar las problemáticas más críticas. Los resultados evidencian que las condiciones morfológicas y las características socioeconómicas de cada barrio están fuertemente ligadas a los niveles de vulnerabilidad observados, así como a la interacción con los barrios colindantes. Se resalta la importancia de intervenir de manera diferenciada cada barrio, considerando topografía, conectividad y participación comunitaria para lograr intervenciones más eficaces y sostenibles. Asimismo, se resaltan las implicaciones prácticas reales de los hallazgos. Finalmente, las conclusiones destacan la utilidad de la metodología propuesta como herramienta replicable en contextos urbanos similares y su potencial para guiar políticas públicas y estrategias de intervención centradas en las necesidades de las comunidades periféricas.

Palabras clave: análisis cartográfico, comunidades, ordenamiento territorial, participación comunitaria, sostenibilidad urbana, vulnerabilidad social

ABSTRACT

The research was carried out in three peripheral neighborhoods of the city of Tunja (Altos de Cooservicios, Altamira, and Santa Elena). Its objective was to analyze the social, economic and ecological issues affecting these areas through a cartographic survey and specific assessment forms. The methodology combined planimetric analysis, field visits, photographic records, and informal interviews, allowing the identification of key factors such as inadequate access, encroachment on public spaces, and security problems. Descriptive and correlational techniques were applied to examine the relationships among the collected variables and prioritize the most critical issues. The results show that the morphological conditions and socioeconomic characteristics of each neighborhood are strongly linked to the observed levels of vulnerability, as well as to their interaction with adjacent neighborhoods. In the discussion, emphasis is placed on the importance of

differentiated interventions in each neighborhood, considering topography, connectivity, and community participation to achieve more effective and sustainable solutions. Likewise, the practical implications of the findings are underscored. Finally, the conclusions highlight the usefulness of the proposed methodology as a replicable tool in similar urban contexts, along with its potential to guide public policies and intervention strategies focused on the needs of peripheral communities.

Keywords: cartographic analysis, communities, community participation, social vulnerability, territorial planning, urban sustainability

RESUMO

A pesquisa foi realizada em três bairros periféricos da cidade de Tunja (Altos de Cooservicios, Altamira e Santa Elena). Seu objetivo foi analisar as questões de caráter social, econômico e ecológico que afetam essas áreas, por meio de um levantamento cartográfico e de fichas específicas. A metodologia combinou análise planimétrica, visitas de campo, registros fotográficos e entrevistas informais, permitindo identificar fatores-chave, como acesso inadequado, invasão de espaços públicos e problemas de segurança. Técnicas descritivas e correlacionais foram aplicadas para examinar as relações entre as variáveis coletadas e priorizar as questões mais críticas. Os resultados mostram que as condições morfológicas e as características socioeconômicas de cada bairro estão fortemente ligadas aos níveis de vulnerabilidade observados, bem como à interação com os bairros vizinhos. Na discussão, destaca-se a importância de intervir de maneira diferenciada em cada bairro, considerando topografia, conectividade e participação comunitária para alcançar soluções mais eficazes e sustentáveis. Da mesma forma, enfatizam-se as implicações práticas dos achados. Por fim, as conclusões ressaltam a utilidade da metodologia proposta como uma ferramenta replicável em contextos urbanos semelhantes, além de seu potencial para orientar políticas públicas e estratégias de intervenção focadas nas necessidades das comunidades periféricas.

Palavras-chave: análise cartográfica, comunidades, participação comunitaria, planejamento territorial, sustentabilidade urbana, vulnerabilidade social

INTRODUCCIÓN

Los barrios periféricos de la ciudad de Tunja representan un escenario complejo y multifacético que conjuga dinámicas sociales, económicas y ecológicas únicas, derivadas de su ubicación geográfica y su configuración urbana (Smith *et al.*, 2010). Situada en una región montañosa, la periferia de Tunja se caracteriza por una diversidad de morfologías urbanas que, más allá de las estratificaciones socioeconómicas, reflejan adaptaciones a las condiciones del terreno y a las necesidades particulares de sus habitantes. Este contexto geográfico y socioespacial plantea desafíos significativos en términos de planificación urbana, sostenibilidad y calidad de vida.

La presente investigación surge de la necesidad de analizar y verificar estos aspectos a través de un levantamiento cartográfico detallado que permita identificar las problemáticas predominantes y explorar posibles correlaciones entre ellas. En particular, se examinan fenómenos como la exclusión social, la precariedad en el acceso a servicios básicos, el impacto ambiental derivado de las prácticas de urbanización, y la fragmentación del tejido urbano; que afectan tanto la conectividad como la integración de estos barrios con el resto de la ciudad.

A partir de este enfoque integral, el estudio busca aportar una comprensión más profunda de las dinámicas que configuran la periferia de Tunja, sentando las bases para la formulación de estrategias de intervención que promuevan un desarrollo más equitativo y sostenible. De este modo, se plantea como una contribución tanto para la academia como para los tomadores de decisiones, en la

búsqueda de soluciones que respondan a las características y necesidades específicas de esta área clave para el desarrollo urbano de la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se centró en los barrios ubicados en la periferia de la ciudad de Tunja, elegidos como área de estudio debido a que las problemáticas presentes en estos sectores están altamente influenciadas por las dinámicas de los barrios colindantes y por la diversidad de sus morfologías urbanas. Este contexto presentó un escenario ideal para analizar las correlaciones entre los aspectos sociales, económicos y ecológicos, a fin de identificar patrones y priorizar problemáticas específicas (Santamaría, 2022).

Para abordar este objetivo, inicialmente se diseñó una metodología basada en la recopilación de información cartográfica, visitas de campo y el análisis correlacional. Se elaboraron fichas de levantamiento cartográfico que permitieron registrar información relevante desde diferentes escalas planimétricas (barrios, sectores y manzanas). Dichas fichas incluyeron datos sobre uso del suelo, accesibilidad, infraestructura urbana, presencia de espacios públicos, características ambientales y condiciones socioeconómicas de los habitantes.

El trabajo de campo se llevó a cabo entre enero y noviembre de 2024, abarcando un total de 21 barrios periféricos seleccionados mediante un muestreo intencional que consideró diversidad de morfologías y condiciones socioeconómicas. Sin embargo, para el análisis profundo y comparativo, se seleccionaron tres de estos barrios: Altos de Cooservicios, Altamira y Santa Elena, siguiendo tres criterios principales:

- **Diversidad morfológica y topográfica:** Se priorizaron barrios con diferentes pendientes y configuraciones de manzanas para analizar cómo la forma urbana influye en las problemáticas sociales y ecológicas.
- **Variación en la estratificación socioeconómica:** Se eligieron barrios con estratos 2, 3 y 4 para capturar la heterogeneidad de condiciones sociales y económicas presentes en la periferia.
- **Proximidad a zonas en proceso de consolidación:** Se consideraron barrios que tuvieran vecinos colindantes en desarrollo o con reserva ambiental, a fin de estudiar la relación entre barrios consolidados y áreas no reguladas o de crecimiento informal.

Durante las visitas de campo, se realizaron observaciones directas, registro fotográfico y entrevistas informales con habitantes para complementar la información cartográfica y comprender las dinámicas locales. El registro fotográfico permitió documentar evidencias visuales de problemas urbanos, como la precariedad en la infraestructura, los riesgos ambientales y los patrones de ocupación del suelo.

A continuación, se detalla el proceso de análisis y triangulación de datos:

- **Recolección de información cartográfica y SIG:** Se obtuvieron datos de la plataforma SIG del Departamento Administrativo de Planeación Territorial, incorporando variables demográficas, de infraestructura y uso del suelo.
- **Visitas de campo y observación directa:** Se ejecutaron levantamientos fotográficos y registros *in situ* para identificar problemáticas específicas en cada barrio.
- **Entrevistas exploratorias:** Se realizaron entrevistas informales a residentes y actores locales (líderes comunitarios, comerciantes) para profundizar en la percepción ciudadana sobre inseguridad, movilidad y uso del espacio público (Calixto, 2024).
- **Análisis cuantitativo y cualitativo:**

- Los datos cuantitativos se procesaron para examinar correlaciones (Pearson) entre variables como: densidad habitacional, inseguridad reportada y accesibilidad vial.
- La información cualitativa se organizó en categorías (uso del suelo, seguridad, percepción de calidad ambiental) mediante codificación abierta. Posteriormente, se trianguló con los resultados cuantitativos para identificar patrones o convergencias entre percepción ciudadana y datos estadísticos.

La correlación de las problemáticas se analizó mediante un enfoque descriptivo y multivariable. Este análisis permitió identificar relaciones significativas entre factores como la densidad poblacional, el acceso a servicios básicos, la calidad ambiental y la conectividad urbana. Adicionalmente, los datos se categorizaron y priorizaron utilizando matrices de impacto para clasificar las problemáticas según su gravedad y frecuencia.

El principal desafío de la investigación fue el acceso a información secundaria actualizada y la variabilidad en la percepción de los problemas por parte de los habitantes. No obstante, este enfoque metodológico no solo permitió comprender las complejidades de la periferia urbana de Tunja, sino que también facilitó la identificación de estrategias para intervenir estas áreas de manera eficiente y sostenible.

RESULTADOS

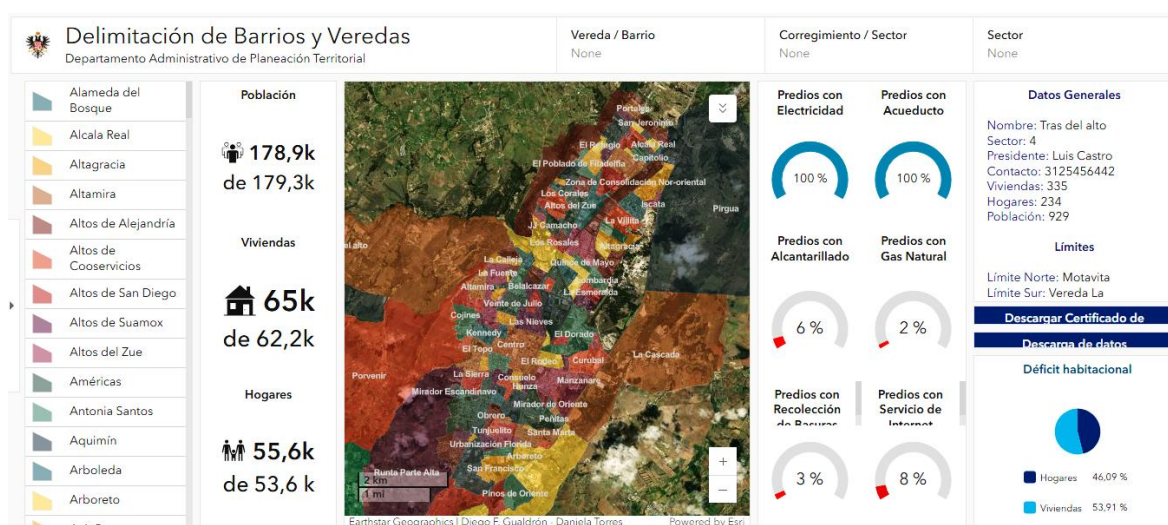
El SIG del Departamento Administrativo de Planeación Territorial fue una herramienta clave en la recolección y análisis de datos durante la investigación. Esta plataforma proporciona información actualizada sobre la población, cobertura de servicios públicos básicos, usos del suelo y otras variables esenciales para el diagnóstico territorial. Sin embargo, para complementar estos datos y garantizar una visión más detallada y precisa, se realizaron visitas de campo en cada uno de los barrios seleccionados. Durante estas visitas, se registraron observaciones específicas de las condiciones del entorno natural, urbanas y sociales; llevándose a cabo registros fotográficos que documentaron las problemáticas y particularidades de cada sector. Este enfoque combinado permitió integrar datos cuantitativos y cualitativos, enriqueciendo el análisis y proporcionando un panorama integral de las dinámicas presentes en los barrios periféricos.

La investigación permitió identificar y analizar los aspectos sociales, económicos y ecológicos en tres barrios periféricos representativos de la ciudad de Tunja: Altos de Cooservicios, Altamira y Santa Elena. La selección de estos barrios respondió a sus diferencias significativas en términos de estratificación, ubicación geográfica, morfología urbana y problemáticas específicas.

La ficha se diseñó con base en la metodología propuesta por Calixto (2025), la cual, a través del manejo de diferentes escalas, permite identificar, categorizar y priorizar problemáticas desde diversos aspectos. El análisis de cada barrio busca reconocer las morfologías de sus vecinos colindantes inmediatos para entender la trascendencia de las problemáticas y determinar cuál de los aspectos analizados actúa como condicionante de otras dificultades (Santo-Tomás *et al.*, 2020).

En la *figura 1*, se muestra el perímetro oficial de la ciudad, identificando la ubicación y extensión de los barrios y veredas, así como las vías primarias que articulan el centro urbano con las zonas periféricas. Se destacan los límites administrativos con un trazo continuo y, dentro de cada sección, se ilustran los sectores urbanos y rurales que componen el territorio de Tunja.

Figura 1. Delimitación de barrios y veredas de Tunja.



Fuente: Alcaldía Mayor de Tunja, 2024.

A continuación, se presentan los principales hallazgos organizados por barrio, seguidos de un análisis comparativo que permitió identificar patrones y correlaciones.

Barrio Altos de Cooservicios

Ubicado en el sector suroriental de Tunja y clasificado como estrato 3, Altos de Cooservicios presentó características particulares relacionadas con su entorno inmediato. En la *figura 2* se refleja la configuración de manzanas y vías principales, destacando las áreas residenciales, comerciales y los espacios no consolidados. Se representa la topografía mediante curvas de nivel o gradaciones de color, y se señalan los puntos de mayor conflicto en términos de movilidad y seguridad según la observación de campo y los registros fotográficos. Este barrio está delimitado por la avenida circunvalación, una vía nacional que genera barreras físicas y sociales, y por asentamientos colindantes en proceso de consolidación que influyen en la dinámica social del barrio.

En términos de movilidad, el barrio presenta puntos de aglomeración que, debido a la disposición de las manzanas, no permiten una adecuada conexión con su contexto. Estos puntos de concentración generan embotellamientos y carecen de los espacios suficientes para el estacionamiento asociado a la actividad comercial. Por esta razón, el comercio se identifica como un problema relacionado con la invasión del espacio público y la priorización del vehículo sobre el peatón. Además, el comercio tiende a concentrarse en las zonas de mayor flujo vehicular, aunque existen establecimientos básicos de menor escala que, de manera parcial, cubren las necesidades locales. Las áreas con menor densidad comercial, en contraste, son percibidas como las más seguras para la movilidad peatonal.

A nivel social, los pocos espacios de uso público disponibles no logran satisfacer las necesidades de la población, lo que ha llevado a la comunidad a apropiarse progresivamente de escenarios colindantes no consolidados, asumiéndolos como su propio espacio público (Soltani *et al*, 2021). Sin embargo, muchos de estos lugares son percibidos como inseguros debido a que son frecuentados por personas de otros barrios para actividades delictivas y de consumo de sustancias. En cuanto al aspecto ambiental, el barrio enfrenta afectaciones moderadas. La falta de control sobre el uso de ciertos espacios los ha convertido en sitios de acumulación de basura. El análisis del plano de llenos y vacíos evidencia que las áreas urbanas residuales, sin un uso específico definido, se han transformado en escenarios improvisados de apropiación comunitaria.

Figura 2. Levantamiento cartográfico del Barrio Altos de Cooservicios.



Fuente: Elaborada por el autor.

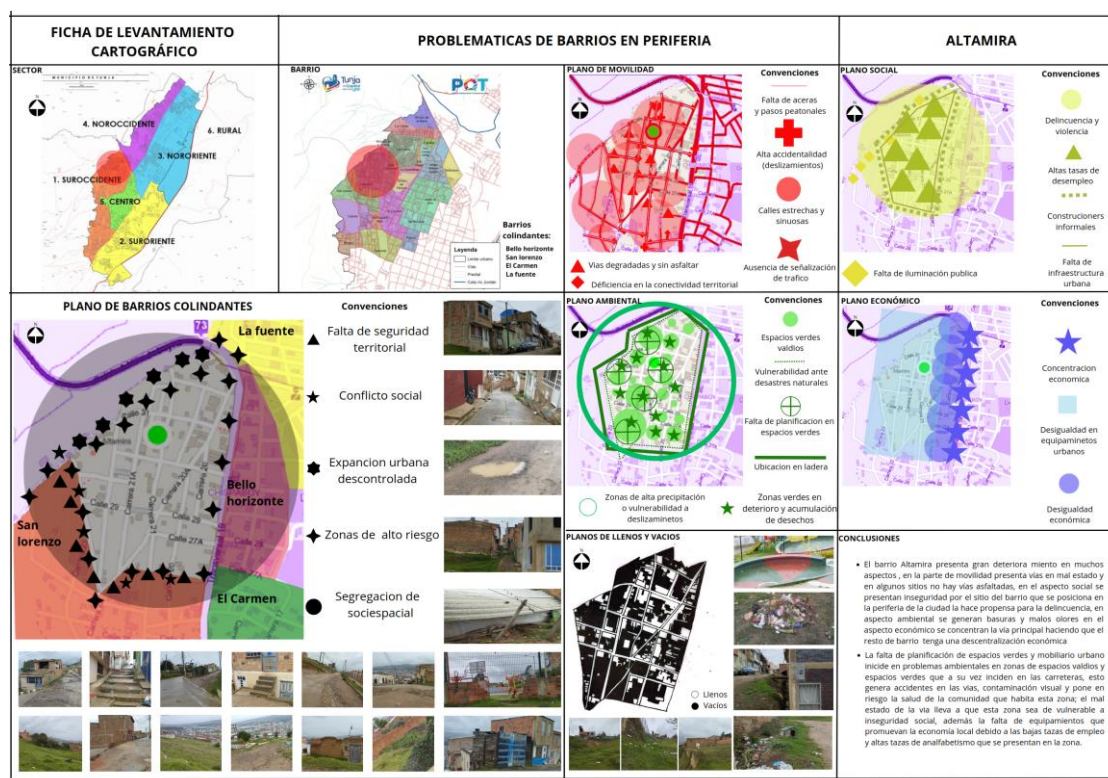
Por último, los recorridos y registros fotográficos realizados permitieron documentar todas estas problemáticas, evidenciando cómo trascienden al contexto de los vecinos inmediatos y afectan de manera más amplia la dinámica del barrio y sus alrededores.

Barrio Altamira

Este barrio, ubicado en el sector occidental y clasificado como estrato 2, se encuentra en una zona crítica debido a su colindancia con la vía nacional Centenario y a barrios similares sin regulación normativa. Además, limita con una zona de reserva ambiental que ha sido frecuentemente utilizada para el desecho ilegal de residuos de construcción y actividades delictivas. En la *figura 3* se muestran los ejes viales y las manzanas, junto con la pendiente pronunciada característica del sector. Las zonas residenciales se distinguen por una simbología que resalta las construcciones de autoconstrucción, mientras que los vacíos urbanos (lotes sin edificar) se resaltan para evidenciar los espacios propensos a la acumulación de residuos. Asimismo, se incluyen indicadores de ubicación de equipamientos básicos o comercios locales.

El barrio Altamira presentó características similares al barrio Cooservicios, con la diferencia de que cuenta con una pendiente más pronunciada, lo que, desde su planeación, dificulta su transitabilidad tanto peatonal como vehicular. Las formas irregulares de sus manzanas, en consecuencia, han llevado a un desarrollo parcial en su interior. Debido a su condición de estratificación, muchas de las viviendas han sido construidas mediante procesos de autoconstrucción, lo que refleja una limitada planificación urbana.

Figura 3. Levantamiento cartográfico del Barrio Altamira.



Fuente: Elaborada por el autor.

Los terrenos sin construir se han convertido en espacios utilizados para el depósito de basuras y residuos de construcción, afectando también la zona colindante de reserva ambiental, que sufre un impacto significativo debido a esta problemática. El comercio se concentra principalmente a lo largo de la vía principal que bordea el barrio, lo que dificulta el acceso a otros servicios dentro del mismo.

En el aspecto social, esta concentración de actividades en zonas específicas del barrio incrementa su vulnerabilidad en términos de seguridad, siendo estos puntos los más conflictivos, según relatan los habitantes (Subham *et al.*, 2024). Además, la ubicación del barrio y su limitada conectividad lo convierten en un lugar difícilmente permeable, con alta exposición a riesgos ambientales y de seguridad. Esta percepción, compartida por los propios residentes y la ciudadanía en general, refuerza la complejidad social del barrio.

El registro fotográfico realizado permitió evidenciar estas realidades y comprender la dificultad del barrio para ofrecer escenarios básicos que respondan a las necesidades de su comunidad. Estas condiciones destacan la urgencia de intervenir en el barrio Altamira para mitigar los problemas detectados y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Barrio Santa Elena

Ubicado en el sector nororiental de la ciudad y clasificado como estrato 4, Santa Elena presenta una configuración urbana más consolidada en comparación con los otros dos barrios analizados. En la *figura 4* se ilustra la disposición de los conjuntos cerrados y su relación con la avenida principal. Se indican las áreas clasificadas como reservas forestales en el borde del barrio, evidenciando la proximidad de dichos ecosistemas a la zona urbana. Además, se señalan las áreas con limitada iluminación pública y aquellos accesos restringidos que dificultan la conectividad interna y externa.

Este barrio limita con vecinos de estratificación 4 y 5, cuenta con una vía interna municipal de primer orden (Avenida Universitaria) y colinda con una zona de reserva forestal.

Figura 4. Levantamiento cartográfico del Barrio Santa Elena.



Fuente: Elaborada por el autor.

En el caso del barrio Santa Elena, aunque no presenta complejidad topográfica, destaca por su inaccesibilidad. Los conjuntos residenciales son cerrados, y las vías exteriores aún carecen de regulación debido a la disposición fragmentada de los diferentes microbarrios que conforman la zona, lo que dificulta la conexión entre ellos. Cada conjunto cuenta con accesos particulares, mientras que el espacio público, aunque seguro internamente, es privado y limitado. Además, el alumbrado público es insuficiente, lo que afecta la calidad de los entornos nocturnos. En su costado oriental, designado como suelo de expansión urbana, el vecino colindante está ocupado actualmente por desarrollos prediales sin regulación, lo que dificulta aún más su integración con el casco urbano consolidado. En cuanto a la seguridad, esta se ve comprometida en las zonas cercanas al barrio debido a la falta de consolidación de los predios, lo que ha propiciado la ocurrencia de actos delictivos y de consumo de sustancias prohibidas, especialmente en terrenos no desarrollados (Córdova *et al.*, 2024).

El barrio no cuenta con usos comerciales internos, estos se concentran exclusivamente sobre la avenida principal, lo que limita el acceso a servicios básicos dentro de la zona residencial. En términos sociales, se evidencia una falta de interacción significativa entre los habitantes, característica que afecta la cohesión comunitaria. Aunque no se identificaron afectaciones ambientales significativas, es importante mencionar que algunas áreas del barrio fueron desarrolladas sobre una reserva forestal, lo que plantea preocupaciones sobre la sostenibilidad de su desarrollo urbano y la preservación de sus recursos naturales.

Análisis Comparativo

El análisis comparativo entre los barrios Altos de Cooservicios, Altamira y Santa Elena evidencia cómo las condiciones topográficas, la estratificación y el desarrollo urbano influyen en las problemáticas sociales, ecológicas y económicas que enfrenta cada uno. En la *tabla 1* se sintetiza los principales hallazgos obtenidos en las dimensiones clave: morfología y topografía, movilidad, seguridad y apropiación, impacto ambiental, comercio y economía local y cohesión social (Panzera *et al.*, 2021).

Tabla 1. Comparación de hallazgos.

Dimensión	Altos de Cooservicios (Estrato 3)	Altamira (Estrato 2)	Santa Elena (Estrato 4)
Morfología y topografía	Pendiente moderada, manzanas irregulares.	Pendiente pronunciada, desarrollo parcial de manzanas.	Topografía plana, conjuntos cerrados con vías internas.
Movilidad	Congestión en vías principales y aglomeración comercial.	Dificultad peatonal por la pendiente, vías principales poco integradas	Conjuntos de acceso restringido, escasa conectividad externa
Seguridad y apropiación	Invasión del espacio público, inseguridad en zonas no consolidadas.	Zonas residuales usadas como basureros y para actividades delictivas.	Seguridad interna aceptable, problemas en zonas no urbanizadas del perímetro
Impacto ambiental	Uso inadecuado de espacios vacíos para vertido de residuos.	Alto impacto en reserva ambiental contigua por desechos de construcción	Desarrollo sobre reserva forestal y falta de iluminación pública
Comercio y economía local	Comercio concentrado en ejes viales, necesidad de mayor ordenamiento.	Comercio escaso y focalizado en la vía principal, ausencia de servicios internos.	Comercio limitado a la avenida principal, escasa diversidad de servicios
Cohesión social	Apropiación comunitaria de algunos espacios, pero con problemas de inseguridad	Baja interacción por carencia de espacios públicos consolidados	Baja interacción por conjuntos cerrados y falta de espacio público compartido

Fuente: Elaborada por el autor.

En términos de movilidad, Altamira presenta mayores dificultades debido a su pendiente pronunciada, lo que complica la transitabilidad tanto peatonal como vehicular. Por su parte, Altos de Cooservicios, aunque con menor pendiente, enfrenta retos similares por la disposición irregular de sus manzanas y la falta de conexión con el contexto inmediato. Santa Elena, si bien no tiene complejidades topográficas, destaca por su inaccesibilidad causada por la segregación de sus conjuntos cerrados y la carencia de vías reguladas (Cortés, 2021).

Desde el punto de vista social, Altos de Cooservicios y Altamira comparten problemáticas de inseguridad relacionadas con el uso indebido de espacios no consolidados, mientras que en Santa Elena la inseguridad se concentra en las áreas colindantes no desarrolladas. Además, Santa Elena muestra una menor interacción comunitaria debido a la disposición cerrada de sus conjuntos residenciales, en contraste con los procesos de apropiación colectiva observados en los otros dos barrios.

En el aspecto ambiental, Altamira y Altos de Cooservicios sufren mayores afectaciones por la acumulación de residuos en terrenos sin uso, mientras que Santa Elena, aunque con menor impacto ambiental, enfrenta retos derivados del desarrollo urbano sobre una reserva forestal (Mollashahi *et al.*, 2022).

Finalmente, en términos económicos, Altos de Cooservicios y Altamira concentran su comercio en vías principales, lo que limita la disponibilidad de servicios al interior de los barrios. Una situación similar se presenta en Santa Elena, donde la oferta comercial es limitada a la avenida principal, con escasa diversidad de servicios. Este análisis destaca la necesidad de estrategias diferenciadas que atiendan las particularidades de cada barrio, considerando su morfología, estratificación y el nivel de consolidación urbana.

Correlaciones de problemáticas urbanas

En la *tabla 2* se presenta la matriz de correlaciones entre problemáticas urbanas, mediante análisis cuantitativo y multivariable. Para ilustrar el enfoque, se incluyeron cinco variables relacionadas con la calidad de vida y las condiciones socioambientales de barrios periféricos.

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre problemáticas urbanas.

Variable	Movilidad	Seguridad Percibida	Impacto Ambiental	Disponibilidad de Servicios	Participación Comunitaria
Movilidad	1.00	-0.45	0.62	-0.31	0.28
Seguridad Percibida	-0.45	1.00	-0.37	0.16	0.55
Impacto Ambiental	0.62	-0.37	1.00	-0.22	-0.41
Disponibilidad de Servicios	-0.31	0.16	-0.22	1.00	0.47
Participación Comunitaria	0.28	0.55	-0.41	0.47	1.00

Fuente: Elaborada por el autor.

Al interpretar la matriz de correlaciones, fue fundamental vincular los coeficientes numéricos con el contexto particular y la información cualitativa de cada barrio. A continuación, se describe la lectura conjunta, así:

Movilidad y seguridad percibida ($r = -0.45$)

La correlación negativa indica que, en los barrios con mayor flujo vehicular o con vías principales saturadas, la población tiende a percibir un entorno menos seguro.

Cualitativamente, esto podría reflejarse en Altos de Cooservicios, donde la congestión en vías internas genera embotellamientos e incrementa la sensación de inseguridad peatonal. Asimismo, en Altamira, la pendiente pronunciada y la falta de pasos peatonales podrían reforzar esta correlación negativa.

Movilidad e impacto ambiental ($r = 0.62$)

La correlación positiva sugiere que, en sectores con mayor tráfico y conectividad, se incrementan también los problemas ambientales (ruido, contaminación, vertido de residuos).

Por ejemplo, en Santa Elena, si bien su conectividad externa es deficiente, la circulación vehicular en avenidas perimetrales podría ocasionar focos de contaminación. Del mismo modo, en Altamira la carretera principal concentra tanto la movilidad como la acumulación de desechos.

Seguridad percibida y participación comunitaria ($r = 0.55$)

Este coeficiente alto y positivo suele indicar que allí, donde la comunidad se organiza más (juntas de acción, comités de vigilancia o eventos vecinales), la percepción de seguridad mejora.

Cualitativamente Altos de Cooservicios presenta dinámicas de apropiación de espacios colectivos; esta organización barrial puede vincularse con una mejor percepción de seguridad. En cambio, Santa Elena, con sus conjuntos cerrados, muestra menor interacción y esto podría explicar por qué su seguridad depende más de factores externos (p. ej., vigilancia privada) que de la cohesión social.

Impacto ambiental y participación comunitaria ($r = -0.41$)

La correlación negativa indica que, a medida que aumentan los problemas ambientales (basuras, uso indebido de zonas verdes), la participación comunitaria disminuye, o viceversa.

En Altamira, la presencia de lotes vacíos sin control y la no recolección de residuos, puede desmotivar la implicación vecinal, pues generan entornos inseguros y antihigiénicos. Por el contrario, en sectores donde las comunidades asumen un rol activo para mantener limpias áreas comunes, el impacto ambiental tiende a reducirse.

Disponibilidad de servicios y participación comunitaria ($r = 0.47$)

Esta correlación positiva indica que, en barrios con mayor acceso a comercios, salud o educación, los residentes suelen tener más espacios de encuentro y, por ende, una mayor cohesión social.

En Santa Elena la oferta comercial se centra en una avenida principal, limitando la interacción en los conjuntos cerrados. Mientras tanto, en Altos de Cooservicios la existencia de pequeños comercios o espacios de reunión podría favorecer la comunicación vecinal, promoviendo el trabajo colectivo.

En conjunto, los resultados cuantitativos adquirieron sentido al contrastarse con las características topográficas, la distribución de usos de suelo y los testimonios de los habitantes. Esta integración de enfoques refuerza la necesidad de diseñar estrategias de intervención diferenciadas, donde cada barrio reciba soluciones adaptadas a su morfología, grado de organización ciudadana y problemáticas ambientales particulares.

Limitaciones del estudio

El presente estudio enfrentó varias limitaciones que condicionaron el alcance y la profundidad de los resultados obtenidos. En primer lugar, aunque se diseñaron fichas de levantamiento cartográfico para 21 barrios periféricos de Tunja, no se logró completar el análisis de todos ellos debido a restricciones relacionadas con la seguridad en ciertos sectores. Estas zonas, por su alta complejidad social, presentaron riesgos que dificultaron el trabajo de campo, limitando la representatividad de los datos recolectados.

En segundo lugar, la metodología de observación directa y registro fotográfico se vio influenciada por las condiciones temporales y ambientales durante las visitas. Factores como el clima o el acceso restringido a algunos espacios específicos afectaron la calidad del registro en algunos casos. Además,

aunque se utilizó la plataforma SIG del Departamento Administrativo de Planeación Territorial, con datos actualizados de población y servicios básicos, se detectaron vacíos en la información detallada sobre el estado actual de ciertos predios y usos del suelo.

Otra limitación importante fue la falta de participación directa de los habitantes en el análisis inicial (Salem *et al.*, 2024). Aunque se realizaron observaciones y registros en campo, una consulta más amplia con la comunidad podría haber aportado perspectivas adicionales sobre las dinámicas sociales y las percepciones de seguridad en los barrios estudiados.

Finalmente, la comparación entre barrios estuvo condicionada por las diferencias en su grado de consolidación y estratificación, lo que dificulta generalizar ciertas conclusiones para toda la periferia de Tunja. Estas limitaciones evidencian la necesidad de futuras investigaciones que integren metodologías más inclusivas y una mayor cobertura territorial.

Los análisis cuantitativos y multivariantes evidenciaron correlaciones estadísticamente significativas entre las problemáticas socioambientales de los barrios periféricos de Tunja. En particular, la relación negativa entre movilidad y seguridad percibida sugiere que una alta congestión vial tiende a coincidir con una menor sensación de seguridad ciudadana. Por su parte, la fuerte correlación positiva entre movilidad e impacto ambiental revela que el incremento en el tráfico y la actividad comercial puede intensificar la contaminación y el vertido de residuos.

Asimismo, la vinculación positiva entre participación comunitaria y seguridad percibida refuerza la importancia de organizar comités barriales y fomentar la cohesión social para mitigar la inseguridad. Del mismo modo, la correlación negativa entre impacto ambiental y participación comunitaria indica que la proliferación de vertederos ilegales y la degradación de espacios verdes desalienta el involucramiento de los residentes (Ursino *et al.*, 2023).

En conjunto, estos hallazgos ponen de manifiesto la compleja interdependencia de factores urbanos, naturales y sociales, resaltando la necesidad de adoptar estrategias de intervención integrales y contextualmente adaptadas en cada barrio. De este modo, la aplicación de metodologías de correlación, en conjunción con la información cualitativa, aporta una visión más completa para priorizar acciones y diseñar políticas públicas eficaces.

DISCUSIÓN

Los principales hallazgos de este estudio revelan que los barrios periféricos de Tunja presentan problemáticas interconectadas que responden a factores sociales, naturales y urbanísticos propios de su morfología y contexto. En particular, la segregación espacial, la irregularidad de las pendientes y la falta de consolidación de los espacios colindantes emergen como condicionantes de la inseguridad, la movilidad limitada y la apropiación informal de terrenos (Alter *et al.*, 2021). Estos resultados concuerdan con lo planteado por Subham *et al.* (2024) quienes, en su análisis de barrios periféricos en Quito, destacaron que las configuraciones urbanas no planificadas amplifican la vulnerabilidad social y natural de estas áreas, especialmente en territorios con topografía compleja.

El análisis de correlaciones entre las problemáticas sociales y naturales de los barrios estudiados refuerza la idea de que las periferias no son entes aislados, sino que sus condiciones están profundamente influenciadas por los entornos colindantes (Santa *et al.*, 2023). Altos de Cooservicios y Altamira comparten características de vulnerabilidad relacionadas con el desecho de residuos en terrenos no consolidados y la percepción de inseguridad en espacios no regulados, reflejando patrones similares a los observados en Medellín por Córdova *et al.* (2024). Estos autores argumentan que los vacíos urbanos en áreas periféricas actúan como catalizadores de dinámicas delictivas y

ambientales negativas, un fenómeno que este estudio confirma para el contexto de Tunja. Tal hallazgo subraya la urgencia de priorizar la regulación y el manejo adecuado de los vacíos urbanos como parte de una estrategia integral de planificación.

Por último, la falta de conectividad y cohesión social detectada en Santa Elena concuerda con lo señalado por (Santa *et al.*, 2023) en su estudio sobre urbanización cerrada en Santiago de Chile, donde se concluye que la proliferación de conjuntos cerrados reduce la accesibilidad y promueve la fragmentación social. La extrapolación de este fenómeno a Tunja sugiere que el diseño de políticas públicas debe contemplar no solo la regulación normativa de los espacios urbanos, sino también la creación de estrategias para fomentar la integración comunitaria y disminuir las barreras de interacción social.

Implicaciones prácticas

Los hallazgos señalan la necesidad de regulación y planeación diferenciada según la pendiente del relieve, la configuración de los conjuntos habitacionales y el control de espacios vacíos. En la práctica, esto implica:

- Fortalecer la normativa que regula la consolidación de barrios periféricos y evitar la proliferación de lotes sin construir o con usos ambiguos que propicien inseguridad y acumulación de residuos.
- Mejorar la accesibilidad peatonal y vehicular. En barrios con pendientes marcadas (caso Altamira), se recomiendan intervenciones de ingeniería vial y rutas peatonales seguras (p. ej., senderos con escalones y barandillas).
- Ordenar el comercio local e implementar planes de reubicación o formalización de puestos comerciales, para evitar la invasión de andenes y contribuir a la seguridad ciudadana.

Recomendaciones para política pública

- Instrumentos de gestión del suelo: Las administraciones locales y regionales podrían desarrollar planes de ocupación de espacios públicos con participación comunitaria, priorizando la recuperación de áreas residuales y su incorporación a la red de parques o equipamientos de barrio.
- Fomento de la cohesión social: Incentivar proyectos de participación vecinal y espacios de encuentro comunitario que fortalezcan la convivencia y la seguridad, especialmente en barrios con conjuntos cerrados o escasez de equipamientos.
- Protección de reservas naturales: Para barrios que limitan con áreas de reserva (como Altamira y Santa Elena), se recomienda reforzar la vigilancia ambiental, sancionar el vertido ilegal de residuos y promover corredores verdes que conecten zonas residenciales con la reserva.
- Articulación interinstitucional: Es esencial contar con la participación de las secretarías de Planeación, Medio Ambiente y Seguridad para coordinar intervenciones en infraestructura, movilidad y seguridad, con un enfoque sostenible y equitativo.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar las problemáticas y particularidades de los barrios periféricos seleccionados, evidenciando cómo las condiciones morfológicas, sociales y naturales se encuentran profundamente vinculadas tanto con las dinámicas de los barrios colindantes como con las características específicas de cada territorio. El uso de una metodología basada en el levantamiento cartográfico y el diseño de fichas específicas resultó fundamental para analizar estas

problemáticas desde múltiples escalas y perspectivas, posibilitando la priorización de los aspectos críticos en cada sector y la identificación de correlaciones significativas entre las variables evaluadas.

La replicabilidad de este método constituye una contribución relevante para estudios futuros en contextos urbanos con configuraciones similares. La implementación de fichas detalladas, complementadas con visitas de campo y registros fotográficos, se demostró eficaz para comprender tanto las dinámicas internas de cada barrio como sus interacciones con el entorno inmediato. Asimismo, generó insumos prácticos que pueden respaldar la planeación y la toma de decisiones a nivel local, condición especialmente útil en ciudades con crecimiento desorganizado en sus periferias y falta de integración entre sectores consolidados y zonas en expansión.

En síntesis, los hallazgos de este estudio resaltan la importancia de abordar las problemáticas de los barrios periféricos desde un enfoque integral, en el cual confluyan los factores morfológicos, sociales y naturales. Además, posicionan esta metodología como una herramienta aplicable y ajustable a diversos escenarios urbanos, con el potencial de contribuir significativamente al diseño de políticas públicas y estrategias de intervención que respondan a las necesidades reales de las comunidades y promuevan un desarrollo urbano más sustentable y equitativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Tunja. (2024). *Delimitación de barrios y veredas*. Departamento Administrativos de Planeación Territorial. <https://acortar.link/MuL8RL>
- Alter, M. & Skinner, C. (2021). *The Urban Informal Economy: Achieving Prospering and Territorial Equality*. GOLD VI Working Paper Series 05. United Cities and Local Governments. <https://acortar.link/HhmybQ>
- Calixto, R. (2024). Comportamiento de la movilidad vehicular en ciudades pequeñas. Estudio de caso: Tunja, Boyacá, Colombia. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 7, e372. <https://doi.org/10.46380/rias.v7.e372>
- Calixto, R. (2025). *Metodología para la evaluación de impactos ambientales causados por la fragmentación urbana* [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores.
- Córdova, M., Egas, A. y Menoscal, J. (2024). Asentamientos informales, regularización y riesgo de desastres en el periurbano del Distrito Metropolitano de Quito - Colinas del Norte. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 33(1), 99–119. <https://orcid.org/0000-0003-2570-3215>
- Cortés, Y. (2021). Spatial Accessibility to Local Public Services in an Unequal Place: An Analysis from Patterns of Residential Segregation in the Metropolitan Area of Santiago, Chile. *Sustainability*, 13(2), e442. <https://doi.org/10.3390/su13020442>
- Mollashahi, H. & Szymura, M. (2022). Urban Ecosystem: An Interaction of Biological and Physical Components. An L. Hufnagel (Ed.), *Biodiversity of Ecosystems*. IntechOpen. <https://acortar.link/qLsMRJ>
- Panzer, D. & Postiglione, P. (2021). The impact of regional inequality on economic growth: a spatial econometric approach. *Regional Studies*, 56(5), 687–702. <https://acortar.link/p4WABg>

- Salem, M. & Tsurusaki, N. (2024). Impacts of Rapid Urban Expansion on Peri-Urban Landscapes in the Global South: Insights from Landscape Metrics in Greater Cairo. *Sustainability*, 16(6), e2316. <https://doi.org/10.3390/su16062316>
- Santa, A. & Xiaofan, J. (2023). Rethinking walkability: Exploring the relationship between urban form and neighborhood social cohesion. *Ciudades y sociedad sostenibles*, 99, e104903. <https://acortar.link/AjrPSA>
- Santamaría, L. (2022). Alternativa de movilidad para el borde noroccidental del Centro Histórico de Tunja. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 9(2), 69-93. <https://acortar.link/h95kJN>
- Santo-Tomás, R., Sáenz, C. & Rodríguez, E. (2020). Green Infrastructures in the Peri-Urban Landscape: Exploring Local Perception of Well-Being through 'Go-Alongs' and 'Semi-Structured Interviews'. *Sustainability*, 12(17), 6836. <https://doi.org/10.3390/su12176836>
- Smith, S., Bellaby, P. & Lindsay, S. (2010). Social Inclusion at Different Scales in the Urban Environment: Locating the Community to Empower. *Urban Studies*, 47(7), 1439-1457. <https://doi.org/10.1177/0042098009353618>
- Soltani, S., Gu, N., Ochoa, J. & Sivam, A. (2021). The role of spatial configuration in moderating the relationship between social sustainability and urban density. *Cities*, 121, e103519. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103519>
- Subham, R., Suranjan, M., Arghadeep, Bo. & Indrajit, R. (2024). Mapping the vulnerable: A framework for analyzing urban social vulnerability and its societal impact. *Societal Impacts*, 3, e100049. <https://doi.org/10.1016/j.socimp.2024.100049>
- Ursino, S., Vila, M. & Durante, M. (2023). Hábitat popular y organización comunitaria en barrios periféricos de Gran La Plata - Argentina ante COVID 19. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu16.hpoc>



GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Herramientas para la gestión sostenible de los territorios. Caso de estudio: municipio Constanza, República Dominicana.

Tools for the Sustainable Management of Territories. Case Study: Constanza Municipality, Dominican Republic.

Ferramentas para o Gerenciamento Sustentável de Territórios. Estudo de Caso: Município de Constanza, República Dominicana.

**Eunice Rosana Kourie Bornia y
Loraine Mayrim Giraud Herrera**

Fondo Verde Internacional,
República Dominicana/Venezuela
dujo.maderas@gmail.com

Artículo científico

Enviado: 22/1/2025

Aprobado: 21/7/2025

Publicado: 30/7/2025

RESUMEN

Las cajas de herramientas son metodologías que establecen acciones concretas para un contexto específico, facilitando la resolución de problemáticas determinadas; por lo que el objetivo de esta investigación fue definir herramientas prácticas que apoyen la gestión municipal de manera sostenible y puedan ser implementadas por los tomadores de decisiones sin todos los conocimientos técnicos, según la necesidad del territorio y su contexto social, económico y natural. En la investigación se definieron 18 herramientas, correlacionadas con 12 variables relacionadas con el Uso Óptimo de la Tierra y el Ordenamiento Territorial, equivalentes a un 60.68% de correlación. A menor porcentaje de correlación, mayor grado de sostenibilidad; este grado se estableció mediante un mapeo de dichas herramientas con la Agenda 2030. La caja de herramientas que se propone debe resolver las problemáticas priorizadas mediante un diagnóstico territorial participativo. Tras sistematizar y categorizar la información, se obtuvieron insumos valiosos para la planificación territorial, el diseño e implementación del Plan Municipal de Desarrollo y el uso óptimo del territorio.

Palabras clave: asentamientos rurales, ordenamiento ambiental municipal, planificación estratégica.

ABSTRACT

Toolboxes are methodologies that establish concrete actions for a specific context, facilitating the resolution of specific problems. Therefore, the objective of this research was to define practical tools that support sustainable municipal management and can be implemented by decision-makers without the necessary technical knowledge, according to the needs of the territory and its social, economic, and natural context. The research defined 18 tools, correlated with 12 variables related to Optimal Land Use and Territorial Planning, equivalent to a 60.68% correlation. The lower the correlation percentage, the higher the degree of sustainability; this degree was established by mapping these tools with the 2030 Agenda. The proposed toolbox should address prioritized problems through a participatory territorial diagnosis. After systematizing and categorizing the information, valuable inputs were obtained for territorial planning, the design and implementation of the Municipal Development Plan, and optimal land use.

Keywords: municipal environmental management, rural settlements, strategic planning.

RESUMO

Caixas de ferramentas são metodologias que estabelecem ações concretas para um contexto específico, facilitando a resolução de problemas específicos. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi definir ferramentas práticas que apoiem a gestão municipal sustentável e possam ser implementadas por tomadores de decisão sem o conhecimento técnico necessário, de acordo com as necessidades do território e seu contexto social, econômico e natural. A pesquisa definiu 18 ferramentas, correlacionadas com 12 variáveis relacionadas ao Uso Ótimo do Solo e Planejamento Territorial, equivalente a uma correlação de 60,68%. Quanto menor o percentual de correlação, maior o grau de sustentabilidade; esse grau foi estabelecido pelo mapeamento dessas ferramentas com a Agenda 2030. A caixa de ferramentas proposta deve abordar problemas priorizados por meio de um diagnóstico territorial participativo. Após sistematização e categorização das informações, foram obtidos insumos valiosos para o planejamento territorial, a concepção e implementação do Plano de Desenvolvimento Municipal e o uso ótimo do solo.

Palavras-chave: assentamentos rurais, gestão ambiental municipal, planejamento estratégico.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento desordenado de los territorios, sumado a la degradación de la tierra y la desaparición de áreas boscosas, evidencia la necesidad urgente de desarrollar modelos de planificación que incorporen herramientas adecuadas para la organización del territorio con una visión clara de sostenibilidad. La interacción entre el ser humano y el resto de la naturaleza de la que forma parte y el impacto negativo de su actividad requiere introducir el concepto de “uso óptimo de la tierra”, como un elemento clave en la planificación y el ordenamiento territorial (OT).

Lograr una planificación estratégica basada en el Uso Óptimo de la Tierra (UOT), con una correcta ordenación y gestión de los recursos naturales, requiere la participación activa de todos los sectores sociales y productivos. De ello dependerá en gran medida la calidad ambiental de las ciudades, la calidad de vida de los ciudadanos y la sostenibilidad territorial.

La organización de las ciudades, y del resto de los asentamientos humanos, ha pasado de ser una respuesta básica para satisfacer necesidades primarias, comúnmente cercana a fuentes de agua, a convertirse en soluciones integrales que consideran tanto el bienestar humano como la protección de la naturaleza. El OT Municipal tiene carácter preventivo. Como unidad territorial en crecimiento, los municipios incluyen áreas urbanas con menor complejidad y áreas rurales que aún pueden redirigirse hacia el desarrollo sostenible¹. Aunque corresponde al Gobierno Nacional establecer las bases del OT, las municipalidades deben asumir un rol protagónico, especialmente en la planificación urbana y rural. Más que construir nuevas ciudades, es fundamental transformar de manera profunda y sostenible las actuales, que en muchos casos presentan altos niveles de insostenibilidad.

Se han identificado instrumentos y metodologías que responden a objetivos relacionados con la gestión y administración de territorios. Tres cajas de herramientas vinculadas a la sostenibilidad sustentan la presente propuesta: la *Guía simplificada de la Propuesta metodológica para la elaboración y/o actualización de Planes de Desarrollo Municipal con enfoque de ordenamiento territorial* (República de Honduras, 2010), la *Caja de Herramientas para el Desarrollo Económico Local*

¹ “Proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (Puerta, 2022, p. 5).

con *Enfoque en Cadena de Valor* (Oficina de Cooperación Suiza en América Central, 2013) y la *Caja de herramientas de apoyo a la gestión territorial del turismo* (Romero *et al.*, 2013). Adicionalmente, se incluye la *Caja de herramientas ONG-IDEAs* (Mendoza, 2018), enfocada en la evaluación participativa de impactos y resultados.

En objetivo general de la investigación fue desarrollar una propuesta metodológica de herramientas para optimizar la planificación, el UOT y su ordenamiento, que apoye los procesos hacia la sostenibilidad municipal. Para esto se realizó la revisión sistemática de unos 35 documentos (artículos científicos, guías y otras publicaciones) que permitió identificar y caracterizar un paquete de herramientas sostenibles para los asentamientos humanos; con el propósito de lograr en los mismos un uso óptimo del territorio mediante un eficiente ordenamiento territorial e identificar insumos relevantes para la definición de un Plan de Desarrollo Municipal y Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Herramientas, que desde la perspectiva de la ordenación del territorio y de su uso óptimo, puedan ser implementadas para apoyar a los asentamientos humanos urbanos o rurales, de cualquier tamaño, desde un barrio o sector, un pueblo, un municipio, o una ciudad grande o pequeña (Ríos *et al.*, 2011).

El valor de la propuesta metodológica es suministrar un conjunto de instrumentos que mejoran la gestión municipal y la calidad de vida de sus habitantes. La recolección de datos combinó el diagnóstico participativo, la revisión bibliográfica, el diagnóstico territorial georreferenciado y la observación directa. Se utilizaron la matriz de Vester y el árbol de problemas para sistematizar, categorizar y jerarquizar la información recabada.

A partir de la revisión bibliográfica se seleccionaron 18 herramientas, definidas en función de variables de sostenibilidad relacionadas con el UOT y el OT. Estas herramientas, sistematizadas en un lenguaje práctico y accesible, están diseñadas para ser implementadas por tomadores de decisiones que, en muchos casos, poseen conocimientos técnicos limitados. Las herramientas se organizan en cinco grandes grupos: *herramientas de ruralización urbana*, *herramientas de arquitectura regenerativa*, *herramientas de producción sostenible*, *herramientas de desarrollo municipal* y *herramientas de infraestructura verde*. Estas herramientas pueden implementarse de manera individual o combinada, dependiendo de las necesidades y el contexto social, económico y natural del territorio. Constituyen programas, proyectos, iniciativas y acciones que deben incorporarse al Plan de Desarrollo Municipal.

En República Dominicana varios municipios carecen de un Plan de Ordenamiento Territorial o enfrentan desafíos como escasa voluntad política, capacidad técnica y normativas insuficientes para regular el uso del suelo. Además, persisten problemas como el favoritismo político, la ausencia de títulos de propiedad en grandes áreas y la existencia de POT adaptados de otros países que no son aplicables localmente.

El municipio Constanza, ubicado en la provincia La Vega, se seleccionó como caso de validación por su alto valor ecosistémico y problemáticas socioambientales significativas: expansión agrícola y turística desordenada y ocupación indebida de áreas protegidas. Para garantizar un diagnóstico participativo se realizó un Cabildo Abierto, donde se identificaron y validaron las principales problemáticas del municipio mediante consultas, cuestionarios y entrevistas con actores clave. Posteriormente, estas problemáticas se cruzaron con las herramientas propuestas, y se priorizaron 12 de las 18 herramientas para su aplicación en el municipio. Demostrándose la relevancia de implementar herramientas de gestión sostenible en municipios, tomando como ejemplo Constanza. Como parte de la investigación se identifican y evalúan estrategias para la planificación y manejo de recursos naturales y urbanos, que deben impulsar un modelo de desarrollo a largo plazo desde el paradigma de la sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se fundamentó en diversas perspectivas epistemológicas, adaptándose al contexto de la sostenibilidad territorial y las diferentes formas de concebir el conocimiento y la realidad. Desde una perspectiva constructivista, reconoce que el conocimiento es construido socialmente y está influenciado por las interpretaciones individuales y colectivas, y se valora la comprensión de las múltiples perspectivas y significados que las personas atribuyen a la sostenibilidad. Desde una perspectiva crítica, se reconoció que el conocimiento está influenciado por relaciones de poder y estructuras sociales. Integra un enfoque interdisciplinario ya que involucró diferentes disciplinas como la ingeniería ambiental, la economía, la sociología rural, la planificación urbana, entre otras, para abordar de manera integral los desafíos y oportunidades de la sostenibilidad territorial en los municipios rurales.

Esta investigación tuvo diferentes enfoques, ofrece perspectivas únicas y complementarias sobre la definición e implementación de herramientas relacionadas al uso óptimo de los territorios en los municipios rurales en relación con la sostenibilidad territorial. El enfoque fenomenológico se centró en la comprensión de la experiencia de los residentes en el municipio. El enfoque participativo involucró a la comunidad mediante consultas a residentes, autoridades locales, organizaciones comunitarias y otros actores relevantes, desde la identificación de problemas hasta la implementación de posibles soluciones. El enfoque sistémico se asume al considerar los municipios rurales son sistemas complejos y dinámicos, donde las interacciones entre los elementos económicos, sociales y naturales influyen en la sostenibilidad territorial, pues se analiza cómo estas interacciones afectan la definición y la implementación de herramientas sostenibles, y cómo las intervenciones en un área pueden tener efectos en otras partes del sistema. Finalmente se adopta un enfoque cualitativo e interpretativo por la comprensión de las perspectivas y significados subjetivos de los actores involucrados en la sostenibilidad de los municipios, que permitió explorar las percepciones, valores, creencias y experiencias de los residentes, líderes comunitarios, funcionarios gubernamentales y otros interesados, utilizando entrevistas guiadas, estudios de caso y análisis documental.

La investigación tuvo un carácter histórico y bibliográfico pues analizó la evolución y funcionamiento de prácticas de sostenibilidad territorial en los municipios rurales a lo largo del tiempo; de las cuales se escogieron aquellas que fueran entendibles, adaptables y pragmáticas para las limitadas competencias y habilidades técnicas de muchos de los tomadores de decisiones y actores claves municipales.

El alcance temático planteado estuvo limitado por los diferentes aspectos de la sostenibilidad relacionados al ordenamiento territorial y el uso óptimo de la tierra, como la gestión de recursos naturales, la agricultura sostenible, la energía renovable, el desarrollo económico local, la participación comunitaria, entre otro; dejando fuera otros aspectos importantes de la sostenibilidad, pero que no están directamente relacionados con el ordenamiento territorial y el uso óptimo de la tierra.

Se definió un grupo de variables relacionadas a la sostenibilidad territorial: la Planificación Estratégica Territorial, la arquitectura y urbanismo bioclimático, uso de energías renovables, la movilidad territorial, las infraestructuras, tecnologías sostenibles e innovación, la producción y consumo sostenible, la gestión de residuos sólidos y de los recursos naturales, así como la gestión y saneamiento sostenible del agua. Luego se realizó una revisión bibliográfica de herramientas de sostenibilidad sencillas y fáciles de implementar; las cuales apoyarían la solución de problemáticas municipales relacionadas a las variables definidas.

Las herramientas caracterizadas son programas, modelos de proyectos o iniciativas existentes, metodológicamente definidas y validadas por autores e instituciones y, sobre todo, de bajo uso tecnológico, adaptadas a la capacidad técnica mínima existente en la mayoría de los municipios de países en desarrollo, por lo que se buscó en el tiempo aquellas propuestas que se adaptaran a estos requisitos y se hizo necesario ir a consultas más allá de los últimos cinco años. Se definió un grupo de 18 herramientas y se identificaron los factores que influyen en las variables naturales, sociales y económicas que determinan la sostenibilidad urbano-rural relacionadas al UOT y OT del municipio. Se sistematizaron cada una de ellas con un lenguaje práctico, con medios fáciles de implementar y finalmente, para definir el grado de sostenibilidad de las 18 herramientas relacionadas al OT, se realizó un mapeo de la Agenda 2030 y sus ODS, utilizando una matriz de doble entrada.

Figura 1. Proceso metodológico para la definición y aplicación de la Caja de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de la Caja de Herramientas se escogió el municipio Constanza, ubicado en la provincia La Vega, Republica Dominicana, dado su alto valor ecosistémico. Municipio donde cada 3 km² aproximadamente nace una fuente de agua subterránea o superficial que incide en importantes ríos del país y con un 70% del territorio considerado área protegida. En Constanza se produce el 40% de las hortalizas a nivel nacional, bajo un modelo de agricultura intensiva, con un alto uso de agroquímicos. La actividad agrícola se desarrollada en más de un 40% en terrenos de montaña y con alta pendiente, causando un alto impacto ambiental en la zona. Constanza produce el 4% del PIB nacional, equivalente a más de la mitad del PIB de la provincia La Vega (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

Como parte del diagnóstico territorial se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica que permitió la recolección de datos sobre el municipio; siendo el documento de mayor aporte el *Plan estratégico para la gestión efectiva de los recursos naturales del municipio de Constanza, provincia La Vega* (2016) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Luego, se realizó un diagnóstico participativo para definir las principales problemáticas de sostenibilidad, mediante un Cabildo Abierto en el Ayuntamiento Municipal donde participaron los actores claves y la sociedad civil; con el apoyo de representantes del ayuntamiento y ministerios con incidencia local. Los resultados del cabildo abierto contribuyeron a definir las problemáticas de sostenibilidad. Estos resultados fueron validados mediante la aplicación de un instrumento a actores municipales y una encuesta guiada a

técnicos municipales: 35 profesionales y representantes de la sociedad civil, estudiantes, empleados públicos, autoridades del gobierno local, etc.

La primera parte del instrumento permitió definir el rol de la persona relacionada al municipio. La segunda, buscaba conocer la percepción de personas que no participaron del proceso de diagnóstico participativo y consensuar los resultados de este. Posteriormente se buscó definir parámetros e informaciones importantes para la aplicación de las herramientas de sostenibilidad. De los encuestados, el 40% pertenece al sector público, 20% eran empleados privados y empresarios, 13.3% académico y 6.7% investigadores, el restante 20% incluyó profesionales de diferentes áreas y estudiantes de Constanza.

Como parte del proceso para el diagnóstico territorial, llevado a cabo junto con técnicos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, se realizó un recorrido por todo el municipio mediante el cual se georreferenciaron las áreas de alta vulnerabilidad por inundaciones pluviales, crecidas de los ríos y con historial de deslizamientos de tierra, validadas por técnicos de diferentes áreas. Finalmente, mediante el uso de la aplicación de *Google Earth*, se verificó el cambio de uso de suelo (2006-2024) y las tendencias del crecimiento de la construcción turística y residencial; evidenciándose el impacto de la visible expansión agrícola descontrolada por la falta de planificación territorial. Luego de todo este proceso quedaron priorizadas 30 problemáticas, agrupadas por dimensión de sostenibilidad. A estos resultados se le aplicó una Evaluación Rápida Integral (metodología del PNUD conocida como RIA por sus siglas en inglés) o mapeo de los ODS y sus metas, dando un resultado de vinculación a la agenda 2030 de un 83.39%.

Durante el proceso de análisis y procesamiento de datos se aplicaron instrumentos como la Matriz de Vester, que permitió priorizar y categorizar las problemáticas en: activas, críticas, pasivas e indiferentes. Con el método del árbol de problemas se jerarquizaron las problemáticas, para finalmente establecer mediante el árbol de objetivos, las acciones prioritarias que se deben implementar. De este árbol de objetivos resultantes se obtuvieron los objetivos de la presente propuesta metodológica.

La aplicación de la Caja de Herramientas al municipio Constanza permitió definir 12 de las 18 herramientas. Como resultado de la aplicación se obtuvieron programas, proyectos e iniciativas a ejecutarse en el municipio Constanza con el objetivo de transitar hacia un modelo de desarrollo desde el paradigma de la sostenibilidad. Resultados que pueden ser implementados de forma independiente, priorizando los mismos en base a las decisiones tomadas en cuanto a su importancia y cantidad de recursos disponibles.

Este “Paquete” de programas, proyectos e iniciativas es un insumo para la inclusión de estos en el Plan de Desarrollo Municipal y en el Plan de Ordenamiento Territorial. Este proceso metodológico fue definido y dirigido para ser aplicado en municipios rurales y pequeños; ya que las características de los municipios conformado por grandes ciudades urbanas tienen problemáticas mucho más complejas y difíciles de diagnosticar con implicaciones tecnológicas que demandan más allá de lo establecido en las herramientas definidas, y donde el componente urbano es mucho mayor que el rural. Esto no significa que dichas herramientas no podrían también ser aplicadas en las grandes ciudades. Otra limitación para la implementación de estas herramientas podría ser la falta de voluntad política y/o la falta de preparación de los actores municipales que tiene la responsabilidad de implementarlas. Podrían adicionarse a esto, ya fuera de un enfoque territorial, el favoritismo político, la corrupción y los conflictos políticos que pueden influir en su aplicación.

RESULTADOS

El primer resultado que arrojó la investigación fue la definición de 13 variables de sostenibilidad relacionadas al UOT y el OT: *seguridad alimentaria, educación y capacidades humanas, planificación estratégica territorial, urbanismo y arquitectura bioclimática, gestión de residuos sólidos, energías renovables, movilidad territorial sostenible, producción sostenible, producción agrícola sostenible, empleo y emprendimiento, gestión y saneamiento de recursos hídricos y vulnerabilidad al cambio climático*. De la revisión bibliográfica sistematizada se definieron y caracterizaron 17 herramientas de sostenibilidad, conformando la Caja de Herramientas Sostenibles (CAHS), relacionadas con la ordenación del territorio. Estas herramientas no son herramientas modernas; son programas y proyectos que han tenido la oportunidad de ponerse en práctica, probados y sencillos que puedan ser interpretados por los actores locales con capacidades limitadas. En cada caso se identificó el origen de cada una de ellas. En base a los cinco grupos definidos anteriormente, estas herramientas son:

Herramientas de Ruralización Urbana

- HS-1. Agricultura urbana.
- HS-2. Cubiertas Verdes.

Herramientas de Arquitectura Regenerativa

- HS-3. Densificación Poblacional Controlada (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2020; Martínez, 2022; Jiménez y Montes, 2022; Benítez, 2022)
- HS-4. Reutilización arquitectónica en áreas urbanas y rurales.
- HS-5. Regeneración de espacios urbanos y rurales.

Herramientas de Producción Sostenible

- HS-6. Programa de Agricultura Sostenible para el UOT.
- HS-7. Programa Municipal de Economía Circular (Hernández y Arenas, 2024; Ellen MacArthur Foundation, 2024 y Salgado *et al.*, 2024).

Herramientas de Desarrollo Municipal

- HS-8. Programa de Educación Comunitaria para el Desarrollo Sostenible (Cieza, 2006; Caride, 2020 y González, & Martínez, 2023).
- HS-9. Plan municipal de Desarrollo Económico Local Sostenible.

Herramientas de Infraestructura Verdes

Gestión de Recursos Hídricos.

- HS-10. Red de Plantas de tratamiento de aguas residuales ecológicas. (Vásquez, 2019; Martínez, 2023; Pérez y Ramírez, 2023 y Castiblanco, 2023)
- HS-11. Programa para la siembra de agua.
Gestión de Residuos Sólidos.
- HS-12. Red de puntos de reciclaje y transferencia.
- HS-13. Composteras Municipales o comunitarias.
- HS-14. Vertederos Sostenibles.

Energías renovables.

- HS-15. Programa de Micro Hidroeléctrica Comunitaria (Turbulent, s.f.).
- HS-16. Programa de sistemas fotovoltaicos familiares y comunitarios (Fernández-Solas *et al.*, 2022 y Caamal-Chan *et al.*, 2024).

Movilidad sostenible y conectividad territorial.

- HS-17. Plan de Movilidad Urbana y Conectividad (Porto, 2022).
- HS-18. Ciclo Ruta y sistema de bicicletas públicas.

Mediante una matriz de doble entrada se correlacionaron las herramientas de sostenibilidad con las variables definidas y se estableció el impacto que produce la Caja de Herramientas en las variables de sostenibilidad. Se definieron solo las vinculaciones directas con una ponderación de 1 (uno) y 0 (cero) cuando no hay vinculación. Se obtuvieron los siguientes resultados: siete herramientas impactan entre un 60 y un 70% las variables de sostenibilidad, tres herramientas impactan en más de un 50% en las variables de sostenibilidad, seis herramientas impactan en más de un 40% en las variables de sostenibilidad y dos herramientas impactan en más de un 33% en las variables de sostenibilidad.

El resultado de esta correlación fue de un 60.68% del total de posibles herramientas de sostenibilidad, equivalente al porcentaje de herramientas de sostenibilidad relacionadas de forma directa con el OT y UOT, lo que indica la relevancia que tiene la sostenibilidad territorial en los asentamientos humanos. Este 60.68% tiene 127 correlaciones de 18 herramientas con 13 variables de sostenibilidad y 142 correlaciones de 13 variables con 18 herramientas. Ambos porcentajes iguales pero las correlaciones diferentes. El restante 39.32 % tiene que ver con la correlación entre variables y herramientas no relacionadas de forma directa con el UOT y el OT como: salud, igualdad de género, paz y justicia, que no forman parte de esta investigación.

En este contexto el 100% (60.68% + 39.32 %) integra todas las dimensiones (social, económica, ecológica e institucional) relacionadas o no a OT y UOT, lo que significa que un municipio no es sostenible cuando requiere del 100% de herramientas que impacta el 100% de las variables de sostenibilidad afectadas. A menor porcentaje de la correlación entre herramientas y variables, mayor será el grado de sostenibilidad del municipio. La cantidad de variables y herramientas para completar este 100% queda pendiente de definir en otra investigación. En Constanza, como resultado del Cabildo Abierto, se definieron 30 problemáticas de sostenibilidad, corroboradas mediante la aplicación de diferentes instrumentos. Se priorizaron 20, las cuales se categorizaron según dimensión de sostenibilidad y su relación con el OT y el UOT.

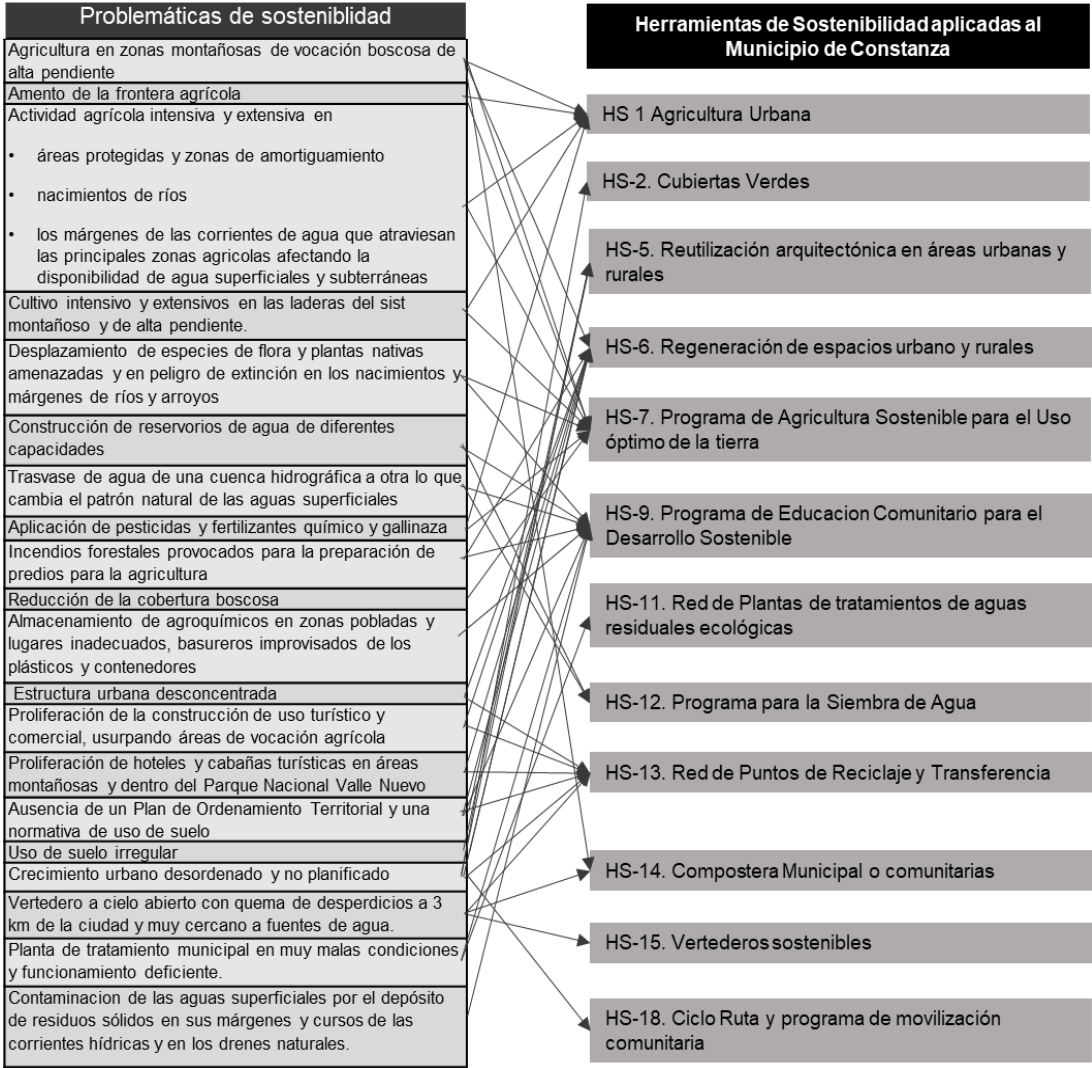
Tabla 1. Problemáticas de sostenibilidad en Constanza según dimensión y relación con el OT y UOT.

Socioeconómica	Ecológica	Urbanística
Agricultura en áreas de alta pendiente	Desplazamiento de flora y plantas nativas amenazadas y en peligro de extinción en nacimientos y márgenes de ríos y arroyos	Estructura urbana desconcentrada
Aumento de la frontera agrícola	Construcción de reservorios de agua	Proliferación de construcciones de uso turístico y comercial, usurpando áreas agrícolas
Cultivo intensivo y extensivos en las laderas de alta pendiente	Trasvase de agua de una cuenca hidrográfica a otra cambiando patrón natural	Proliferación de construcciones turísticas en áreas montañosas y dentro del Parque Nacional Valle Nuevo
Actividad agrícola intensiva y extensiva en áreas protegidas y zonas de amortiguamiento	Aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos y gallinaza	Ausencia de un POT y normativa de uso de suelo
Actividad agrícola intensiva y extensiva en nacimientos de ríos	Incendios forestales provocados por preparación de predios agrícolas	Uso de suelo irregular
Actividad agrícola intensiva y extensiva en márgenes de corrientes de aguas superficiales y subterráneas en zonas agrícolas	Reducción de la cobertura boscosa Almacenamiento de agroquímicos en zonas pobladas y lugares inadecuados, basureros improvisados de plásticos y contenedores	Crecimiento urbano desordenado y no planificado Vertedero a cielo abierto a tres kilómetros de la ciudad y cercano a fuentes acuíferas Planta de tratamiento municipal malas condiciones Contaminación de las aguas superficiales por residuos sólidos en sus márgenes y los drenajes naturales

Fuente: *Elaboración propia.*

Para cada una de estas problemáticas se procedió a determina las herramientas de sostenibilidad que le dan respuesta. Las herramientas no vinculadas fueron: HS3. Densificación Poblacional Controlada, HS-4. Producción de espacios públicos en áreas urbanas y suburbanas, HS-8. Programa Municipal de Economía circular, HS-10. Plan Municipal de Desarrollo Económico local Sostenible, HS-16. Programa de Micro hidroeléctrica comunitaria y HS-17. Programa de sistemas fotovoltaicos familiares y comunitarios. Quedando priorizadas 12 de las 18 herramientas de sostenibilidad para Constanza, estas son:

Figura 2. *Relación entre problemáticas y herramientas de sostenibilidad en el municipio Constanza.*



Fuente: *Elaboración propia.*

HS-1. Agricultura Urbana (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019 y Capdevila, 2023). Este programa se enfoca, previa coordinación con los propietarios, la Oficina de Gestión Comunitaria del Ayuntamiento y el Ministerio de Agricultura, en la integración de huertos comunitarios en terrenos baldíos de las áreas urbanas y Huertos Escolares en centros educativos públicos del área urbana.

HS-2. Cubiertas Verdes (González, 2015; López *et al.*, 2020; de la Cruz-Uribe *et al.*, 2023; Interlace Hub.,2024; Santillán, 2024 y Jan y Bornholdt, 2024). En este caso se definieron cinco áreas

residenciales urbanas desarrolladas con techos planos y adicional se propuso la aplicación de estas cubiertas verdes en edificios de uso público (ayuntamiento, glorieta del parque central, edificaciones escolares públicas, iglesia, Ministerio de Agricultura, policía, etc. La instalación de techos verdes juega un papel importante por los múltiples beneficios ambientales² que proveen.

HS-5. Reutilización arquitectónica en áreas urbanas y rurales (Quintero, 2017; Torres, 2020; Cobbinah y Nyame, 2021; Martínez, 2023; Escalante-Leiva y Díaz-García, 2024 y Anguisaca y Guanga, 2024). Se definieron edificaciones o conjunto de edificaciones como el antiguo Juzgado de Paz, el Club Japonés y el Centro Hortícola; en este último se propuso un centro de compostaje para producción de abono orgánico como solución integral de los residuos orgánicos generados por las cosechas en este municipio agrícola.

HS-6. Regeneración de espacios urbanos y rurales (Delgado, 2015; Achury-Briceño, 2018; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019; Piñeiro *et al.*, 2021). De acuerdo con los resultados obtenidos en el diagnóstico participativo y en las encuestas se definió el barrio Las Flores como prototipo para aplicar esta herramienta, por ser un área que triplica la densidad urbana del municipio (69,57 Hab/km²); además de situaciones de alta vulnerabilidad por inundaciones pluviales y falta de servicios básicos.

HS-7. Programa de Agricultura Sostenible para el UOT (Delgado, 2015 y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019). Se plantean acciones como el manejo integrado de plagas y enfermedades, integración de la innovación tecnológica para aumentar la rentabilidad agrícola, programa de capacitación de buenas prácticas agroecológicas, programa para la producción de abono orgánico municipal, normativas municipales que controlen el uso de agroquímicos y la implementación de una normativa de OT.

HS-8. Programa de Educación Comunitario para el Desarrollo Sostenible (Rojas, 2006; Cieza, 2006; Caride, 2020 y Díez *et al.*, 2024). A los productores se propone un programa sobre la aplicación de buenas prácticas agroecológica. Los grupos de acción local se formarán en Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), formación ambiental y en principios, filosofía y metodología del desarrollo comunitario. Los técnicos de los Ayuntamientos recibirán formación en técnicas de organización, gestión y supervisión, así como en EDS, planificación estratégica y educación ambiental. Los líderes de Juntas de Vecinos y las comunidades se formarán en desarrollo personal y conciencia crítica sobre las necesidades y problemas de la comunidad. La comunidad se formará en el uso eficiente del agua, entre otros temas.

HS-10. Red de Plantas de tratamientos de aguas residuales ecológicas (Ciudad Autónoma de Melilla, 2019; Vásquez, 2019; Martínez, 2023; Castiblanco, 2023 y Espinosa *et al.*, 2024). Se propone crear una red de plantas de tratamiento comunitarias basadas en la biorremediación, mediante humedales superficiales con el uso de granulados y plantas macrófitas.

HS-11. Programa para la Siembra de Agua (Vásquez, 2019; Soto, 2020; Ruano, 2024 y Viceministerio de Políticas Agrarias, 2024). Se propone la siembra de caña de castilla en la orilla de los ríos, priorizando el río Pantuflas, uno de los más contaminados, que permita restaurar los ecosistemas acuáticos dañados. Para la captación de agua por la erosión de los suelos que han perdido su capacidad de absorción se propone el método de zanjas de infiltración.

² Entendido el ambiente como un “Complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (Puerta, 2022, p. 5).

HS-12. Red de Puntos de Reciclaje y Transferencia (García, 2019 y Ciudad Autónoma de Melilla, 2019). Se propone el establecimiento de tres puntos comunitarios de transferencia a nivel urbano para el reciclaje, minimizando lo que llega al vertedero municipal, ubicado a una distancia máxima de 4 km.

HS-13. Compostera Municipal y Comunitarias (Rodríguez y Córdova, 2006). Se plantea el Centro Hortícola como una propuesta de regeneración arquitectónica junto a la implementación de ocho composteras comunitarias en el municipio.

HS-14. Vertederos o Rellenos sanitarios (Jaramillo, 2002; Oakley y Jiménez, 2020; Gómez, 2020; Carrascosa, 2021 y Vargas, 2023). Se propone la reubicación del actual vertedero a un lugar más céntrico, utilizando las técnicas que plantean el relleno sanitario con una vida útil de 10 años.

HS-18. Ciclo Ruta y programa de movilización comunitaria (Departamento Nacional de Planeación, 2017; González *et al.*, 2023; Méndez, 2022 y Suárez-Lastra *et al.*, 2022). Se plantea relanzar la actual ciclo-ruta puesta en funcionamiento por el Clúster Ecoturístico (2015), siendo ampliada y apoyada por una campaña de sensibilización y la ubicación de cinco puntos de bicicletas públicas.

Usando la misma matriz de doble entrada, se correlacionaron las herramientas con las variables de sostenibilidad, arrojando un porcentaje de correlación de 39.32%. A menos problemáticas, menos herramientas que impacten las variables de sostenibilidad y el porcentaje de correlación será bajo; lo que permite concluir que el municipio Constanza está a un 39.32% de lograr la sostenibilidad, con 92 correlaciones de 18 herramientas con 13 variables de sostenibilidad e igualmente 92 correlaciones de 13 variables con 18 herramientas. Definidas las 13 variables de sostenibilidad en una matriz de doble entrada, se correlacionaron con las 18 herramientas de sostenibilidad y el resultado fue un impacto de un 60.68% en las variables, arrojando el mismo porcentaje con relación al impacto promedio de las herramientas en las variables de sostenibilidad.

Cuando se realizó el mismo ejercicio correlacionando 13 variables de sostenibilidad con 12 herramientas aplicadas al municipio Constanza dio como resultado que el porcentaje promedio de impacto de cada variable en la Caja de Herramientas también fue igual al porcentaje promedio de impacto de la Caja de Herramientas en las variables de sostenibilidad, en un 39.32%. Confirmando que, a menor porcentaje de correlación entre herramientas y variables, mayor será el grado de sostenibilidad del municipio. La aplicación de esta Caja de Herramientas es replicable a otros municipios para lograr su sostenibilidad.

En el municipio Constanza se aplicaron 12 herramientas, insumo básico para el Plan de Desarrollo Municipal, lo que permitió determinar el plan de sostenibilidad de Constanza con diferentes programas, mecanismos y recursos fáciles de aplicar (*figura 3*).

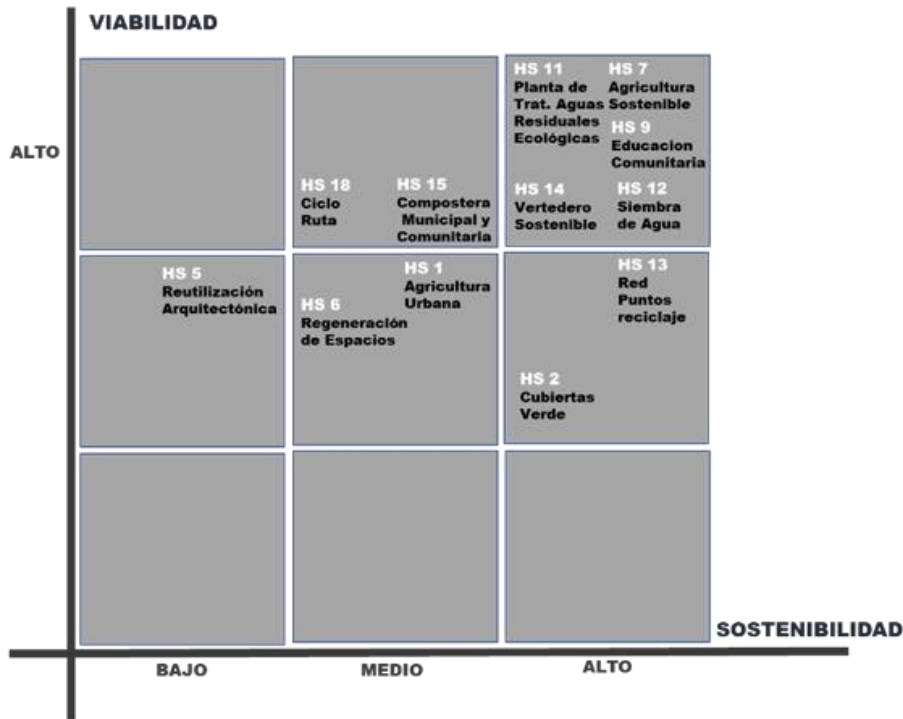
Figura 3. Resultados de la aplicación de la Caja de Herramientas Sostenibles para el municipio Constanza.



Fuente: *Elaboración propia.*

A partir de los resultados obtenidos se construyó el siguiente eje cartesiano, tomando como variables la viabilidad y el grado de sostenibilidad, lo por lo que se logró definir el orden de prioridades y establecer, en base al nivel de impacto y pertinencia, la aplicación de estas herramientas para su implementación (figura 4).

Figura 4. Viabilidad vs. sostenibilidad de las herramientas aplicadas en el municipio Constanza.



Fuente: *Elaboración propia.*

Como resultado final, y en base a la viabilidad y el grado de sostenibilidad de las Herramientas aplicadas, se priorizaron ocho herramientas para su implementación en el siguiente orden de prioridades:

1. Programa de Agricultura Sostenible
2. Programa de Educación Comunitaria
3. Red de Plantas Ecológicas de Tratamiento de Residuales
4. Programa de Siembra de Agua
5. Reubicación y construcción de un vertedero sostenible con las técnicas de relleno sanitario
6. Implementación de una Compostera Municipal
7. Establecimiento de una Red de Puntos de Reciclaje Urbano y Periurbano
8. Programa de Agricultura urbana para mejorar la seguridad alimentaria y las buenas prácticas agroecológicas.

La integración de estas Herramientas al Plan de Desarrollo Municipal ofrecerá como resultado un instrumento útil de planificación y UOT municipal.

DISCUSIÓN

La Caja de Herramientas propuesta, aunque no son herramientas nuevas, están probadas metodológicamente y se describen con un lenguaje sencillo y llano, lo que garantiza a los tomadores de decisiones a nivel municipal acertar en la definición de las acciones que eleven la calidad de vida de los habitantes y su sistematización es un aporte más que hace la investigación. Se gestionará, en colaboración con la Liga Municipal Dominicana y la Federación Dominicana de Municipios la publicación de esta Caja de Herramientas para que sea replicable a todos los municipios del país.

Se propone un enfoque integral y participativo para la gestión municipal desde el paradigma de la sostenibilidad, con un caso de aplicación en el municipio Constanza, República Dominicana. A diferencia de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) previamente tomados de otros países, la metodología desarrollada se adapta específicamente a las características y necesidades locales mediante una combinación de diagnósticos participativos, consultas a actores clave y un análisis detallado de la sostenibilidad territorial. Este enfoque interdisciplinario y basado en la comunidad resulta en una Caja de Herramientas Sostenibles (CAHS) que es práctica y aplicable a municipios rurales en países en desarrollo.

La importancia del estudio radica en su capacidad para proporcionar soluciones específicas y aplicables a la problemática de sostenibilidad en municipios rurales, lo cual puede ser replicado en otros contextos similares. La aplicación de 12 de las 18 herramientas de la CAHS en Constanza, y su impacto directo sobre variables críticas de sostenibilidad, demuestra la viabilidad y efectividad del enfoque. A diferencia de estudios previos, que adoptan enfoques más genéricos o basados en modelos de países desarrollados, esta investigación se distingue por su adaptabilidad y enfoque específico en las necesidades locales de cada uno de los municipios donde se aplique.

Mientras que otros estudios han documentado la importancia de la sostenibilidad territorial, pocos permitirán integrar de manera tan efectiva las perspectivas de los actores locales y las características específicas del territorio. Además, el uso de metodologías participativas y diagnósticos integrados proporciona una comprensión más holística y precisa de las problemáticas y soluciones viables. Este estudio impulsa significativamente el conocimiento actual al demostrar cómo una metodología específica y adaptada puede abordar eficientemente los desafíos de la sostenibilidad en municipios rurales.

La integración de múltiples perspectivas disciplinares y el enfoque participativo contribuyen a una mejor comprensión y gestión de los territorios, ofreciendo un modelo replicable para otros municipios con características y problemáticas similares.

Una de las principales limitaciones es la aplicabilidad de las herramientas definidas en municipios con características urbanas complejas, donde los problemas de sostenibilidad pueden ser más intrincados y demandar soluciones tecnológicas avanzadas. La implementación de estas herramientas depende en gran medida de la voluntad política y la capacidad técnica de los actores municipales, lo cual puede variar significativamente entre diferentes contextos. Factores externos como la corrupción y los conflictos políticos también pueden afectar la efectividad de las intervenciones propuestas.

Futuras investigaciones podrían enfocarse en adaptar y probar la Caja de Herramientas Sostenibles en diferentes contextos, tanto rurales como urbanos, para evaluar su aplicabilidad y efectividad en una mayor variedad de escenarios, así como utilizar metodologías cuantitativas que puedan robustecer los resultados de esta aplicabilidad. Además, sería valioso investigar estrategias para fortalecer la capacidad técnica y la voluntad política de los actores locales, asegurando una implementación más efectiva de las herramientas de sostenibilidad. Se sugiere además explorar la integración de tecnologías avanzadas, inteligencia artificial (IA) y otras soluciones innovadoras que puedan complementar y mejorar las herramientas existentes. Esta investigación proporciona una base sólida y adaptable para la gestión municipal desde el paradigma de la sostenibilidad en contextos rurales, destacando la importancia de enfoques integrales, participativos y adaptados a las necesidades locales.

CONCLUSIONES

El grado de sostenibilidad de las herramientas es de un 88.24% y se vinculan 15 de los 17 ODS; los ODS 5 y 16 no están directamente relacionados. Hay 54 de 169 metas relacionadas a las herramientas, 13 tienen entre cinco y siete vinculaciones cada una, para un total de 146 vinculaciones con las metas de los ODS. Cuando se implementen estas herramientas disminuirán los focos de pobreza y aumentará la resiliencia de la población, mediante la integración de infraestructuras sostenibles que den respuesta a sus problemáticas de sostenibilidad y la integración de la tecnología y la innovación en los procesos productivos. Todo ello deberá conducir a un nivel de sostenibilidad municipal óptimo que permita aumentar la urbanización inclusiva y sostenible, lo cual es posible mediante la creación de capacidades que permitan una planificación y gestión participativa, integrada y sostenibles.

En la actual propuesta no se correlacionan algunas *variables* como: equidad de género, pobreza, salud, paz, justicia y transparencia y *herramientas* de sostenibilidad como: programa para la erradicación de la pobreza, prevención de embarazos, fomento de una cultura de paz, prevención de enfermedades infectocontagiosas y rendición de cuentas; debido al carácter limitado de la misma, sin embargo, se considera necesario e importante incluirlas en futuras propuestas de mayor alcance y establecer el grupo total de variables y herramientas sociales, naturales y económicas.

Las contribuciones más importantes de este trabajo incluyen la creación de un marco teórico-práctico para la integración de herramientas de gestión sostenible, así como la demostración de su aplicabilidad en un contexto municipal real. Posibles aplicaciones de estas herramientas se extienden a otros municipios con características similares, permitiendo replicar el modelo propuesto y adaptarlo a diferentes contextos locales. La metodología desarrollada facilita la toma de decisiones informadas, basadas en datos precisos y actualizados, fomentando una gestión más equitativa y sostenible de los territorios. Este estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones y

prácticas en la gestión sostenible de los territorios, alineándose con los objetivos planteados y ofreciendo soluciones concretas para desafíos contemporáneos en la gestión municipal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achury-Briceño, R. (2018). Planes de ordenamiento territorial (POT), urbanismo y arquitectura. Producir espacio urbano en tejido urbano. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 28(1), 133-140. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.68325>
- Anguisaca, Y. y Guanga, J. (2024). *Transformación e intervención urbana en el espacio del Terminal Terrestre de la Ciudad del Puyo* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/iKKnOj>
- Benítez, P. L. (2022). *Ciudades en transformación: la participación ciudadana en la planificación urbana* [Tesis de doctorado, Universidad de Barcelona]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/2445/193324>
- Caamal-Chan, E., López-Ponce, M. y Barroso-Tanoira, F. (2024). Sistema fotovoltaico para mejorar la economía de familias en zonas mayas. Un estudio en Dzitbalché, Campeche. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(2), 288-302. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.2.2246>
- Capdevila, C. (2023). *La sostenibilidad social de los sistemas agroalimentarios: Análisis comparativo para una visión integradora de la agricultura* [Tesis de grado no publicada]. Universitat de Barcelona.
- Caride, J. A. (2020). *Educación social, derechos humanos y sostenibilidad en el desarrollo comunitario. Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 29(1), 245–272. <https://doi.org/10.14201/teoredu291245272>
- Carrascosa, J. (2021). *Proyecto básico de construcción de un vertedero de servicio para la zona de Zaragoza* [Tesis de grado, Universidad de Salamanca]. Repositorio Institucional. <https://gredos.usal.es/handle/10366/145654>
- Castiblanco, M. C. (2023). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para el sector El Palmar municipio de Flandes - Tolima* [Tesis de grado, Universidad Minuto de Dios]. Repositorio Institucional <https://acortar.link/1QaZa1>
- Cieza, J. A. (2006). Educación comunitaria. *Revista de Educación*, 339, 765-799. <https://acortar.link/T9zB7U>
- Ciudad Autónoma de Melilla. (2019). *Proyecto del Punto Limpio y Centro de Transferencia*. Boletín Oficial Número 5630 <https://acortar.link/vl5zie>
- Cobbinah, P. B. y Nyame, V. (2021). A city on the edge: the political ecology of urban green space. *Environment & Urbanization*, 33(2), 413-435. <https://doi.org/10.1177/09562478211019836>
- de la Cruz-Urbe, A., Castañeda, M. Á., Bolívar, R. C., Laines-Canepa, J. R. y Hernández-Barajas, J. R. (2023). Análisis beneficio-costos de techos verdes extensivos en condiciones del trópico húmedo en Villahermosa, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(1), e3586. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3586>

- Delgado, P. D. (2015). *Programa de desarrollo para una agricultura sostenible en áreas urbana y peri-urbana de la ciudad de Machala*. Universidad Técnica de Machala. <https://acortar.link/VRIneW>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Construcción de ciclo infraestructura y servicios complementarios*. Ministerio de Transporte. <https://acortar.link/HahUUk>
- Díez, E., Riffo, L., Williner, A., Sandoval, C. y Délano, M. P. (2024). *Panorama del desarrollo territorial de América Latina y el Caribe, 2024: nuevas capacidades para la transformación territorial*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://acortar.link/sh9Ere>
- Ellen MacArthur Foundation. (2024). *Introducción a la economía circular*. <https://acortar.link/u3Sxqs>
- Escalante-Leiva, M. I. y Díaz-García, R. (2024). Propuesta de regeneración urbana participativa para la comunidad El Gigante, ciudad de Santa Clara. *Arquitectura y Urbanismo*, 45(1), 102-110. <https://www.redalyc.org/journal/3768/376877763002/>
- Espinosa, M. Á., Delgado, R. y Hidalgo, A. (2024). Comparación de metodologías para el fraccionamiento de la DQO de aguas residuales municipales y su aplicación en el Modelo ASM1. *Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 17(1), 191–205. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2024.17.1.84916>
- Fernández-Solas, Á., Micheli, L., Almonacid, F. y Fernández, E. F. (2022). Indoor validation of a multiwavelength measurement approach to estimate soiling losses in photovoltaic modules. *Solar Energy*, 241, 584-591. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.06.036>
- García, M. (2019). *Redes de reciclaje en comunidades rurales*. Editorial Verde.
- Gómez, A. (2020). *Proyecto básico de vertedero de residuos inertes para la restauración de la cantera "Font Pollosa"* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/KEIT3I>
- González, J. (2015). *Fachadas Verdes. Arquitectura alternativa y sostenible*. Aplicación y caso práctico en España [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/EduK5y>
- González, M., Martínez, A. y López, J. (2023). *Diseño e implementación de ciclo rutas urbanas: Un enfoque hacia la sostenibilidad* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33472.40968>
- Hernández, H. M. y Arenas, J. A. (2024). Desafíos y Oportunidades de la Economía Circular en la Zona Oriente del Estado de Mexico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 11962-11978. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10589
- Interlace Hub. (2023). *Estrategia de techos verdes - Hamburgo*. <https://acortar.link/38SQ0o>
- Jan, B. y Bornholdt, H. (2024). *Cuatro pilares de la Estrategia de techos verdes de Hamburgo*. Climate Adapt. <https://acortar.link/Ki21aG>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://acortar.link/s7ISon>

- Jiménez, E. D. M. y Montes, J. L. C. (2022). Densificación urbana como solución sostenible a ciudades difusas. *Revista DELOS*, 12(35), 1-12. <https://acortar.link/8y1GJD>
- López, B. G., Camacho, A. D., Martínez-Rodríguez, M. C. y Marcelino-Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 68-79. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- Méndez, R. (2022). *Incidencia de las organizaciones ciclistas en las políticas de movilidad de la zona metropolitana del Valle de México, 2005-2018* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/zePDcM>
- Mendoza, R. (2018). *Caja de Herramientas para el monitoreo participativo de efectos e impactos*. Proyecto ONG-IDEAs Latinoamérica. <https://acortar.link/WbcltK>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Plan Estratégico para el manejo efectivo de los Recursos Naturales del Municipio de Constanza, La Vega*. <https://acortar.link/qD2xr1>
- Oakley, S., y R. Jiménez. (2011). Rellenos sanitarios sostenibles para municipalidades pequeñas: el método semi-mecanizado de trinchera de Villanueva, Honduras. En S. Ojeda, S. Cruz, P. Taboada y Q. Aguilar (coords.), *Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía* (pp. 392-396). Universidad Autónoma del Estado de Baja California.
- Oficina de Cooperación Suiza en América Central. (2013). *Estrategia de la Cooperación Suiza para América Central 2013 – 2017*. <https://acortar.link/EC2dBo>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2019: Hacia entornos alimentarios más saludables que hagan frente a todas las formas de malnutrición*. <https://acortar.link/yCS48M>
- Piñeiro, V., Arias, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Morales Opazo, C., Prager, S. y Torero, M. (2021). Promover prácticas agrícolas sostenibles: De los incentivos a la adopción y los resultados. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0003228>
- Porto, M. (2022). *Relaciones entre planificación de la movilidad y urbanística. La primera generación de planes de movilidad urbana sostenible y su convergencia con el planeamiento general en ciudades medias españolas* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.72213>
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2020). *La Nueva Agenda Urbana*. <https://acortar.link/XRHtPx>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Quintero, L. (2017). Alternativa para recuperación de espacio público mediante infraestructuras verdes en Tunja. *Revista de Urbanismo*, 37, 1-17. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2017.47058>

- Ríos, I. D., Díaz-Puente, J. M. y Cadena-Iñiguez, J. (2011). La iniciativa LEADER como modelo de desarrollo rural: Aplicación a algunos territorios de México. *Agrociencia*, 45(5), 609-624. <https://acortar.link/XRHtPx>
- Rodríguez, M. y Córdova, A. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://acortar.link/cGkbcs>
- Rojas, L. (2006). *Manual para la gestión municipal del desarrollo económico local (Enfoques, herramientas y estrategias para el DEL)*. Organización Internacional del Trabajo. <https://acortar.link/YtQcdi>
- Romero, J., Sanaguano, A. y López, W. (2013). *Caja de herramientas de apoyo a la gestión territorial del turismo*. Consorcio de Gobiernos Provinciales del Ecuador y Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://acortar.link/LECZv6>
- Ruano, F. (2024). *Gestión comunitaria del agua, en base a los métodos de siembra y cosecha* [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/lRgIh7>
- Salgado-Tello, I., Sánchez-Herrera, T., Oleas-López, J. y Vaca-Cárdenas, M. (2024). Economía circular para el desarrollo agroindustrial y social en Ecuador. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 26(1), 297-322. www.doi.org/10.36390/telos261.19
- Santillán, M. L. (2024). *Techos verdes benefician a las ciudades*. Ciencia UNAM. <https://acortar.link/9seFvF>
- Soto, J. F. (2020). *Guía para implementar experiencias de siembra y cosecha de agua para uso poblacional en el área rural*. Water For People. <https://acortar.link/Rd132d>
- Suárez-Lastra, M., Galindo-Pérez, C. y Reyes-García, V. (2022). Plan Bici CDMX: una estrategia de movilidad en bicicleta para Ciudad de México. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 54(213), 665–682. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2022.213.8>
- Torres, C. (2020). *Rehabilitación arquitectónica sostenible: desafíos en áreas rurales*. Editorial Urbanitas.
- Turbulent. (s.f.). *Energía hidroeléctrica de baja altura y respetuosa con el medio ambiente inspirada en la naturaleza*. <https://www.turbulent.be/>
- Vargas, E. J. (2023). El reciclaje de residuos por demolición de edificaciones menores en el desarrollo sostenible: caso distrito Jesús María - Lima [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/833p3d>
- Vásquez, J. (2019). *Sistemas implementados con ingeniería verde en el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana, Caso: municipio de Jarabacoa* [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores.
- Viceministerio de Políticas Agrarias. (2024). *Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua. Aportes y reflexiones desde la práctica*. Ministerio de Agricultura y Riego. <https://acortar.link/CNCwIN>



MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos de la comunidad A'i Cofán Dureno.

Jorge Lenin León Arcos

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

george.leon96@gmail.com

Evaluation of the sustainability of the productive systems of the A'i Cofán Dureno community.

Artículo científico

Avaliação da sustentabilidade dos sistemas produtivos da comunidade A'i Cofán Dureno.

Enviado: 31/7/2024

Aprobado: 29/7/2025

Publicado: 31/7/2025

RESUMEN

En el estudio se evaluó la sostenibilidad de los sistemas productivos de la comunidad A'i Cofán Dureno, ubicada en la Amazonía ecuatoriana; para ello se empleó la metodología de Evaluación de la Sostenibilidad para la Agricultura y la Alimentación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). Esta comunidad enfrenta desafíos ambientales (ecológicos, económicos y sociales) derivados de actividades como la extracción de petróleo, la deforestación y la minería ilegal. A través de entrevistas y cuestionarios, se evaluaron las dimensiones: Integridad ambiental, Bienestar social, Resiliencia económica y Buena gobernanza. Los resultados revelan que la comunidad enfrenta problemas significativos en la gestión de sus recursos naturales, particularmente en la conservación de la biodiversidad y el manejo del agua. No obstante, se destacan aspectos positivos como las prácticas comerciales justas y el bienestar animal doméstico. Este estudio subraya la importancia de aplicar herramientas de evaluación de sostenibilidad en comunidades indígenas para promover un desarrollo equitativo y minimizar los impactos ambientales negativos.

Palabras clave: agrosistemas, amazonía ecuatoriana, desarrollo sostenible, indicadores SAFA.

ABSTRACT

The study assessed the sustainability of the production systems of the A'i Cofán Dureno community, located in the Ecuadorian Amazon. The Sustainability Assessment for Food and Agriculture methodology proposed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) was used. This community faces environmental challenges (ecological, economic, and social) arising from activities such as oil extraction, deforestation, and illegal mining. Through interviews and questionnaires, the following dimensions were assessed: Environmental Integrity, Social Well-being, Economic Resilience, and Good Governance. The results reveal that the community faces significant challenges in managing its natural resources, particularly in biodiversity conservation and water management. However, positive aspects such as fair-trade practices and domestic animal welfare stand out. This study underscores the importance of applying sustainability assessment tools in indigenous communities to promote equitable development and minimize negative environmental impacts.

Keywords: agrosystems, ecuadorian amazon, SAFA indicators, sustainable development.

RESUMO

O estudo avaliou a sustentabilidade dos sistemas de produção da comunidade A'i Cofán Dureno, localizada na Amazônia equatoriana. Foi utilizada a metodologia de Avaliação de Sustentabilidade para Alimentos e Agricultura proposta pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Essa comunidade enfrenta desafios ambientais (ecológicos, econômicos e sociais) decorrentes de atividades como extração de petróleo, desmatamento e mineração ilegal. Por meio de entrevistas e questionários, foram avaliadas as seguintes dimensões: Integridade Ambiental, Bem-Estar Social, Resiliência Econômica e Boa Governança. Os resultados revelam que a comunidade enfrenta desafios significativos na gestão de seus recursos naturais, particularmente na conservação da biodiversidade e na gestão da água. No entanto, aspectos positivos como práticas de comércio justo e bem-estar dos animais domésticos se destacam. Este estudo ressalta a importância da aplicação de ferramentas de avaliação de sustentabilidade em comunidades indígenas para promover o desenvolvimento equitativo e minimizar os impactos ambientais negativos.

Palavras-chave: agrossistemas, amazônia equatoriana, desenvolvimento sustentável, indicadores SAFA.

INTRODUCCIÓN

El incremento de las demandas humanas, en conjunto con las operaciones económicas que imponen una carga cada vez más intensa sobre los recursos de la Tierra, ha generado una mayor conciencia sobre los desafíos ambientales generados por los modos de vida que no concuerdan con la regeneración del entorno. Considerando que la sostenibilidad es un tema fundamental de la sociedad actual y constituye la piedra angular de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), Soldi *et al.*, (2019), se refieren a la búsqueda de un desarrollo óptimo que satisfaga las necesidades en un contexto específico, al mismo tiempo que se garantice la eficiencia para prevenir amenazas a las generaciones futuras y se asegure la estabilidad de los recursos naturales, logrando así un equilibrio entre la economía y el bienestar social (Sánchez, 2019).

Mientras que Puerta (2022) asegura que el desarrollo sostenible debe ser entendido como:

“un proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (p. 5).

En este contexto teórico se han desarrollado varias metodologías para evaluar el desarrollo sostenible, entre ellas, la Evaluación de la Sostenibilidad para la Agricultura y la Alimentación (SAFA), mediante la que se busca analizar y medir el grado en que los sistemas agrícolas y alimentarios son capaces de mantener y mejorar su desempeño a largo plazo en términos económicos, ecológicos, sociales y de gobernabilidad. A través de la metodología SAFA se evalúa cómo se están produciendo los alimentos, considerando tanto los impactos positivos como los negativos y determina si se están cumpliendo los objetivos de sostenibilidad en cada una de estas dimensiones (FAO, 2021); por lo que se decidió aplicar dicha propuesta metodológica en la comunidad A'i Cofán Dureno, con el propósito de determinar el nivel de desarrollo sostenible alcanzado (Zumárraga, 2016).

La Comunidad A'i Cofán Dureno se encuentra ubicada en la región nororiental del Ecuador, dentro de la cuenca alta del río Amazonas, una de las zonas más biodiversas del planeta. Esta área forma

parte de la Amazonía occidental, considerada por el ecólogo Norman Myers como uno de los lugares más biodiversos del mundo (Kimerling, 1993). En términos de riqueza biológica, investigaciones han documentado que en esta región se registran más de 600 especies de aves por cada 10.000 km², además de una notable concentración de especies de anfibios, reptiles y plantas vasculares (Bass *et al.*, 2010). Estos datos confirman que se trata de un ecosistema altamente diverso y ecológicamente estratégico. Más allá de su biodiversidad, el entorno cumple funciones esenciales, como la regulación del ciclo del agua, la protección contra la erosión y el sostenimiento de los medios de vida de las comunidades indígenas. Sin embargo, estas funciones están en riesgo. La presión de la industria petrolera, la expansión de la frontera agrícola, la deforestación y la minería ilegal están alterando los sistemas naturales y afectando la calidad de vida local. Frente a este escenario, se vuelve urgente repensar el modelo de desarrollo en el territorio, integrando la conservación como eje central para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

La evaluación de sostenibilidad en los sistemas productivos garantiza la toma de decisiones oportunas para la protección y no vulneración de los derechos de las comunidades, así como minimiza los impactos negativos sobre los ecosistemas naturales (Tongo & Soplin, 2022). Por lo que en la investigación se planteó como objetivo evaluar por primera vez la sostenibilidad de la comunidad A'í Cofán Dureno, mediante la aplicación de la metodología SAFA de la FAO en la dimensión ambiental¹, social, económica y de gobernanza; para ello se caracterizó la situación actual, se analizó la gestión de los recursos naturales, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y se evaluó la contribución de los sistemas productivos a la igualdad económica y reducción de brechas sociales.

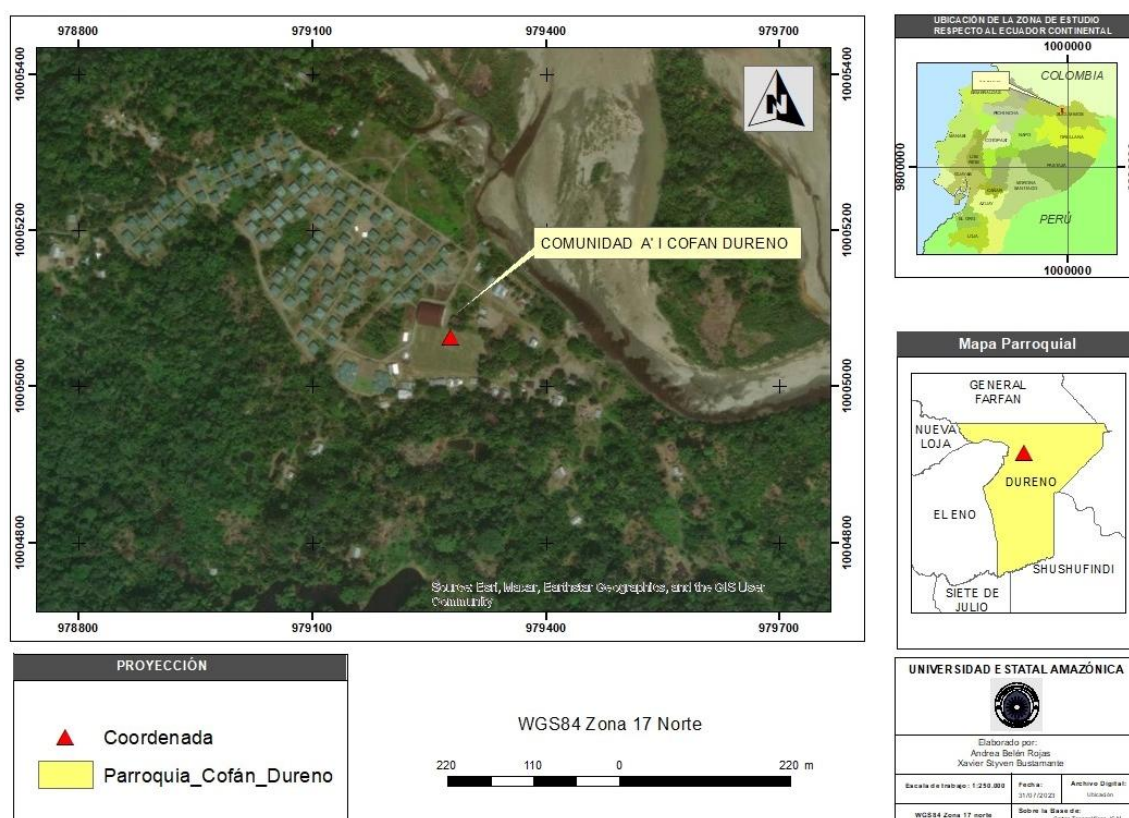
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La comunidad A'í Cofán Dureno, ubicada en la parroquia homónima, del cantón Lago Agrio, provincia Sucumbíos, se asienta a orillas del río Aguarico en la Amazonía ecuatoriana y ocupa una extensión territorial de 9.571 hectáreas (*Figura 1*). Con una población aproximada de 600 personas, distribuidas en 84 núcleos familiares, esta comunidad indígena se distingue por mantener una organización social y territorial ancestral que contrasta significativamente con otras comunidades amazónicas que han experimentado mayor integración al modelo económico occidental (Zada y Bravo, 2023). El territorio abarca un gradiente altitudinal que va desde los 300 hasta los 1.500 msnm, con un régimen climático caracterizado por una precipitación media anual de 3.600 mm y temperaturas que oscilan entre los 25 y 35 °C (Moya, 2018). El 70 % de los hogares basa su economía en actividades tradicionales como la agricultura de subsistencia, la caza y la pesca, mientras que un 20 % participa en iniciativas comunitarias de turismo ecológico, y un 10 % se involucra en el comercio local (Zada y Bravo, 2023). Esta configuración socio productiva, junto con su arraigada cosmovisión y el uso autónomo del territorio, hacen de la comunidad A'í Cofán Dureno un caso especialmente pertinente para el análisis de estrategias de sostenibilidad local en contextos de alta vulnerabilidad ecológica y cultural.

¹ Mencionar que Puerta (2022) define el ambiente como un “complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (p. 5); sin embargo, en esta investigación se seguirá utilizando la terminología más empleada en la literatura consultada, en la que se utiliza el término ambiental para referirse a la dimensión ecológica.

Figura 1. Mapa del área de estudio comunidad A'i Cofán Dureno.



Fuente: Bustamante y Rojas, 2023.

Metodología

La metodología SAFA, desarrollada por la FAO en 2014, parte de un enfoque holístico, por lo que se abordan las cuatro dimensiones fundamentales de la sostenibilidad: el buen gobierno, la integridad ambiental, la resiliencia económica y el bienestar social. La pertinencia del enfoque se refleja en su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que le otorga una orientación global y actual. Además, se caracteriza por su rigor, ya que busca generar resultados de alta calidad en materia de sostenibilidad. En términos de eficiencia, aprovecha datos disponibles de otros sistemas de auditoría y de gestión ambiental, lo que optimiza recursos y evita duplicidades.

Otro aspecto relevante es su orientación al rendimiento, pues permite evaluar el desempeño sostenible de entidades vinculadas a los sistemas agrícolas y alimentarios. La transparencia es otro pilar esencial, expresada en la divulgación clara de los límites del sistema evaluado, los indicadores utilizados, las fuentes de datos y el tipo de relación establecida con las partes interesadas. Asimismo, la metodología destaca por su adaptabilidad, lo que le permite aplicarse en diversos contextos y situaciones del sector agropecuario y alimentario a nivel mundial. Este enfoque también promueve la mejora continua, al ofrecer herramientas que permiten monitorear el desempeño e identificar áreas de mejora a lo largo del tiempo.

En cuanto a los principios de ejecución, la metodología se construye sobre herramientas existentes, respetando las normativas nacionales y los compromisos internacionales, sin contradecir sus objetivos ni indicadores. Opera en un sistema abierto y de aprendizaje, respaldado por el uso de software libre, lo que favorece la transparencia y la colaboración. Finalmente, se garantiza la

accesibilidad del sistema, permitiendo la autoevaluación sin requerir conocimientos especializados o la intervención de terceros.

La metodología está estructurada en niveles jerárquicos: Dimensión, Tema, Subtema e Indicador. A continuación, en la Tabla 1, se detallan cada una de las dimensiones, temas e indicadores que se seleccionaron en el estudio.

Tabla 1. Descripción de las dimensiones, temas, indicadores de la aplicación SAFA.

Dimensión: Integridad Ambiental		Dimensión: Bienestar Social	
Atmósfera	Prácticas de mitigación de GEI. Prácticas de prevención de la contaminación del aire.	Medio de vida digno	Calidad de vida. Nivel de salario. Desarrollo de capacidades.
Agua	Prácticas de conservación de agua y prevención de contaminación.	Prácticas comerciales justas	Precios justos.
Tierra	Prácticas de mejora del suelo. Conservación de tierras y prácticas de rehabilitación.	Derechos laborales	Relaciones laborales. Trabajo forzado. Trabajo infantil.
Biodiversidad	Diversidad de ecosistemas. Diversidad de especies. Diversidad genética. Balance de nutrientes.	Equidad	No discriminación Igualdad de género.
Materiales y energía	Materiales renovables y reciclados. Energía usada. Pérdida de alimentos y reducción de desperdicios.	Seguridad y salud humana	Disposiciones de seguridad y salud en el trabajo.
Bienestar animal	Sanidad y bienestar animal.	Diversidad cultural	Soberanía alimentaria. Conocimiento indígena.
Dimensión: Resiliencia Economía		Dimensión: Buena Gobernanza	
Inversión	Inversión comunitaria. Rentabilidad. Diversificación del producto. Estabilidad del mercado.	Ética Corporativa	Misión explícita.
Vulnerabilidad	Liquidez. Redes de seguridad	Responsabilidad	Responsabilidad.
Calidad de información del producto	Pesticidas peligrosos. Calidad de la comida. Productos certificados	Participación	Participación. Resolución de conflictos.
Economía local	Fuerza laboral regional.	Estado de derecho Gestión holística	Derechos de tenencia. Legitimidad. Plan de gestión de la sostenibilidad.

Fuente: Elaborada por el autor.

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de la entrevista, aplicada en dos fases diferenciadas. En la primera fase se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a cinco actores clave (líderes comunitarios y técnicos locales), con el propósito de obtener una caracterización general del contexto ambiental (económico-productivo, sociocultural y natural) de la comunidad A'i Cofán

Dureno. Estas entrevistas preliminares permitieron identificar los aspectos más relevantes para el diseño del instrumento principal y verificar la pertinencia de los indicadores seleccionados.

En la segunda fase se aplicaron entrevistas estructuradas a una muestra de socios con sistemas productivos, construidas en base a los indicadores propuestos por la metodología SAFA (*Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*) desarrollada por Weiler *et al.* (2019). Para la determinación de la muestra se utilizó la metodología propuesta por Aguilar (2005), que plantea una fórmula de muestreo aleatorio simple a partir de una población finita. Considerando un total de 47 socios productivos en la comunidad, se aplicó un margen de error del 10% y un nivel de confianza del 90%, lo que resultó en una muestra final de 30 entrevistas estructuradas.

La entrevista estructurada constó de 39 preguntas agrupadas en torno a 21 temas, alineados con los criterios e indicadores de la herramienta SAFA. Estos indicadores fueron previamente seleccionados y adaptados al contexto local, considerando su relevancia en los cuatro pilares de sostenibilidad que evalúa SAFA: buen gobierno, integridad ambiental, resiliencia económica y bienestar social. La construcción del instrumento se realizó tomando como base las definiciones operativas de los indicadores, transformándolos en preguntas cerradas y de escala ordinal, lo que facilitó su aplicación sistemática y su posterior análisis cuantitativo.

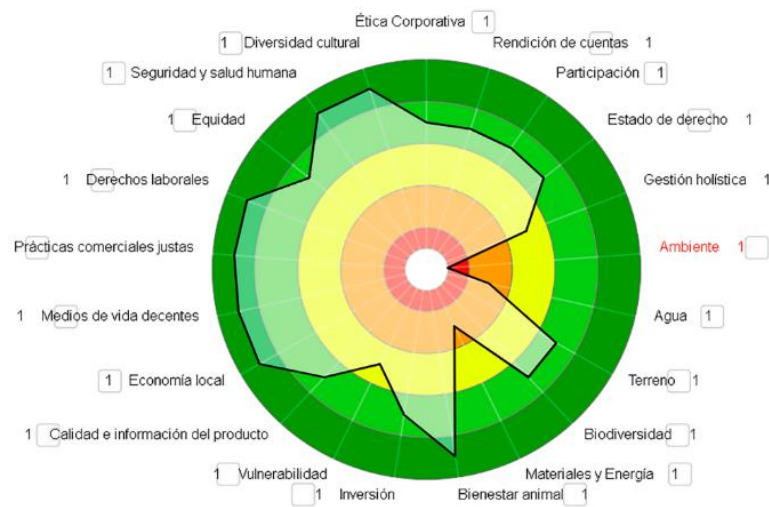
El *Google Forms* se utilizó como herramienta de levantamiento digital de los datos provenientes de las entrevistas estructuradas. No fue el medio para aplicar entrevistas semiestructuradas, sino exclusivamente para las entrevistas estructuradas, permitiendo una recolección ordenada, eficiente y sin pérdida de información. Esta herramienta también facilitó la exportación directa de los datos al Aplicativo SAFA, donde se realizó el análisis de sostenibilidad mediante histogramas y visualización de resultados por dominios e indicadores.

La validez del instrumento fue respaldada por su anclaje metodológico en SAFA, una herramienta reconocida internacionalmente y validada por la FAO para contextos agroecológicos diversos. La confiabilidad se garantizó a través de la estandarización del cuestionario, la capacitación previa a los encuestadores y la revisión piloto del formulario, lo cual permitió ajustar el lenguaje y verificar la claridad de las preguntas antes de su aplicación definitiva.

RESULTADOS

En la Figura 2 se puede observar, como resultado de la investigación en la comunidad A'i Cofán Dureno, un desempeño alto en indicadores relacionados con el buen gobierno, la cohesión social, diversidad cultural, derechos laborales, participación, equidad y ética corporativa. En contraste, se observan desempeños bajos en temas como inversión, vulnerabilidad económica, bienestar animal, biodiversidad y materiales y energía; los cuales se ubican en zonas amarillas, naranjas e incluso rojas del gráfico. Estas áreas críticas evidencian limitaciones estructurales en términos de acceso a recursos financieros, tecnologías sostenibles y estrategias de manejo ambiental.

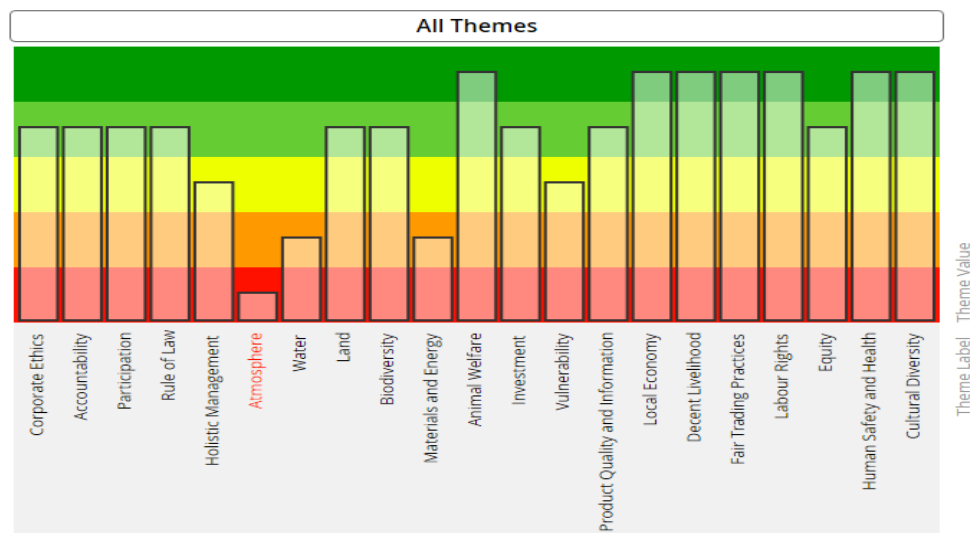
Figura 2. *Histograma SAFA en la comunidad A'i Cofán Dureno.*



Fuente: Elaborada por el autor.

La valoración de los temas que confirman la metodología SAFA, aplicada a los sistemas productivos de la comunidad A'i Cofán Dureno, se muestra en la Figura 3. Teniendo en cuenta que cada barra vertical representa el grado de cumplimiento alcanzado en un tema específico, evaluado en una escala de cinco niveles, codificada por colores: rojo (muy bajo), naranja (bajo), amarillo (medio), verde claro (bueno) y verde oscuro (muy bueno).

Figura 3. *Valoración de los temas que conforman la metodología SAFA.*



Fuente: Elaborada por el autor.

La gráfica permite observar de manera clara las fortalezas y debilidades de la comunidad en relación con los cuatro pilares de la sostenibilidad. Se destacan valores altos en temas vinculados al tejido social y organizativo, como diversidad cultural, derechos laborales, prácticas comerciales justas, equidad, salud humana y participación comunitaria. Por otro lado, se identifican debilidades importantes en temas ambientales como atmósfera, agua, materiales y energía, biodiversidad y bienestar animal, los cuales se ubican en los rangos más bajos de la escala. En el ámbito económico,

temas como inversión y vulnerabilidad muestran un nivel de cumplimiento intermedio, lo cual evidencia ciertos riesgos estructurales relacionados con la capacidad de adaptación y la estabilidad financiera del sistema productivo comunitario.

DISCUSIÓN

Dimensión: *Buena Gobernanza*

La gobernanza se refiere a las acciones públicas realizadas por un gobierno a multinivel (Launay, 2005). Actualmente, la comunidad A'í Cofán Dureno se encuentra dividida en dos grupos, debido a diferencias ideológicas e intereses contrapuestos, cada uno está representado por cinco actores políticos encargados de la gestión interna para promover el bienestar igualitario y garantizar los derechos de las personas. Aunque la mayoría de los indicadores presenta una categoría buena, la calidad de gobierno podría mejorar mediante la cohesión de intereses. Por otro lado, Bolívar (2013) menciona que la ética determina la adopción de principios o normas generales para un bien común. La ética aplicada por parte de los actores políticos en la comunidad refuerza los principios sociales y fomenta un sentimiento de pertenencia hacia el entorno natural.

Según una publicación del Centro de Participación Ciudadana y Control Social (2022), la rendición de cuentas es un proceso por el cual los actores políticos dan a conocer los resultados obtenidos durante su gestión. Las asambleas semestrales, empleadas por los dos grupos ideológicos como método de rendición de cuentas, favorecen el manejo adecuado de los recursos, así como la toma de decisiones favorables en pro del desarrollo económico. Por su parte, Guillen *et al.*, (2009), mencionan que la participación es la intervención de los ciudadanos en la toma de decisiones públicas. Los resultados obtenidos reflejan un alto nivel de participación, evidenciando por el éxito de las asambleas continuas que permiten que los miembros de la comunidad expresen sus puntos de vista y contribuyan al logro de un consenso final.

El estado o los actores políticos se encuentran en la capacidad de emitir, revocar o ajustar normas y leyes (De Lora, 1997). Los valores de los indicadores obtenidos reflejan que los actores políticos mantienen acciones que garantizan el estado de derecho y la creación y ajuste de leyes a manera de acuerdos. La gestión holística considerada una de las capacidades que se emplea ante un panorama que debe ser visualizado de manera absoluta (De Freitas & Yáber, 2014), presentando la comunidad valores bajos en este indicador, debido a la división política interna. Se presume que la actividad petrolera ha creado intereses económicos divididos; por un lado, se aceptan beneficios monetarios a cambio de permitir la explotación de recursos no renovables y por otro, el sentido de pertenencia a la naturaleza promueve su conservación.

Dimensión: *Integridad Ambiental*

El ambiente de los sistemas productivos está compuesto por factores naturales y antropogénicos que influyen en su desarrollo. Actualmente, las amenazas derivadas de actividades humanas han aumentado las afectaciones a la biodiversidad, ocasionando graves problemas. La comunidad A'í Cofán Dureno ha sido intervenida por empresas petroleras que han ocasionado fuertes daños al ecosistema, sin embargo, la comunidad ha implementado normas para el control interno de actividades asociadas a la cacería de especies nativas y tala de especies maderables.

La atmósfera de la Amazonía ecuatoriana es un elemento clave de un ecosistema único y diverso (Universidad Nacional Autónoma de México, 2021). Los valores obtenidos indican graves e inadmisibles problemas que han surgido durante las últimas décadas debido a actividades como la deforestación, la contaminación por mecheros petroleros y la quema de residuos sólidos,

ocasionando daños irreparables a la naturaleza y a la integridad personal de la población presente y futura. La erradicación de mecheros y el reciclaje son alternativas necesarias para mejorar la calidad de la atmósfera local.

Según un informe de Naciones Unidas (2020), el agua es considerada un epicentro para el desarrollo sostenible en aspectos socioeconómicos, ecosistemas, producción de alimentos y en general para la supervivencia del ser humano. En la comunidad, el manejo del agua presentó valores bajos, lo que se atribuye a malas prácticas agrícolas, falta de infraestructura que permita el tratamiento adecuado de aguas residuales y consumo de agua lluvia a falta de acceso a agua potable.

El suelo es un sistema complejo que se encuentra interconectado por diversos componentes que originan un entorno para la subsistencia humana (García, 2003). El manejo de este recurso dentro de la comunidad se encuentra amparado desde algunos años atrás por *Sociobosque*, un programa gubernamental que ha promovido el manejo sostenible del bosque con fines de conservación de la biodiversidad. Se han implementado proyectos de reforestación junto con la mejora de productividad agrícola, obteniendo sistemas productivos resilientes. El conocimiento ancestral sobre el uso adecuado de la tierra y sus recursos, en conjunto con las capacitaciones del Estado y los proyectos implementados han favorecido un mejor manejo de este recurso.

La biodiversidad está conformada por la diversidad de seres vivos y ecosistemas de la Tierra, que en conjunto determinan su funcionamiento, bienes y servicios (Pujota, 2020). El plan de manejo de biodiversidad implementado en la comunidad ha tenido resultados positivos, como resultado de las normas y leyes internas que zonifican áreas para actividades como la caza y tala de especies maderables. La caza se realiza bajo el régimen de consumo interno y prohíbe radicalmente el tráfico de animales silvestres en pie o su carne.

Dimensión: **Resiliencia Económica**

La economía sostenible es un enfoque que busca integrar los aspectos sociales, ecológicos y económicos del desarrollo para garantizar que las generaciones presentes y futuras puedan satisfacer sus necesidades; esto implica adoptar prácticas empresariales y políticas que sean rentables, socialmente justas y respetuosas con el medio ambiente (Dopico y Iglesias, 2010).

Jahan *et al.* (2014) definen la inversión como la compra de bienes que se esperan produzcan ingresos o ganancias en el futuro, como la adquisición de activos fijos, la inversión en investigación y desarrollo, o la contratación de personal capacitado. El Estado ha proporcionado a la población préstamos mediante la entidad financiera BanEcuador, para que emprendedores de la comunidad inviertan en materia prima, sin embargo, este tipo de prestaciones bancarias tienen fines distintos a la necesidad adquirida.

Portillo (2020) señala que la vulnerabilidad económica se debe a la incapacidad de una persona o grupo de personas para mantener un nivel de vida adecuado debido a la falta de recursos económicos; esto puede deberse a varios factores, como la falta de empleo, la baja remuneración, la falta de acceso a servicios básicos como la atención médica, educación, discriminación y exclusión social. La comunidad obtiene el sustento económico de la venta de productos agrícolas y del turismo, los mismos que a partir de la crisis sanitaria mundial se han visto afectados, desencadenando una migración hacia los centros poblados de la región amazónica en busca de mejores oportunidades económicas.

Las actividades económicas de la comunidad presentan un modelo de asociaciones internas que incurren en capacitaciones continuas y estandarización de precios en la oferta; las mujeres se dedican

a la fabricación de artesanías que son parte de la identidad cultural y es una expresión de sus tradiciones, mientras que los hombres se dedican a la fabricación de canoas de fibra de vidrio. Actualmente existen veinte talleres que brindan empleo al menos a cinco personas por cada taller (Vázquez, 2000).

Dimensión: ***Bienestar Social***

La dimensión social se compone de políticas y programas que mejoran la calidad de vida de los habitantes locales, otorgando beneficios en ámbitos como la salud, la vivienda y la educación (Alaña *et al.*, 2017). Con el objetivo de preservar sus costumbres y tradiciones, la comunidad ha implementado el uso de su lengua (*A'ingae*) en los centros estudiantiles, las enfermedades son tratadas mediante medicina ancestral y las viviendas actuales fueron creadas por parte de una gestión interna con intervención del Estado como indemnización a los pasivos ambientales de empresas petroleras estatales.

Un medio de vida digno es aquel que permite a las personas satisfacer sus necesidades básicas y mejorar su calidad de vida sin tener que comprometer su dignidad o derechos humanos; esto incluye, pero no se limita a, acceso a empleo, servicios de salud, educación, vivienda y servicios básicos como agua y saneamiento (Livelihoods Centre, 2022); en este sentido la comunidad presenta algunas dificultades a la hora de acceder a los servicios básicos, pero de los remantes boscosos obtienen servicios ecosistémicos.

Los derechos laborales son las protecciones y beneficios que los trabajadores tienen por ley en relación con sus empleadores (Pérez, 2016). Los resultados obtenidos reflejan una buena práctica interna, debido a que los empleados locales que laboran en los diferentes talleres de artesanías se ajustan a un horario flexible y un salario a conveniencia, lo que permite una subsistencia digna para el núcleo familiar, tal y como lo menciona WFTO en 2025 cuando se refiere a que las prácticas éticas en los negocios tienen en cuenta los derechos y necesidades de todas las partes interesadas; esto incluye a los empleados, los clientes, los proveedores, la comunidad y el entorno natural.

La seguridad y salud humana se refiere a la protección de las personas contra daños y riesgos para su bienestar físico y mental (OPS, 2022). En la comunidad existe conflictos internos por ideologías opuestas que atentan contra la vida de líderes comunitarios. En el ámbito de la salud, se conservan prácticas tradicionales donde se emplea conocimientos ancestrales por parte de un *Shaman*; si la enfermedad no cesa se acercan al centro de salud más cercano ubicado en la parroquia Dureno.

La diversidad cultural se refiere a la variedad de culturas y tradiciones que existen en todo el mundo, incluyendo las diferencias en lenguaje, religión, costumbres, prácticas y valores; cada cultura tiene su propia forma única de ver y entender el mundo, y estas diferencias pueden ser una fuente de riqueza y enriquecimiento cultural (UNESCO, 2025). En la comunidad se permite el libre ingreso de visitantes externos; sin embargo, para no perder el linaje cultural se ha establecido una política que establece que, si un habitante de la comunidad contrae matrimonio con alguien lejano a la misma, no puede domiciliarse en la comunidad.

CONCLUSIONES

La comunidad A'i Cofán Dureno presenta una homogeneidad en las actividades productivas como un solo agrosistema comunitario, el cual enfrenta limitaciones en la dimensión Integridad Ambiental y Buena Gobernanza, debido a divisiones ideológicas internas y obstáculos en el acceso a la información, por ejemplo conocimiento de los indicadores de SAFA.

La evaluación de la sostenibilidad en comunidades de la Amazonía sigue siendo un reto motivado por la carencia de investigaciones, lo que limita la comparación de resultados. La comunidad A'í Cofán Dureno presenta problemas asociados a la pérdida de biodiversidad por la comercialización de guantas y armadillos en los mercados de Lago Agrio, que emerge como una actividad clandestina a pesar de las restricciones, mientras que, surge también la adopción de prácticas modernas como la piscicultura. En la dimensión Buena gobernanza se debe impulsar un enfoque de gestión de conflictos basado en la comunicación efectiva, participación activa y mediación.

Las estrategias enfocadas en buen gobierno, integridad ambiental, resiliencia económica y bienestar social fortalecerán las dimensiones de sostenibilidad para los sistemas productivos, enfrentando los desafíos y aprovechando las oportunidades con miras a un futuro próspero y equitativo de comunidades sostenibles en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, 11(1-2), 333-338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48711206>
- Alaña, T. P., Capa, L. B. y Sotomayor, J. G. (2017). Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las mipymes del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 91-99. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v9n1/rus13117.pdf>
- Bass, M. S., Finer, M., Jenkins, C. N., Kreft, H., Cisneros, D. F., McCracken, S. F., Pitman, N. C. A., English, P. H., Swing, K., Villa G., Di Fiore, A., Voigt, Ch. C. y Kunz, T. H. (2010). Global conservation significance of Ecuador's Yasuní National Park. *PLoS ONE*, 5(1), e8767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>
- Bolívar, R. (2013). Ética política. *Estudios Políticos*, 25(septiembre-diciembre), 135-146. <https://doi.org/10.22201/fcpys.24484903e.2000.25.37293>
- Bustamante, J. y Rojas, A. (2023). Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos en la comunidad A'í Cofán Dureno, cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. [Trabajo de Integración Curricular, Universidad Estatal Amazónica]. <https://shre.ink/tOXu>
- Centro de Participación Ciudadana y Control Social. (2022). *Rendición de Cuentas. Introducción*. <https://acortar.link/wp553H>
- De Freitas, V. y Yáber, G. (2014). Modelo holístico de sistema de gestión del conocimiento para las instituciones de educación superior. *Enl@ce Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 11(3), 123-154. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5101931>
- De Lora, P. (1997). El Estado como integración. Una controversia de principio. *Revista de Libros*. <https://www.revistadelibros.com/kelsen-y-la-realidad-del-estado>
- Dopico, J. Á. y Iglesias, G. (2010). *Economía sostenible: Teoría y política*. Netbiblo.
- García, C. M. (2003). James Hutton's "Theory of the Earth" (1785, 1788): A cyclic view of a mobile world. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 12(2), 126-132. <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88982/133248>

- Guillen, A., Sáenz, K., Badii, M. H. y Castillo, J. (2009). *Origen, espacio y niveles de participación ciudadana*. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 4(1), 179-193. [http://www.spentamexico.org/v4-n1/4\(1\)%20179-193.pdf](http://www.spentamexico.org/v4-n1/4(1)%20179-193.pdf)
- Jahan, S., Mahmud, A. S. y Papageorgiou, C. (2014). ¿Qué es la economía keynesiana? *Finanzas y Desarrollo*, 51(3), 53-54. <https://shre.ink/t0XL>
- Kimerling, J. 1993. *Crudo amazónico*. Abya-Yala.
- Launay, C. (2005). La gobernanza: Estado, ciudadanía y renovación de lo político. Origen, definición e implicaciones del concepto en Colombia. *Controversia*, (185), 92-105. <https://acortar.link/Kce2V0>
- Livelihoods Centre. (2022). ¿Qué son los Medios de Vida? <https://shre.ink/t0X5>
- Moya, P. (2018). *Caracterización climática y ecológica de la región amazónica norte del Ecuador*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad Regional Amazónica IKIAM.
- Naciones Unidas. (2020). *Agua*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *SAFA: para la evaluación de la sostenibilidad*. <https://shre.ink/t078>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Facilitando sistemas alimentarios sostenibles: Manual para innovadores*. Instituto Nacional Francés para la Agricultura, la Alimentación y el Medio Ambiente <https://doi.org/10.4060/ca9917es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2025). *Diversidad Cultural*. <https://acortar.link/No0Gu5>
- Organización Mundial del Comercio Justo. (2025). *Los 10 Principios del Comercio Justo*. Coordinadora Estatal de Comercio Justo. <https://acortar.link/YvPifn>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022). *El Programa Salud y Seguridad Humana (SH)*. <https://acortar.link/tk43Gg>
- Pérez, J. P. (2016). *Derechos laborales: una mirada al derecho a la calidad de vida en el trabajo*. *Ciencia ergo sum*, 23(2), 121-133. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssaoar-47106-4>
- Portillo, L. H. (2020). El concepto de vulnerabilidad macroeconómica. Una revisión de la literatura. *Sociedad y economía*, (40), 99-118. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i40.8020>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Pujota, J. J. (2020). *Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos en la reserva de biósfera Chocó Andino* [Tesis de grado, Universidad Estatal Amazónica]. <https://shre.ink/t0Xq>
- Sánchez J. (coord.). (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. Comisión Económica para América Latina. <https://acortar.link/C8RA9I>

- Soldi, A., Aparicio, M. J., Guareschi, M., Donati, M. y Insfrán, A. (2019). Sustainability Assessment of Agricultural Systems in Paraguay: A Comparative Study Using FAO's SAFA Framework. *Sustainability*, 11(13), 3745. <https://doi.org/10.3390/su11133745>
- Tongo, E. y Soplín, H. (2022). Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción pecuaria en la provincia de Oxapampa / Pasco / Perú. *Revista Ecología Aplicada*, 21(1), 67-75. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v21n1/1726-2216-ecol-21-01-67.pdf>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2021). *Atmósfera. Manual de derecho ambiental mexicano*. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6429/9.pdf>
- Vázquez, A. (2000). Desarrollo económico local y descentralización: Aproximación a un marco conceptual. Comisión Económica para América Latina. <https://bivica.org/file/view/id/3689>
- Weiler, A., Albertini, S., Barreto, D., Heredia, M., Andrea, W. G., Sofia, A., Deniz, B. y Heredia, M. G. (2019). Evaluación de la sustentabilidad a escala de sistemas silvopastoriles en tres ecorregiones del Paraguay. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 8(1), 24-39. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7177564.pdf>
- Zada, E. y Bravo, I. (2023). Saberes ancestrales para la conservación del patrimonio cultural inmaterial de la comunidad Cofán Dureno, Ecuador. *Uniandes Episteme. Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 10(1), 69-87. <https://acortar.link/ZHrVnv>
- Zumárraga, K. D. (2016). *Análisis de la situación actual, propuesta de mejoramiento e implementación de un programa de responsabilidad social para la comunidad de A'í Cofán* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://acortar.link/URPsN9>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Sostenibilidad curricular en Ingeniería en Gestión Turística. Estudio de caso: Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile.

Curricular Sustainability in Tourism Management Engineering. Case Study: Metropolitan Technological University of Chile.

Sustentabilidade curricular em Engenharia em Gestão Turística. Estudo de caso: Universidade Tecnológica Metropolitana do Chile.

Viviana Contreras Cabezas, Modesta Díaz Díaz, Claudia Giovagnoli Vicuña, Marfilda Sandoval Hormazábal

Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
viviana.contreras@udalba.cl

Artículo científico

Enviado: 12/10/2024
Aprobado: 20/12/2025
Publicado: 28/12/2025

RESUMEN

La crisis climática desafía al turismo en la incorporación de modelos de gestión sostenibles. Las universidades deben generar nuevos rediseños curriculares, incorporando la formación en sostenibilidad, preparando agentes de cambio, capaces de enfrentar los desafíos desde la acción ciudadana y profesional. En la investigación se analizó la integración de la sostenibilidad curricular en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Gestión Turística en la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile; identificando componentes y criterios de sostenibilidad curricular, estableciendo fortalezas y debilidades. En el estudio, de tipo cuantitativo y alcance descriptivo-explicativo, se utilizó la técnica de análisis de contenido, a través de una guía de observación aplicada a 52 de las 55 asignaturas. Se observó que en el 33% de los programas se incluyen competencias genéricas en sostenibilidad, en el 98% emplean metodologías educativas activas, y el 53.8% promovió el pensamiento crítico en el aula, mientras que un 27% aborda contenidos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se concluyó que la integración de la sostenibilidad en el currículo de la Ingeniería en cuestión es de nivel medio, recomendando rediseñar el plan de estudios para incorporar competencias relacionadas con dichos objetivos y el turismo desde el paradigma de la sostenibilidad.

Palabras clave: desarrollo sostenible, educación superior, turismo sostenible.

ABSTRACT

The climate crisis challenges the tourism sector to adopt sustainable management models. Universities must develop new curriculum designs, incorporating sustainability education and preparing agents of change capable of addressing these challenges through civic and professional action. This research analyzed the integration of sustainability into the curriculum of the Tourism Management Engineering program at the Metropolitan Technological University of Chile, identifying components and criteria of curricular sustainability and establishing strengths and weaknesses. The study, which was quantitative and descriptive-explanatory in scope, used content analysis through an observation guide applied to 52 of the 55 courses. It was observed that 33% of the course programs include generic sustainability competencies, 98% employ active learning methodologies, and 53.8% promote critical thinking in the classroom, while 27% address content related to the

Sustainable Development Goals. The study concluded that the integration of sustainability into the curriculum of the Engineering program in question is at an intermediate level, and recommends redesigning the curriculum to incorporate competencies related to these goals and to tourism from a sustainability perspective.

Keywords: higher education, sustainable development, sustainable tourism.

RESUMO

A crise climática desafia o turismo a incorporar modelos de gestão sustentável. As universidades devem desenvolver novos currículos, incorporando formação em sustentabilidade e preparando agentes de mudança capazes de enfrentar esses desafios por meio da ação cívica e profissional. Esta pesquisa analisou a integração da sustentabilidade curricular no curso de Engenharia de Gestão Turística da Universidade Tecnológica Metropolitana do Chile, identificando componentes e critérios para a sustentabilidade curricular e estabelecendo pontos fortes e fracos. O estudo quantitativo, descritivo-explicativo, utilizou análise de conteúdo, empregando um guia de observação aplicado a 52 das 55 disciplinas. Os resultados revelaram que 33% dos programas incluíam competências genéricas em sustentabilidade, 98% utilizavam metodologias de aprendizagem ativa e 53,8% promoviam o pensamento crítico em sala de aula, enquanto 27% abordavam conteúdo relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Concluiu-se que a integração da sustentabilidade no currículo de Engenharia em questão encontra-se em um nível médio, recomendando-se que o currículo seja reformulado para incorporar competências relacionadas a esses objetivos e ao turismo a partir do paradigma da sustentabilidade.

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável, educação superior, turismo sustentável.

INTRODUCCIÓN

Como sociedad, enfrentamos una crisis multisistémica local y global que afecta los ámbitos sociales, ecológicos, económicos, culturales y sanitarios, producto del modelo insostenible de producción y consumo que ha predominado durante las últimas décadas. Hoy somos testigos de las consecuencias de una emergencia climática y estamos conscientes de la necesidad urgente de un cambio de paradigma cultural que permita a nuestra sociedad avanzar hacia nuevos estilos de producción y consumo que favorezcan un desarrollo sostenible¹. En esta línea, Montes de Oca y Naessens (2023) refieren que el nuevo paradigma del desarrollo sostenible busca instaurar una mirada multidimensional que contemple al ser humano desde las dimensiones económica, social y natural, promoviendo un crecimiento económico paralelo a la erradicación de la pobreza, la disminución de brechas y desigualdades sociales, y la conservación de la naturaleza. Este enfoque aspira a un bienestar humano sostenible, con acceso a salud, educación, ocio, dignidad y justicia social. Bajo este contexto, las universidades están llamadas a formar profesionales competentes e íntegros para enfrentar los desafíos actuales y futuros; en particular, la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM) ha explicitado en su misión la formación de profesionales que aporten al desarrollo sostenible del país y, en coherencia con ello, la carrera de Ingeniería en Gestión Turística busca propiciar un perfil de egreso orientado a un turismo responsable y sostenible.

¹ Entendido como: “como un proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (Puerta, 2022, p. 5).

Las Instituciones de Educación Superior cumplen un rol estratégico, pues son generadoras de conocimiento y agentes de transformación social. Hoy son llamadas a fomentar una educación, investigación y vinculación con las comunidades que contribuyan al logro de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2023). Diversos autores destacan la urgencia de integrar la sostenibilidad curricular en la formación universitaria, a fin de promover una perspectiva holística y multidisciplinaria que permita abordar los desafíos contemporáneos (Rocha, 2023; Silva-Jiménez *et al.*, 2022; Litzner y Rieß, 2019). Para ello se requiere incorporar contenidos, problemáticas, cualidades, contradicciones, principios y valores implícitos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dentro de los programas de estudio, incluyéndolos como componentes indispensables de los procesos formativos. Su integración aporta competencias del pensar, actuar y ser, preparando a las y los futuros profesionales para tomar decisiones sostenibles en el corto y mediano plazo (Gutiérrez *et al.*, 2023; Peña, 2021; Ramos, 2020). Este marco se inscribe en hitos internacionales Agenda 21, Decenio de la EDS (2005–2014) y Agenda 2030/ODS (meta 4.7) que orientan la formación en sostenibilidad (UNESCO, 2020).

A nivel internacional, diversas universidades han avanzado en la integración de la sostenibilidad en programas de turismo mediante marcos institucionales consolidados. Por ejemplo, la Universidad de Surrey ha incorporado la sostenibilidad en todos sus programas como atributo de egreso alineado a los ODS, explicitándolo en resultados de aprendizaje y evaluación; en turismo, la Universidad de Queensland ofrece asignaturas específicas como *Sustainability in Tourism, Hospitality and Events* y *Sustainable Tourism*, junto con *cursos de nivel avanzado*, que articulan competencias con el enfoque ODS. En Iberoamérica, la Universidad de São Paulo impulsa un programa transversal de sostenibilidad institucional que enmarca iniciativas curriculares y de gestión transversal en el campus, mientras que la Universidad de Costa Rica cuenta con una Licenciatura en Turismo Sostenible, con énfasis en Ecoturismo, cuya malla y programas de curso posicionan la sostenibilidad como eje formativo desde el primer nivel.

Mercado y Urquiza (2018), hacen referencia a que existe un escaso avance a nivel iberoamericano en la implementación integral de una sostenibilidad curricular, a pesar de los diversos mandatos, compromisos y acuerdos desde la perspectiva política global de los países. Estas referencias sitúan el caso chileno en un marco comparativo y subrayan la necesidad de fortalecer la formación en sostenibilidad desde los programas nacionales.

En Chile, la incorporación de la sostenibilidad curricular en las universidades no ha alcanzado aún un desarrollo integral. El Ministerio del Medio Ambiente (2020) actualizó la Política Nacional de Educación para la Sustentabilidad de 2009 bajo los lineamientos de la Agenda 2030, aplicable principalmente a los niveles preescolar, básico y medio, dejando fuera al sistema de educación superior; aunque impulsó estrategias como el Acuerdo de Producción Limpia Campus Sustentable, su impacto en la formación universitaria ha sido limitado. A ello se suman barreras prácticas y culturales que dificultan la transversalización de la sostenibilidad en la educación superior, falta de lineamientos ministeriales específicos para el nivel terciario, escasa formación docente en competencias para la sostenibilidad, limitación de recursos institucionales y persistencia de enfoques disciplinares tradicionales, lo que condiciona la capacidad de las universidades para consolidar una educación transformadora alineada con la Agenda 2030 y refuerza la pertinencia de analizar experiencias concretas como la de la UTEM.

En paralelo, el marco legal no explicita compromisos de sostenibilidad curricular en las Instituciones de Educación Superior: la Ley General de Educación N° 20.370 menciona que se debe propiciar el respeto por el ambiente y el uso racional de los recursos pensando en las futuras generaciones (Rocha, 2023), mientras que la Ley N° 21.094/2018 para universidades del Estado establece el deber de contribuir al desarrollo sostenible integral y a una cultura basada en conocimiento y pensamiento

crítico (Rojas, 2023). Desde la práctica interuniversitaria, la Red Campus Sustentable (RCS, 2024) mediante diversas estrategias de colaboración tales como: el Protocolo Marco de Colaboración de 2010 y los Acuerdos de Producción Limpia I y II (2012; 2016) ha promovido avances en la sostenibilidad curricular universitaria, aunque algunos autores refieren a un predominio con una mirada ambiental por sobre una visión integral del desarrollo sostenible (Silva-Jiménez y Vera, 2023).

La evidencia nacional reciente confirma que, si bien las Instituciones de Educación Superior incorporan la sostenibilidad de diversas maneras en sus campus, persiste la falta de una mirada integral y la dificultad de transversalizar la formación. Vera (2017) identificó que, en siete instituciones de la Red Campus Sustentable, la mayoría no logra integrar la sostenibilidad en las mallas de pregrado desde un enfoque metacurricular, limitándose a cursos de sensibilización. En el ámbito del turismo, León-Gómez y Mora (2022) señalan que, pese al avance, existen escasos estudios que evalúen sistemáticamente dicha integración; aun así, en la última década se observa un aumento de la formación en sostenibilidad, impulsado por la necesidad de respuestas ecológicas, sociales y económicas a los desafíos del sector. En este escenario, el Servicio Nacional de Turismo (2021) actualizó la Guía de Perfiles de Egreso para las carreras del área, subrayando un turismo sostenible, resiliente y consciente; sin embargo, se desconoce el grado real de incorporación de la sostenibilidad en los planes de estudio universitarios. Este vacío de conocimiento motiva la presente investigación y justifica su foco en la UTEM, que en su perfil de egreso declara explícitamente un sello de sostenibilidad (Facultad de Administración y Economía, 2019).

El presente estudio responde al vacío de evidencias empíricas sobre la integración real de la sostenibilidad curricular en programas de turismo en Chile. Analizar el caso de la UTEM permite diagnosticar la situación actual y proponer orientaciones para el rediseño del plan de estudios coherentes con los desafíos globales y las demandas formativas de un turismo sostenible. En consecuencia, se plantea la pregunta central: ¿en qué medida el plan de estudios del Modelo Educativo (2011–2021) de la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la UTEM integra los componentes y criterios de sostenibilidad curricular? El objetivo general fue analizar dicho plan en términos de sostenibilidad curricular. Para ello, se establecieron tres objetivos específicos: (i) cuantificar el porcentaje de integración de los componentes de sostenibilidad curricular en la malla; (ii) identificar los criterios de integración considerando el ME 2011, la competencia genérica de sostenibilidad de la UTEM, las competencias clave de la EDS y los contenidos ODS; y (iii) analizar la ruta de aprendizaje para reconocer fortalezas y debilidades en la integración. Con base en la literatura y en el enfoque institucional, se formulan las hipótesis: H1, la integración de los componentes de sostenibilidad es transversal en los distintos ciclos formativos; H2, el plan incorpora criterios alineados con las competencias EDS y los ODS; y H3, la integración es más sólida en los ciclos disciplinares y de titulación que en el básico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El plan de investigación se enmarcó en el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo-explicativo. Se utilizó un diseño de investigación no experimental y transversal, basado en la técnica del análisis de contenido cuantitativo, mediante la aplicación de una guía de observación y un catálogo de codificación diseñado para el análisis textual de la unidad de estudio.

Unidad de análisis

La unidad de análisis correspondió al plan de estudios de la Carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la UTEM, compuesto por 55 programas de asignatura y *syllabus*. De ellos, se analizaron 52, distribuidos en distintos ciclos formativos: 33 en el Ciclo Científico-Tecnológico, 14 en el Ciclo de Especialización y tres en el Ciclo de Titulación; cinco en el Programa de Desarrollo Personal y Social, tres asignaturas y un electivo transversal. Los programas se encontraban distribuidos en diez

semestres, abarcando cursos básicos, disciplinares y de formación transversal. Se excluyeron tres programas por no ajustarse al formato común y corresponder a electivos complementarios.

Procedimiento de análisis

El análisis de contenido siguió las fases propuestas por (Basti, 2021). En una primera etapa se reconoció el estado del arte y el contexto de la investigación, estableciendo el marco teórico, identificando el problema y formulando la hipótesis que guio la recolección e interpretación de datos. Posteriormente, se llevó a cabo la operacionalización de las variables y subvariables vinculadas a los componentes y criterios de la sostenibilidad curricular, elaborando para ello una guía de observación y un catálogo de codificación con sus respectivas referencias teóricas. En la *tabla 1* se presenta la operacionalización de las variables, componentes y criterios de integración curricular. Finalmente, se procedió a validar dichos instrumentos mediante la revisión de expertos, asegurando la coherencia entre los componentes y criterios de la sostenibilidad curricular y sus fundamentos teóricos, tras lo cual fueron aplicados al conjunto de programas de asignatura en la etapa de análisis documental.

Tabla 1. Operacionalización variables de los componentes y criterios de integración curricular.

Operacionalización de las variables, componentes de integración en sostenibilidad curricular	Subvariables de los criterios de sostenibilidad curricular con base en el componente
Competencia genérica transversal de sustentabilidad institucional UTEM.	<ul style="list-style-type: none"> Nivel de logro de aprendizaje de la competencia genérica de sustentabilidad. Nivel del ciclo educativo en que se inserta. Competencias del saber: pensamiento sistémico, crítico y anticipación.
Competencias clave para la implementación de una Educación para el Desarrollo Sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> Competencias del actuar: estrategia, colaboración y resolución de problemas. Competencias del ser: autoconciencia y normativo. ODS Personas: 1-2-3-4-5.
Contenidos temáticos asociados a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible.	<ul style="list-style-type: none"> ODS Planeta: 6-12-13-14-15. ODS Prosperidad: 7-8-9-10-11. ODS Paz: 16. ODS Pactos: 17.

Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Posteriormente, los datos fueron traspasados al software *Statistical Package for the Social Sciences*. Se codificaron de forma dicotómica (presencia = 1, ausencia = 0) las variables nominales correspondientes a componentes y criterios de la sostenibilidad curricular. El análisis estadístico descriptivo permitió expresar frecuencias y porcentajes, identificando la presencia o ausencia de cada componente y criterio evaluado en los programas de asignatura identificando fortalezas y debilidades que permiten instaurar mejoras del diseño curricular actual para la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la Facultad de Administración y Economía de la UTEM *tabla 2*.

Tabla 2. Matriz de observación integrada para el análisis de variables y subvariables asociadas a la presencia o ausencia de componentes y criterios de Sostenibilidad Curricular en las asignaturas de la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la UTEM.

Semestre	Asignatura	Ciclo Formativo				Año Carrera				Competencia	Nivel logro de Aprendizaje		
		CCT	CE	CT	PPS	1	2	3	4	Genérica de Sustentabilidad	Básico	Intermedio	Titulación
I	Asignatura 1												
	Asignatura 2												
	Asignatura 3												

Semestre	Asignatura	Metodología EDS	Manera de pensar			Manera de practicar			Manera de ser	
		Activas	Sistémico	Anticipación	Crítico	Estratégica	Colaboración	Resolución de problemas	Autoconciencia	Normativa
I	Asignatura 1									
	Asignatura 2									
	Asignatura 3									

		Contenido de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible															
		ODS Personas					ODS Planeta					ODS Prosperidad				ODS Paz	ODS Pactos
Semestre	Asignatura	1	2	3	4	5	6	12	13	14	15	7	8	9	10	16	17
I	Asignatura 1																
	Asignatura 2																
	Asignatura 3																

Fuente: Elaborada por las autoras.

Limitaciones y alcances del diseño.

El estudio es documental, no experimental y transversal, aplicado a una única unidad de análisis (Ingeniería Gestión Turística de la UTEM) y en el período de 2011–2021; por ello, la generalización a otros contextos debe realizarse con cautela. Los indicadores reportan presencia formal de componentes/criterios de sostenibilidad en documentos curriculares, no su implementación en aula ni el logro de aprendizaje. La operacionalización de “sostenibilidad curricular” y la codificación pueden introducir sesgo según el nivel de detalle disponible. Finalmente, el corte transversal y el análisis descriptivo-explicativo no permiten inferir causalidad. Como salvaguardas, se emplearon instrumentos validados por expertos y protocolo de codificación; futuras fases considerarán triangulación con métodos mixtos y concordancia entre codificadores a fin de obtener una visión más integral mediante la inclusión sistemática de las percepciones del estudiantado y de sus docentes en la incorporación en el aula de las competencias de sostenibilidad y contenidos asociados a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible y fomento del turismo sustentable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio evidenció una integración parcial pero consistente de la sostenibilidad curricular en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la Universidad Tecnológica Metropolitana. Los resultados permiten diagnosticar el nivel de incorporación de competencias, metodologías y contenidos vinculados con la Educación para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Para la trazabilidad metodológica, el detalle de la operacionalización de variables y criterios se presenta en la *tabla 1*, mientras que la categorización de logro según nivel de integración se resume en la *tabla 3*.

Tabla 3. Cuadro de categorización de logro con base en el análisis integrado de los componentes de sostenibilidad curricular y porcentaje de integración de la Universidad Tecnológica Metropolitana.

Nivel de integración	%	Competencia genérica de sostenibilidad*	Principios clave EDS	Contenidos temáticos asociados ODS
Bajo	0 a 29			27% Contenidos asociados a ODS
Medio	30 a 59	33%	53.8 % Competencias del pensar 38% Competencias del ser	
Alto	60 a 100		98% Metodologías activas 92% Competencias del actuar	

Fuente: *Elaborada por las autoras.*

El componente institucional de la competencia genérica de sostenibilidad en la UTEM se identificó explícitamente en el 33% de los programas analizados, reflejando una adopción todavía limitada y concentrada en los ciclos iniciales. Este resultado concuerda con lo planteado por Vera (2022) y Gaitán-Angulo *et al.* (2022), quienes indican que las universidades latinoamericanas muestran avances desiguales en la transversalización de la sostenibilidad, con predominio de esfuerzos declarativos sobre transformaciones estructurales en el currículo. Se debe reconocer al plan curricular como una pieza clave que determina estándares de formación de las y los profesionales,

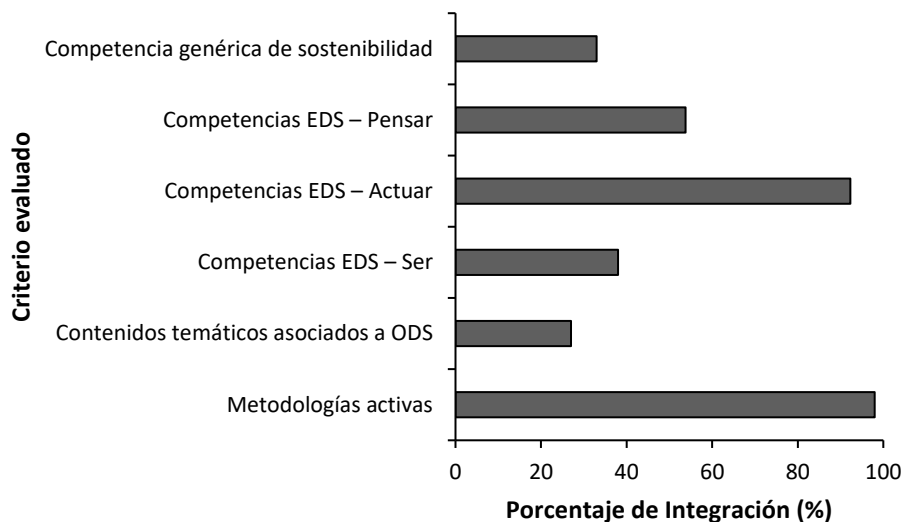
siendo fundamental incrementar estos indicadores al momento de un rediseño generando competencias de sustentabilidad transversales en la formación de las y los profesionales.

En cuanto a las competencias clave de la EDS propuestas por la UNESCO (2017), se observó que el 53.8% de las asignaturas promueve competencias del pensar, el 92.3% del actuar y el 38% del ser. Estos resultados son consistentes con el marco propuesto por Kioupi y Voulvoulis (2019), quienes evidencian la necesidad de integrar estas diversas competencias de manera equilibrada, ya que para formar personas y profesionales que aporten al desarrollo sostenible, es necesario brindar no solo saberes cognitivos, sino también transformar sus estilos de vida desde la valoración de los principios éticos y normativos que resguarden un futuro más sano ambientalmente, justo y digno.

Asimismo, el 98% de las asignaturas emplea metodologías activas coherentes con el enfoque constructivista del Modelo Educativo 2011–2021, en línea con las recomendaciones de (García *et al.*, 2023) sobre aprendizaje activo y desarrollo de competencias sostenibles en educación superior.

Los resultados generales por componente y su distribución porcentual se presentan en la *tabla 2* y se visualizan en la *figura 1*. La alta presencia de metodologías activas y de competencias del actuar sugiere un entorno pedagógico propicio para la aplicación práctica de la sostenibilidad. Sin embargo, los porcentajes menores observados en las competencias del ser y en los contenidos ODS confirman una débil conexión ética y transversal con la Agenda 2030 (Gutiérrez-Pérez y Poza, 2023; UNESCO, 2023). Esta brecha entre el saber, el hacer y el ser se asocia a la limitada incorporación de los ODS en los planes de estudio del turismo, fenómeno también observado por (Maguire *et al.*, 2020) en universidades europeas.

Figura 1. Distribución global de criterios de integración de sostenibilidad curricular en Ingeniería en Gestión Turística de la Universidad Tecnológica Metropolitana.



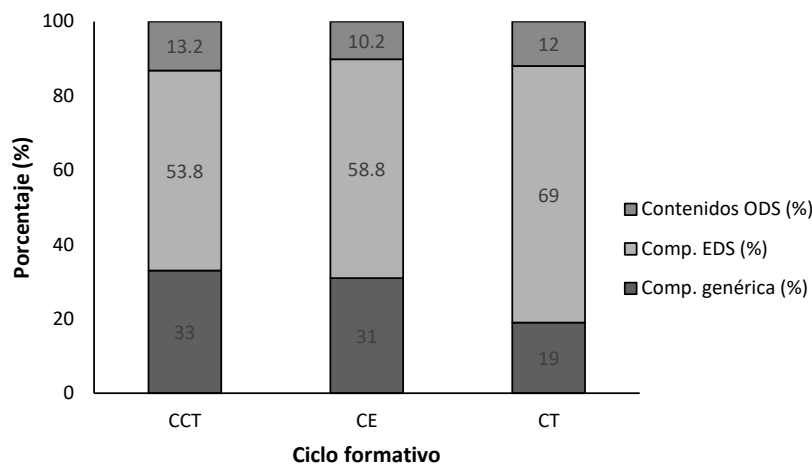
Fuente: Elaborada por las autoras.

Respecto del componente asociado a los contenidos temáticos de los ODS, solo el 27% de los programas y *syllabus* incorpora explícitamente alguno de los 17 ODS, con predominio de los ODS 14 (Vida submarina) y 15 (Ecosistemas terrestres). Este patrón concuerda con lo planteado por Higuera

et al. (2020), quienes destacan la prevalencia de un enfoque ambiental² por sobre las dimensiones social y económica de la sostenibilidad.

El análisis comparativo por ciclo formativo (figura 3) muestra una mayor concentración de la integración de sostenibilidad en el Ciclo Científico-Tecnológico (33%), que disminuye en el Ciclo de Especialización (23.1%) y alcanza su mínimo en el Ciclo de Titulación (5.8%). Este comportamiento refleja la falta de progresión vertical en la integración curricular, un desafío señalado también por Conroy et al. (2024), quienes proponen la articulación de seis dimensiones de sostenibilidad como marco estructurante del aprendizaje universitario.

Figura 2. Presencia de criterios de sostenibilidad por ciclo formativo



Nota: CCT: Ciclo Científico-Tecnológico, CE: Ciclo de Especialización y CT: Ciclo de Titulación

Fuente: Elaborada por las autoras.

La lectura combinada de la *tabla 3* y las *figuras 1 y 2* permite concluir que el currículo actual prioriza la dimensión procedimental (competencias del actuar y metodologías activas) por sobre la dimensión socio-ética (competencias del ser) y la explicitación de contenidos ODS. Este diagnóstico coincide con los hallazgos de Montes de Oca y Naessens (2023), quienes subrayan que la sostenibilidad curricular requiere un equilibrio entre las dimensiones cognitiva, actitudinal y práctica para generar aprendizajes transformadores. En términos de mejora continua, se recomienda: (i) asegurar la progresión vertical de competencias EDS desde el CCT hasta la titulación; (ii) fortalecer la evaluación de aprendizajes alineada a ODS; y (iii) promover la incorporación de contenidos de ODS vinculados al turismo sostenible (p. ej., ODS 8, 12 y 13), en concordancia con los lineamientos internacionales (Chica et al., 2025; Elmassri et al., 2025).

En coherencia con la Agenda 2030 y las orientaciones recientes de la UNESCO (2023), estos resultados ofrecen insumos prácticos para el rediseño curricular, promoviendo módulos orientados al pensamiento sistémico, estrategias de aprendizaje-servicio y la articulación entre docencia, investigación y vinculación con el medio, en sintonía con las recomendaciones de León-Gómez y Mora (2022) y de la Red Campus Sustentable (2024).

² Hay que señalar que en la inmensa mayoría de la literatura consultada es común encontrar el uso del término ambiental como sinónimo de naturaleza, a pesar de que epistemológicamente son conceptos diferentes. El ambiente debe ser entendido como “ complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (Puerta, 2022, p. 5).

En resumen, el plan de estudios de Ingeniería en Gestión Turística de la Universidad Tecnológica Metropolitana, bajo el Modelo Educativo 2011–2021, presenta un nivel medio de integración de sostenibilidad curricular, con fortalezas en metodologías activas y competencias del actuar, y debilidades en las competencias del ser y los contenidos ODS. Este diagnóstico constituye una base sólida para orientar el rediseño curricular 2023, consolidando la formación de profesionales capaces de responder a los desafíos del turismo sostenible mediante una educación superior más equitativa, ética y transformadora.

CONCLUSIONES

Las Instituciones de Educación Superior, tanto a nivel nacional como internacional, están llamadas a asumir un rol activo en la formación de agentes de cambio capaces de responder a los desafíos globales desde la Educación para el Desarrollo Sostenible. Ello implica complejizar sus estructuras académicas para integrar la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en todos los ámbitos de su quehacer: gobernanza, gestión del campus, investigación, docencia y vinculación con los territorios.

El diagnóstico realizado permitió identificar el nivel de integración de los componentes de sostenibilidad curricular en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la Universidad Tecnológica Metropolitana, aportando indicadores objetivos para orientar el rediseño curricular bajo el Modelo Educativo 2023.

Los resultados evidencian un nivel medio de integración de la sostenibilidad curricular. La competencia genérica de sustentabilidad institucional está presente en un 33% de las asignaturas; las competencias clave de la EDS muestran un desarrollo alto en las dimensiones del actuar (92.3%) y del pensar (53.8%), mientras que la dimensión del ser (38%) mantiene una presencia menor. La incorporación de metodologías activas (98%) representa una fortaleza del modelo pedagógico, aunque los contenidos explícitos de ODS (27%) y las competencias anticipatorias (9.6%), estratégica (7.7%) y de autoconciencia (5.8%) continúan siendo áreas deficitarias.

En el análisis por ciclos formativos, la integración se concentra en el Ciclo Científico-Tecnológico (33%), desciende en el Ciclo de Especialización (23.1%) y prácticamente desaparece en el Ciclo de Titulación (5.8%). Esta falta de progresión vertical confirma la necesidad de fortalecer la coherencia longitudinal del currículo para consolidar un sello institucional en sostenibilidad.

Entre las fortalezas se destaca la presencia de la competencia genérica de sustentabilidad, que otorga identidad formativa y orienta la preparación de profesionales capaces de vincular la gestión turística con el desarrollo sostenible. No obstante, las debilidades detectadas baja integración de ODS y escaso desarrollo de competencias del ser evidencian la urgencia de avanzar hacia un currículo integral que promueva valores éticos, pensamiento sistémico y compromiso social.

Finalmente, la carrera de Ingeniería en Gestión Turística de la Universidad Tecnológica Metropolitana se encuentra en una etapa intermedia de sostenibilidad curricular. Los hallazgos respaldan la incorporación de estrategias que profundicen la transversalidad de la sostenibilidad, especialmente mediante asignaturas con enfoque en los ODS 4, 8, 12 y 13, formación docente continua y mecanismos de evaluación basados en competencias sostenibles. De este modo, la institución podrá contribuir de manera efectiva al cumplimiento de la Agenda 2030 y a la formación de profesionales capaces de liderar transformaciones hacia un turismo más responsable, inclusivo y resiliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastis, C. (2021). Análisis de contenido cuantitativo. Online-Tesis. <https://online-tesis.com/analisis-de-contenido-cuantitativo/>
- Conroy, M. M., Mansfield, B., Irwin, E., Jaquet, G., Hitzhusen, G. y Brooks, J. (2024). Six dimensions of sustainability: A framework for organizing diverse university sustainability curricula at The Ohio State University. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 25(9), 316-332. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-08-2023-0344>
- Chica, M. P., Onofre, V. A., Buenaño, S. L., Tapia, M. M. y Cantos, L. E. (2025). La integración de la sostenibilidad en la educación superior: una estrategia para la formación de profesionales con conciencia global. *Prisma Journal*, 1(2), 79-88. <https://acortar.link/JrDMqG>
- Elmassri, M., Pajuelo, M. L., Jabbar, T. A., Taher, F. H., Al Shamsi, A., Arif, S. M., Aldhaheeri, M. y Elrazaz, T. (2025). The Paradox of Sustainability in Higher Education: High Awareness but Limited Competency in Applying SDG 12 Principles. *Sustainability*, 17(20), 9067. <https://doi.org/10.3390/su17209067>
- Facultad de Administración y Economía. (2019). *Ingeniería en Gestión Turística. Memoria 1997–2018*. Universidad Tecnológica Metropolitana. <https://acortar.link/lsj3qx>
- Gaitán-Angulo, M., Gómez-Caicedo, M. L., Torres-Samuel, M., Correa-Guimaraes, A., Navas-Gracia, L. M., Vásquez-Stanescu, C. L. y Ramírez-Pisco, R. (2022). Sustainability as an Emerging Paradigm in Universities. *Sustainability*, 14(5), 2582. <https://doi.org/10.3390/su14052582>
- García, V., Del Pino, M., Cañarte, J., Pincay, G., Ponce, S., Castro, M. C. y Morales, M. (Eds.). (2023). *La educación superior ecuatoriana y el constructivismo* (Vol. 1, 1ª ed.). ALEMA Casa Editora. <https://editorialalema.org/libros/index.php/alema/article/view/14/15>
- Gutiérrez-Pérez, J. y Poza V. M. (Coord.) (2023). *Guía práctica de ambientalización curricular: Los ODS como oportunidad en la educación superior* (1ª ed.). Octaedro S.L. <https://acortar.link/lnPQUJ>
- Higuera, A., Rivera, E. y Santamaría, A. (2020). *Sostenibilidad curricular: construir programas académicos integrales*. Universidad Tecnológica Metropolitana. *Revista Digital Universitaria*, 21(3), 1-9. <https://acortar.link/WE4AwL>
- Kioupi, V. y Voulvoulis, N. (2019). Education for sustainable development: A systemic framework for connecting the SDGs to educational outcomes. *Sustainability*, 11(21), 6104. <https://acortar.link/tlA7qf>
- León-Gómez, A. y Mora, J. A. (2022). Relevance of sustainability education in the tourism sector. *Human Review. International Humanities Review*, 12(6), 1–12. <https://philpapers.org/rec/LENROS>
- Litzner, L. I. y Rieß, W. (2019). La educación para el desarrollo sostenible en la universidad boliviana: Percepciones del profesorado. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 31(1), 149–173. <https://doi.org/10.14201/teri.19037>
- Maguire, K., Scott, D. y Thomas, E. (2020). *Education for sustainability in higher education: Global perspectives*. Routledge.

- Mercado, O. y Urquiza, F. (2018). Todo definido, (casi) todo por hacer: Educación universitaria para la sustentabilidad. *Revista Espacios*, 39(46), 15. <https://acortar.link/Bnqenz>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Educación ambiental: Una mirada desde la institucionalidad ambiental chilena*. Ministerio del Medio Ambiente. <https://acortar.link/GYxxhA>
- Montes de Oca, A. y Naessens, H. (2023). Planteamientos crítico-conceptuales sobre la sustentabilidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (33), 45–63. <https://acortar.link/Qg3el8>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivos de aprendizaje*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Educación para el desarrollo sostenible: hoja de ruta* (1ª ed.). <https://acortar.link/preEmB>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2023). Programa de Liderazgo y gobernanza universitaria sostenible. *Camino hacia la Agenda 2030*. IESALC. <https://acortar.link/8n6HBk>
- Peña, M. Y. (2021). Educación frente a las 5P: Modelo fundamentado en valores y los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Vinculando*, 19(2). <https://acortar.link/rz1p6k>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Ramos, D. I. (2020). Contribución de la educación superior a los Objetivos de Desarrollo Sostenible desde la docencia. *Revista Española de Educación Comparada*, 37, 89–112. <https://acortar.link/EGoiFk>
- Red Campus Sustentable. (2024). *Plan estratégico 2024*. <https://acortar.link/cEzHq7>
- Rocha, J. (2023). *Competencias de egreso de sustentabilidad deseables en estudiantes de pregrado en instituciones de educación superior en Chile* [Tesis de maestría Universidad del Desarrollo, Chile]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.udd.cl/handle/11447/7032>
- Rojas, C. (2023). *Estrategias de vinculación para abordar la sustentabilidad en las instituciones de educación superior* [Tesis de maestría, Universidad del Desarrollo, Chile]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11447/8632>
- Servicio Nacional de Turismo. (2021). Guía de Perfiles de Egreso de las carreras de turismo, hotelería y gastronomía de Chile (4ta versión). <https://acortar.link/0sR01J>
- Silva-Jiménez, D., Contreras, S. y Cavieres, B. (2022). Sostenibilidad ambiental en la educación superior: El camino que debemos seguir. En F. Vera, A. Díaz-Vázquez y B. Sánchez-Urbina (Eds.), *Libro de Actas II Congreso Internacional de Tecnología, Aprendizaje y Educación CITAE 2022* (pp. 31–34). Centro Transformar SPA. <https://acortar.link/tonl8J>
- Silva-Jiménez, D. y Vera, F. (2023). Sostenibilidad en instituciones de educación superior chilenas. *Transformar*, 4(2), 15–26. <https://acortar.link/vgObBq>

- Vera, F. (2017). Cambio paradigmático: Un análisis crítico de la sostenibilización curricular en la educación superior chilena. *Revista Akadèmeia*, 16(1), 40-72. <https://acortar.link/ol9pl5>
- Vera, F. (2022). La perspectiva de docentes sobre la infusión de la sostenibilidad en el currículo de la educación superior. *Transformar*, 3(2), 17–37. <https://acortar.link/DU970x>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Tejer comunidad, cuidar el mundo: saberes de mujeres y sustentabilidad en la cuenca del río Actopan.

**Irma Elisa Fernández Téllez,
Adriana Rodríguez Barraza**

Universidad Veracruzana, México
elisafernandeztellez@gmail.com

*Weaving community, caring for the world:
women's knowledge and sustainability in the
Actopan river basin.*

Artículo científico

*Tecendo comunidade, cuidando do mundo:
saberes de mulheres e sustentabilidade na bacia
do rio Actopan.*

Enviado: 11/04/2025

Aprobado: 26/11/2025

Publicado: 28/11/2025

RESUMEN

La investigación cualitativa tuvo como objetivo central conocer las creencias y las aportaciones de las mujeres a la sustentabilidad en comunidades de la cuenca del río Actopan, Veracruz, México; de este modo, se buscó comprender cómo, desde sus experiencias, se configuraron narrativas y prácticas de cuidado ambiental y social. Se tomó como fundamento la teoría ecofeminista y de los cuidados. Los resultados mostraron que, además de sus prácticas cotidianas en el huerto, en el cuidado familiar y comunitario, y en su participación y liderazgo en mercados agroecológicos, las mujeres poseían un conjunto de creencias que otorgaban sentido y legitimidad a sus saberes sobre la sustentabilidad. El estudio aportó nuevos conocimientos teóricos al vincular el cuidado con la defensa de los bienes comunes y prácticos al evidenciar estrategias locales de gestión ambiental y cooperación solidaria. Este análisis permitió resaltar el papel fundamental que desempeñaron en la transmisión de conocimientos y en la articulación de la relación mujer-sustentabilidad.

Palabras clave: cuidado, creencias ambientales, tejido social, sustentabilidad.

ABSTRACT

The qualitative research aimed to identify the beliefs and contributions of women to sustainability in communities of the Actopan River basin, Veracruz, Mexico; in this way, it sought to understand how, based on their experiences, narratives and practices of environmental and social care were shaped. The study was grounded in ecofeminist and care theories. The results showed that, beyond their daily practices in gardening, family and community care, and their participation and leadership in agroecological markets, women held a set of beliefs that provided meaning and legitimacy to their knowledge about sustainability. The study contributed new theoretical insights by linking care with the defense of common goods and practical knowledge by evidencing local strategies of environmental management and cooperative solidarity. This analysis highlighted the fundamental role they played in the transmission of knowledge and in the articulation of the woman–sustainability relationship.

Keywords: care, environmental beliefs, social fabric, sustainability.

RESUMO

A pesquisa qualitativa teve como objetivo central conhecer as crenças e as contribuições das mulheres para a sustentabilidade em comunidades da bacia do rio Actopan, Veracruz, México; desse modo, buscou-se compreender como, a partir de suas experiências, configuraram-se narrativas e práticas de cuidado ambiental e social. A pesquisa baseou-se nas teorias ecofeminista e do cuidado. Os resultados mostraram que, além de suas práticas cotidianas no cultivo, no cuidado familiar e comunitário, e em sua participação e liderança em mercados agroecológicos, as mulheres possuíam um conjunto de crenças que conferiam sentido e legitimidade aos seus saberes sobre sustentabilidade. O estudo gerou novos conhecimentos teóricos ao relacionar o cuidado com a defesa dos bens comuns e práticos ao evidenciar estratégias locais de gestão ambiental e cooperação solidária. Essa análise destacou o papel fundamental que desempenharam na transmissão de conhecimentos e na articulação da relação mulher-sustentabilidade.

Palavras-chave: cuidado, crenças ambientais, tecido social, sustentabilidade.

INTRODUCCIÓN

El modelo capitalista, orientado principalmente al crecimiento económico desmedido, ha traído graves consecuencias ambientales: sociales, económicas y ecológicas. Este modelo ha favorecido cada vez más, la desigualdad en la distribución de la riqueza, la producción y el consumo excesivo de bienes naturales y patrones de vida insostenibles, lo que ha desencadenado una crisis civilizatoria caracterizada por el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la desertificación y la crisis hídrica, además de problemas sociales como el aumento de la desigualdad, la pobreza y la violencia (Moore, 2011; Puerta, 2022; Hawkes, 2025).

En Veracruz, México, los proyectos hidroeléctricos, la explotación petrolera y minera, junto con la violencia estructural y el crimen organizado, han afectado gravemente a comunidades urbanas y rurales, generando mayor inseguridad, feminicidios y desempleo (Sánchez, 2018; Casados y Moreno, 2022). Estos fenómenos han deteriorado el tejido social y revelan la urgencia de alternativas sustentables y justas que integren la equidad de género y los derechos colectivos (ONU, 2024b; Oxfam Intermón, 2025).

En esta investigación resultó fundamental reconocer el papel de las mujeres como agentes clave en la construcción de sustentabilidad. A partir de sus prácticas comunitarias, de cuidado ambiental y de transmisión de saberes, ellas no solo garantizaron la reproducción de la vida, sino que reconfiguraron los vínculos entre sociedad y naturaleza. Desde el ecofeminismo, el Buen Vivir o Sumak Kawsay y la ética del cuidado, estos saberes aportaron perspectivas que permitieron superar visiones meramente tecnocráticas de la sustentabilidad (Shiva, 1995; Gudynas, 2011; Herrero, 2015; Batthyany y Arriagada, 2020; Harcourt, 2023; Acosta, 2013).

El objetivo de la pesquisa fue conocer las creencias y las aportaciones de las mujeres a la sustentabilidad en comunidades de la cuenca del río Actopan, Veracruz, México; para comprender cómo, desde sus experiencias, se configuran narrativas y prácticas de cuidado socioambiental. De este modo fortalecer la resiliencia comunitaria y contribuir a la construcción de sociedades más justas y cooperativas (Alvarado y Rodríguez, 2024; Fernández y Rodríguez, 2025).

Antes de continuar, mencionar que, en los debates contemporáneos sobre medio ambiente y sociedad, los términos sostenibilidad y sustentabilidad se utilizan con frecuencia indistintamente por lo que conviene distinguirlos. El primero, impulsado desde organismos internacionales, se centra en la preservación de los recursos naturales para garantizar su disponibilidad a las generaciones futuras,

con un énfasis particular en la conservación a largo plazo (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987). El segundo, que es el que nos atañe, se emplea más en América Latina, remite a una visión integral que incorpora dimensiones ecológicas, sociales y económicas, aludiendo a la capacidad de los sistemas para regenerarse y sostenerse en el tiempo (Gobierno de México, 2018). En el marco de este estudio, la sustentabilidad se convierte en una categoría clave para comprender las aportaciones de las mujeres de la cuenca del Actopan, dado que vincula sus prácticas de cuidado ambiental con el fortalecimiento del tejido comunitario y la construcción del bienestar colectivo.

Ecofeminismo, cuidados y ecología política

El ecofeminismo constituye un marco crítico que articula género, poder y naturaleza, al visibilizar cómo la limitación de autonomía de las mujeres y la explotación ambiental responden a las mismas lógicas jerárquicas del capitalismo (Mies y Shiva, 1993; Gaard, 2022). Esta perspectiva denuncia que la invisibilización del trabajo de cuidado y de los saberes locales profundiza la crisis socioambiental, al tiempo que plantea la urgencia de revalorizar prácticas orientadas a sostener la vida (Herrero, 2015; Harcourt, 2023).

Desde esta base, la ética del cuidado ha cobrado relevancia como categoría analítica y política. Autoras como Tronto (2013) la definen como la responsabilidad compartida de sostener la vida en condiciones de justicia, mientras que aportes más recientes destacan su potencial para orientar políticas públicas sensibles al género y al medio ambiente (Rahmania, 2025; Allison, 2023). En contextos rurales, los cuidados no se restringen al ámbito doméstico, sino que se extienden a los huertos, al manejo comunitario del agua y a la transmisión de saberes, constituyendo una praxis de sustentabilidad que conjuga lo social, lo ambiental y lo ético (Narayanaswamy, 2023).

En América Latina, la propuesta del Buen vivir (Sumak Kawsay) se ha consolidado como un horizonte alternativo al desarrollo, al plantear que la vida plena no depende de la acumulación material, sino de la armonía entre seres humanos y naturaleza (Gudynas, 2011; Batthyany y Arriagada, 2020). Este enfoque es compatible con las prácticas de mujeres que, mediante la agroecología, los huertos comunitarios y los mercados solidarios, reivindican una economía basada en la reciprocidad, la equidad y el cuidado. A su vez, estas acciones se vinculan con la responsabilidad social al reconocer que la sustentabilidad no solo implica la gestión de recursos, sino también la construcción de redes comunitarias que sostienen la vida (Cantú-Martínez, 2017; Blecker, 2022).

Finalmente, la ecología política sitúa estas prácticas en el marco de los conflictos socioambientales que atraviesan México y el resto de América Latina. La degradación de los territorios, el despojo de recursos y la violencia estructural revelan que la sustentabilidad es un problema político además de técnico (Martínez-Alier, 2020). Frente a ello, los huertos comunitarios y la acción colectiva de las mujeres se constituyen en prácticas de resistencia que integran saberes tradicionales, cuidado de la vida y autonomía ambiental, mostrando que el ecofeminismo y la ética del cuidado no son solo enfoques teóricos, sino también herramientas prácticas para enfrentar la crisis socioambiental contemporánea (Fernández y Rodríguez, 2025; Narave y Rodríguez, 2025).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la cuenca hidrográfica del río Actopan, situada en la región central del estado de Veracruz, México. Este territorio se caracteriza por su notable diversidad biocultural y por las tensiones generadas a partir de proyectos extractivos y agrícolas que transformaron de manera significativa su dinámica socioambiental (Pérez-Quezadas *et al.*, 2017). El río tiene su origen en el Cofre de Perote y recorre extensas zonas agrícolas antes de desembocar en el Golfo de México,

conformando así un espacio estratégico para comprender las prácticas de sustentabilidad que se llevan a cabo en las comunidades rurales de la región (Pereyra *et al.*, 2010).

La investigación se enmarcó en un enfoque cualitativo, considerado el más apropiado para explorar las creencias, los significados y las experiencias de las participantes en torno a la sustentabilidad (Quecedo y Castaño, 2002). El objetivo central consistió en conocer las creencias y las aportaciones de las mujeres a la sustentabilidad en las comunidades de la cuenca del río Actopan, de modo que se comprendiera cómo, desde sus vivencias, se configuraron narrativas y prácticas de cuidado socioambiental.

Se tomaron como fundamentos teóricos la perspectiva ecofeminista y la teoría de los cuidados, debido a que ambas resultaron pertinentes para analizar la relación entre mujeres, naturaleza y comunidad en contextos locales. El enfoque ecofeminista permitió comprender cómo las desigualdades de género y las formas de explotación ambiental respondieron a lógicas comunes de dominación, al tiempo que visibilizó las prácticas femeninas como alternativas que sostuvieron la vida y la biodiversidad (Mellor, 1997; Shiva, 2005). De manera complementaria, la teoría de los cuidados aportó una mirada ética y política que reconoció el valor de las tareas cotidianas vinculadas con la atención al entorno, la familia y la comunidad. Estas actividades, tradicionalmente relegadas en los análisis académicos, se revelaron fundamentales para el sostenimiento de las esferas sociales y natural (Tronto, 2013). Ambos marcos conceptuales posibilitaron situar las creencias y aportaciones de las mujeres de la cuenca del Actopan como expresiones de sustentabilidad que entrelazaron el cuidado familiar, comunitario y ambiental.

Se emplearon entrevistas semiestructuradas como técnica principal de recolección de información, dado que ofrecieron un espacio de diálogo flexible y profundo, que facilitó el acceso a las creencias locales y a las prácticas cotidianas de las participantes (Corbetta, 2007). La investigación dio inicio en el evento denominado “Convivio Chantico–Tlalli Kuali”, llevado a cabo en un bosque comestible comunitario, el cual funcionó como punto de encuentro para identificar a las primeras colaboradoras y construir una red de confianza con el grupo. A partir de entrevistas piloto, se ajustó el guion de preguntas y se amplió la convocatoria hasta reunir a las diez mujeres que conformaron la muestra final.

Los criterios de inclusión consideraron a mujeres de entre 19 y 64 años de edad, con nacionalidad mexicana, productoras activas en mercados agroecológicos y con experiencia en prácticas sustentables de manejo de recursos. Se excluyeron las menores de edad, las mayores de 70 años, las mujeres extranjeras y aquellas sin actividad productiva vinculada al cultivo o venta de productos. Los criterios de eliminación correspondieron a la falta de finalización de la entrevista o a la decisión de no continuar participando. La participación fue completamente voluntaria, y se garantizó la protección ética mediante la aplicación de consentimientos informados y la aprobación del Comité de Ética en Investigación de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (Casas, 2008).

El análisis de los datos se desarrolló en dos fases complementarias. En la primera, las entrevistas fueron transcritas de manera literal y devueltas a las participantes con el fin de validar y enriquecer la información obtenida. En la segunda fase, se llevó a cabo un proceso de codificación temática sustentado en categorías de orden social, ambiental y económico que emergieron de los relatos. La dimensión social incluyó las creencias sobre sustentabilidad, reciclaje y mercados comunitarios; la dimensión ambiental se centró en las prácticas de cuidado en huertos y hogares; y la dimensión económica abordó la generación de ingresos, las redes de apoyo y la solidaridad comunitaria. Esta sistematización permitió identificar patrones y variaciones en las experiencias de las mujeres, vinculando sus narrativas con el marco ecofeminista y de los cuidados que orientó el estudio.

Tabla 1. *Participantes del estudio.*

Nº	Participante	Edad	Agrupación	Localidad
1	Emilia	37	Tlali Kuali	Col. El Moral, Xalapa
2	Alondra	36	Bosque Comestible Chantico	Coatepec, Veracruz
3	Diana	28	Manos Mágicas	Otilpan, San Andrés Tlalnahuayocan
4	Justina	66	Manos Mágicas	Otilpan, San Andrés Tlalnahuayocan
5	María	62	Manos Mágicas	Otilpan, San Andrés Tlalnahuayocan
6	Meche	34	CECOMU	Chiltoyac, Xalapa
7	Yadira	55	CECOMU	Chiltoyac, Xalapa
8	Laura	49	CECOMU	Chiltoyac, Xalapa
9	Malva	56	CECOMU	Chiltoyac, Xalapa
10	Yuli	54	CECOMU	Chiltoyac, Xalapa

Fuente: *Elaborada por las autoras.*

Las participantes del estudio fueron diez mujeres integrantes de distintas agrupaciones comunitarias relacionadas con la agroecología y el cuidado ambiental. Sus edades oscilaron entre los 28 y los 66 años, lo cual permitió integrar perspectivas diversas que abarcaron tanto a mujeres jóvenes como a adultas mayores. La mayoría perteneció a la agrupación CECOMU, localizada en Chiltoyac, municipio Xalapa, mientras que otras formaron parte de Manos Mágicas, en Otilpan, San Andrés Tlalnahuayocan, y de iniciativas como Tlali Kuali y el Bosque Comestible Chantico, situadas en Coatepec y Xalapa.

Esta diversidad de procedencias, edades y trayectorias reflejó la pluralidad de experiencias existentes en torno al cuidado, la producción sustentable y la participación comunitaria. Tal como señalaron Batthyany y Arriagada (2020), los cuidados se resignificaron en lo colectivo, permitiendo vincular los saberes locales con procesos de resistencia social. Además, estudios recientes mostraron que la diversidad etaria en los grupos de mujeres fortaleció los procesos de transmisión intergeneracional de conocimientos agroecológicos y de prácticas de cuidado ambiental (Alvarado y Rodríguez, 2024).

De este modo, la caracterización sociodemográfica no solo proporcionó un panorama general de las participantes, sino que también se constituyó en un eje analítico para comprender la riqueza de experiencias, estrategias y formas de organización que sostuvieron la vida comunitaria y la sustentabilidad en la cuenca del río Actopan.

RESULTADOS

Del análisis de las entrevistas emergieron cuatro categorías principales y un conjunto de subcategorías que sistematizaron los discursos de las participantes en torno a la sustentabilidad, los cuidados y los conflictos socioambientales. Estas categorías sirvieron como guía para la interpretación de los hallazgos, permitiendo comprender cómo las mujeres de la cuenca del río Actopan construyeron significados y prácticas que articularon la vida cotidiana con la defensa del territorio y el cuidado de los bienes comunes.

Tabla 2. *Relación de categorías y subcategorías identificadas en el análisis.*

Categoría	Subcategoría
1. Creencias ambientales	1.1 Significado naturaleza
	1.2 Preocupación ambiental
	2.1 Manejo responsable del agua
	2.2 Energía solar
	2.3 Reutilización
2. Conducta proecológica	2.4 Separación de residuos
	2.5 Compostaje
	2.6 Uso de productos biodegradables
	2.7 Baño seco
	2.8 Estufas ahorradoras de leña
3. Cuidados	2.9 Generar menos residuos
	2.10 Diversidad del huerto
	2.11 Acciones agroecológicas
	3.1 Responsabilidad social
	3.2 Comunidad
4. Problemas socioambientales	3.3 Trabajo de cuidados
	3.4 Alimentación
	3.5 Sobrecarga
	3.6 Autocuidado
	3.7 Fuentes de ingreso solidarias
	3.8 Brindar bienestar
	4.1 Contaminación acuíferos
	4.2 Acaparamiento de bienes naturales
	4.3 Proyectos carreteros

Fuente: *Elaboración propia a partir de entrevistas (2024).*

Categoría 1. Creencias ambientales

Las participantes compartieron un conjunto de creencias que otorgaron sentido y legitimidad a sus saberes sobre la sustentabilidad. Concibieron la naturaleza como fuente de vida, cobijo y sustento, y expresaron una relación estrecha entre el entorno, la salud y el bienestar de la comunidad. En sus testimonios, los árboles, el agua y la vegetación fueron descritos como símbolos de frescura, equilibrio y protección, mientras que la contaminación fue percibida como una forma de enfermedad que afectaba no solo a los ecosistemas, sino también al cuerpo y la convivencia social.

Esta visión relacional coincidió con lo planteado por Cuadra *et al.* (2017), quienes argumentaron que la subjetividad ambiental determina la forma en que las personas definen su vínculo con el entorno. Las mujeres entrevistadas asociaron la pérdida de biodiversidad con la degradación moral y espiritual del territorio, mostrando cómo sus creencias trascendieron lo simbólico para orientarse hacia acciones concretas de cuidado. Estas representaciones reforzaron su identidad como guardianas del entorno y legitimaron sus prácticas cotidianas de protección y manejo responsable de los recursos naturales.

Categoría 2. Conducta proecológica

Las prácticas descritas por las entrevistadas evidenciaron un repertorio amplio de conductas proecológicas vinculadas con la sustentabilidad doméstica y comunitaria. Entre las más frecuentes se encontraron el manejo responsable del agua mediante la construcción de aljibes o la reducción del uso de drenajes; la reutilización de plásticos; la separación de residuos; la elaboración de composta y el uso de productos biodegradables. Estas prácticas se complementaron con innovaciones locales, como el uso de baños secos y estufas ahorradoras de leña, que disminuyeron el consumo de recursos y mejoraron la salud en los hogares.

Las mujeres también impulsaron la diversificación de los huertos familiares mediante la siembra de especies nativas y medicinales, con el fin de fortalecer la soberanía alimentaria y la biodiversidad local. En concordancia con Corral-Verdugo (2012), estas conductas trascendieron la lógica utilitaria y reflejaron motivaciones éticas y comunitarias. Las entrevistadas comprendieron que la sustentabilidad no se limitaba al ahorro económico, sino que implicaba una responsabilidad colectiva hacia las generaciones futuras y el equilibrio con la naturaleza. Asimismo, transmitieron estos valores a sus hijas, nietas y vecinas, configurando una pedagogía ambiental desde la práctica cotidiana.

Categoría 3. Cuidados

El cuidado se manifestó como un eje articulador de la vida comunitaria y como el principal principio organizador de las acciones colectivas. No se restringió al ámbito doméstico, sino que abarcó la organización de comedores colectivos, el apoyo mutuo en celebraciones locales, la venta solidaria en mercados agroecológicos y la transmisión de saberes alimentarios y medicinales entre generaciones. Estas prácticas visibilizaron la interdependencia social y la capacidad de agencia de las mujeres, quienes construyeron redes de sororidad y reciprocidad que fortalecieron el tejido social.

Las entrevistadas comprendieron el cuidado como un acto político y comunitario. El autocuidado fue asumido como una práctica de resistencia frente al desgaste físico y emocional derivado de la sobrecarga de tareas, mientras que el cuidado colectivo permitió sostener la vida en contextos de precariedad. Las mujeres crearon fuentes de ingreso solidarias basadas en la producción y venta de alimentos agroecológicos, el intercambio de semillas y el trueque de productos locales. En consonancia con Batthyany y Arriagada (2020), el cuidado se consolidó como un pilar de la sustentabilidad, al mantener tanto la reproducción de la vida como la cohesión social y el bienestar colectivo. En este contexto, las mujeres de la cuenca del río Actopan demostraron que cuidar de sí, de los otros y del entorno constituyó una misma práctica vital de resistencia y de preservación del mundo común.

Categoría 4. Problemas socioambientales

Las narrativas también revelaron los conflictos ambientales que afectaron a las comunidades de la cuenca. Las participantes recordaron con preocupación la contaminación de los ríos, la tala de encinos y la construcción de proyectos carreteros que modificaron los cauces de agua y deterioraron los suelos agrícolas. En sus relatos, estas transformaciones se evocaron con nostalgia —al comparar el estado actual de los ríos con los recuerdos de la infancia— y con indignación ante la falta de respuesta institucional a las denuncias comunitarias.

De acuerdo con Robbins (2012), los conflictos ambientales expresan relaciones de poder donde el despojo y la mercantilización del territorio profundizan desigualdades. Las mujeres percibieron que las decisiones sobre el uso del agua y la tierra se tomaron sin considerar su participación, generando un sentimiento de exclusión y vulnerabilidad. Sin embargo, frente a estas problemáticas, las

entrevistadas desplegaron estrategias de defensa territorial basadas en el cuidado colectivo, la educación ambiental y la memoria histórica. Su participación en asambleas y movimientos locales constituyó una forma de resistencia frente a los procesos de desposesión, y su liderazgo comunitario se convirtió en un elemento clave para sostener la organización social y preservar los bienes comunes.

Los resultados mostraron que las mujeres de la cuenca del río Actopan articularon creencias, prácticas y resistencias que integraron dimensiones ambientales, sociales y económicas de la sustentabilidad. Sus convicciones ecológicas orientaron acciones coherentes con valores de cuidado y solidaridad, mientras que el autocuidado y el trabajo colectivo fortalecieron la cohesión comunitaria y el bienestar compartido.

En conjunto, los hallazgos evidenciaron su papel central en la construcción de alternativas sostenibles y en la defensa del territorio, al sostener la vida y el tejido social mediante vínculos de reciprocidad, afecto y responsabilidad con la naturaleza.

DISCUSIÓN

Los hallazgos revelan que las prácticas de las mujeres en la cuenca del Actopan entretienen el cuidado de la vida con la organización comunitaria. Bajo la perspectiva ecofeminista y de los cuidados, estas experiencias adquieren un valor político y ético al poner en evidencia cómo las tareas históricamente invisibilizadas sostienen no solo a las familias, sino también al entramado social y ecológico. En este sentido, las creencias y saberes de las mujeres constituyen una fuente de resiliencia frente a la crisis socioambiental, al tiempo que ofrecen claves para repensar la sustentabilidad desde lo comunitario.

De igual modo, se articulan con aportaciones recientes que destacan el papel de las mujeres en la construcción de sociedades más justas y, interdependientes y cooperativas. Estudios latinoamericanos han señalado cómo los cuidados y la sustentabilidad se entrelazan en experiencias colectivas que resignifican el trabajo comunitario y ambiental (Batthyany y Arriagada, 2020; Casados y Moreno, 2022; Porto *et al.*, 2022). De manera particular, investigaciones recientes enfatizan la relevancia de incorporar perspectivas ecofeministas y de género en los análisis de la sustentabilidad, no solo para visibilizar la carga diferenciada de las mujeres en el cuidado socioambiental, sino también para reconocer su liderazgo en procesos de cambio (Johansson, 2021; Blecker, 2022; Harcourt, 2023; Bonavitta, 2024).

Trabajos desarrollados en México y América Latina muestran que la participación de mujeres rurales en prácticas agroecológicas constituye una estrategia para enfrentar la crisis climática, la precarización de la vida y las contingencias sanitarias (Alvarado y Rodríguez, 2024; Narave y Rodríguez, 2025). Estos hallazgos dialogan directamente con las narrativas recogidas en el río Actopan, donde las entrevistadas expresan cómo el cuidado de huertos, familias y comunidades constituye no solo una práctica económica, sino también una forma de resistencia y sustentabilidad de la vida.

Asimismo, la literatura internacional ha ampliado la discusión sobre cómo el cuidado, la ética feminista y la resiliencia social aportan claves para comprender la interdependencia entre sustentabilidad y equidad (Allison, 2023; Narayanaswamy, 2023; Gregoratti, 2024; Wonde, 2024; Rahmania, 2025). Además, otros estudios han evidenciado la necesidad de transformar los sistemas de cuidados a nivel global como condición para lograr sociedades más equitativas y sustentables (ONU Mujeres, 2022; ONU, 2024b; Oxfam Intermón, 2025), así como la importancia de generar indicadores sobre la representación de las mujeres en la investigación en sustentabilidad (Barreiro-Gen, 2022; Staffa, Riechers y Martín-López, 2022).

Desde la visión ecofeminista de Vandana Shiva (1995), la recuperación del principio femenino constituye una alternativa para enfrentar los modelos patriarcales y su violencia estructural de “mal desarrollo” y transformarlos en proyectos políticos y ecológicos que legitiman la vida y la diversidad. De modo similar, Tardón Vigil (2011) visibiliza el vínculo entre mujer y naturaleza a través de la economía de subsistencia frente a la lógica de mercado. Años después, Herrero (2015) subraya que el ecofeminismo aporta claves para modificar concepciones culturales y promover pautas de cooperación y cuidado.

La articulación entre ecofeminismo y ética del cuidado permite comprender mejor las creencias, narrativas y prácticas de las mujeres entrevistadas. El ecofeminismo ayuda a interpretar cómo sus experiencias en el huerto y en los mercados agroecológicos trascienden la producción material para convertirse en actos políticos que confrontan la lógica del mercado y sostienen la vida comunitaria (Shiva, 1995; Herrero, 2015; Fernández y Rodríguez, 2025). En paralelo, la ética del cuidado, planteada por Tronto (1993) y ampliada en debates contemporáneos (Harcourt, 2023; Rahmania, 2025), ilumina la forma en que las entrevistadas entienden el cuidado no solo como una práctica doméstica, sino como una responsabilidad compartida que implica justicia y reconocimiento. Así, las creencias que dan sentido y legitiman sus saberes sobre la sustentabilidad y las prácticas relacionadas no se limitan a las dimensiones social, ambiental y económica, sino que incorporan una dimensión ética que redirige decisiones cotidianas y colectivas. Esta perspectiva abre la posibilidad de proyectar las voces de las mujeres hacia el diseño de políticas públicas sensibles al cuidado, que reconozcan sus aportes a la sustentabilidad y fortalezcan el tejido comunitario y la construcción del bienestar colectivo.

En conjunto, estas ideas muestran que las prácticas de cuidado y sustentabilidad desarrolladas por las mujeres de la cuenca del río Actopan no solo tienen un impacto ambiental directo, sino que también se inscriben en un marco más amplio de justicia social y equidad de género. Al contrastar estas experiencias con la literatura reciente, se observa que su participación en huertos, mercados agroecológicos y redes comunitarias responde a dinámicas globales que colocan el cuidado en el centro de la sustentabilidad (ONU, 2024a; Fernández y Rodríguez, 2025; Oxfam Intermón, 2025). Así, se confirma que el cuidado socioambiental ejercido por las mujeres constituye una estrategia clave para afrontar la crisis ecológica contemporánea y construir sociedades más cooperativas y justas.

CONCLUSIONES

La integración de la teoría ecofeminista y de los cuidados permitió comprender que las aportaciones de las mujeres a la sustentabilidad trascienden el plano instrumental y constituyen marcos de conocimiento situados que cuestionan las estructuras de dominación social, económica y ambiental. Teóricamente, este estudio aportó conocimientos al vincular la noción de cuidado con la defensa de los bienes comunes, ofreciendo así una base para reinterpretar la sustentabilidad como una red de interdependencias afectivas, éticas y materiales. Este enfoque amplió la comprensión del concepto, al situarlo más allá de los modelos tecnocráticos y al proponerlo como una forma de sostenimiento de la vida en comunidad.

En el plano práctico, los resultados generaron evidencia empírica sobre las formas en que las mujeres rurales articulan estrategias locales de gestión ambiental, economía solidaria y transmisión de saberes, proponiendo modelos comunitarios replicables. Las acciones observadas —como la diversificación de cultivos, el manejo ecológico del agua y la reutilización de materiales— mostraron que la sustentabilidad se concretó en prácticas relacionales que fortalecieron la autonomía, la cohesión social y la resiliencia colectiva.

Las creencias ambientales identificadas funcionaron como sustento de dichas prácticas, al configurar una cosmovisión en la que la vida humana se entendió como parte de un entramado interdependiente con la naturaleza. Desde esta mirada, la separación de residuos, la elaboración de composta o el uso de tecnologías apropiadas no respondieron solo a motivaciones económicas, sino a una conciencia ecológica y comunitaria, guiada por valores de justicia ambiental. Este hallazgo teórico-práctico permitió comprender cómo la ética del cuidado trasciende lo doméstico y se transforma en compromiso político con la vida comunitaria, fundamento clave para diseñar políticas públicas inclusivas que reconozcan sus aportes.

En este contexto, los espacios colectivos y los mercados agroecológicos se identificaron como ámbitos prácticos de apoyo, sororidad y transmisión intergeneracional de saberes. En ellos, las mujeres construyeron sentido de pertenencia y agencia política, consolidando la sustentabilidad desde abajo mediante redes de cooperación y confianza. Estos resultados aportaron conocimiento práctico útil para el diseño de programas participativos de gestión ambiental y fortalecimiento comunitario, orientados por principios de equidad de género y justicia ecológica.

No obstante, las problemáticas de exclusión, invisibilización y despojo que aún enfrentan demostraron la urgencia de marcos normativos y políticas públicas que reconozcan el papel de las mujeres como sujetas de conocimiento y transformación. Su experiencia confirmó que los procesos de sustentabilidad más sólidos emergen de prácticas colectivas que integran cuidado, reciprocidad y memoria territorial. En consecuencia, este estudio contribuyó tanto a la ampliación conceptual del vínculo entre género y sustentabilidad (aporte teórico), como a la generación de herramientas metodológicas y comunitarias para valorar los saberes locales (aporte práctico) como formas legítimas de producción de conocimiento.

Queremos cerrar afirmando que las mujeres, a través de sus saberes y prácticas cotidianas, transitan entre escenarios de luces y sombras, de cuidado y abandono, transformando la adversidad en posibilidades de regeneración personal, comunitaria y ambiental. Su capacidad de dar continuidad a la vida en medio de contextos adversos muestra que la sustentabilidad no se limita a la preservación de recursos, sino que implica la afirmación de la esperanza y la creación de mundos posibles hoy, a pesar de que pueda parecernos lo contrario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. (2013). *El Buen Vivir: Sumak Kawsay, una oportunidad para imaginar otros mundos*. Icaria Editorial.
- Allison, E. (2023). Collective responsibility and environmental caretaking. *Ecology and Society*, 28(1), Article 10. <https://doi.org/10.5751/ES-14914-280110>
- Alvarado, O. L. y Rodríguez, A. (2024). Alimentación y género en pandemia: El caso de mujeres rurales en México. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 2(1), 97-109. <https://doi.org/10.24836/es.v2i1.1576>
- Barreiro-Gen, M. (2022). Women in sustainability research: Examining gender representation. *Frontiers in Sustainability*, 3, Article 959438. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.959438>
- Batthyany, K. y Arriagada Acuña, I. (2020). *Miradas latinoamericanas a los cuidados*. CLACSO & Siglo XXI.

- Blecker, R. A. (2022). Feminist perspectives on care and macroeconomic policy. *Feminist Economics*, 28(3), 45-74. <https://doi.org/10.1080/13545701.2022.2085880>
- Bonavitta, P. (2024). La igualdad de género y los objetivos de desarrollo sostenibles. *Revista Iberoamericana de Estudios en Desarrollo*, 3(2), 55-72. <https://doi.org/10.35622/j.ried.2024.02.004>
- Cantú-Martínez, P. C. (2017). Sustentabilidad social: Un acercamiento sociolaboral y de ciudadanía a la mujer mexicana. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 13(1), 112-124.
- Casados, E. y Moreno, V. (2022). Redes de cuidados en medio de la violencia y precarización contra mujeres en Veracruz. *Argumentos*, 1(97), 103-119. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202297-05>
- Casas, M. L. (2008). Introducción a la metodología de la investigación en bioética: sugerencias para el desarrollo de un protocolo de investigación cualitativa. *Acta Bioethica*, 14(1), 97-105. <https://doi.org/10.4067/S1726-569X2008000100013>
- Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común (Informe Brundtland)*. Oxford University Press.
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y técnicas de investigación social*. McGraw-Hill Interamericana.
- Corral-Verdugo, V. (2012). *Sustentabilidad y psicología positiva: Una visión optimista de las conductas proambientales y prosociales*. El Manual Moderno.
- Cuadra, D., Véliz, D., Sandoval, J. y Castro, P. J. (2017). Aportes a la economía ecológica: Una revisión de estudios latinoamericanos sobre subjetividades medioambientales. *Psicoperspectivas*, 16(2), 156-169. <https://doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol16-issue2-fulltext-970>
- Fernández, E. y Rodríguez, A. (2025). Mujeres y medio ambiente: Redes de cuidado para la sustentabilidad. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 7(12), 136-155. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14632561>
- Gaard, G. (2022). *Critical ecofeminism*. Rowman & Littlefield.
- Gobierno de México. (2018). *Diferencia entre sustentable y sostenible*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/diferencia-entre-sustentable-y-sostenible>
- Gregoratti, C. (2024). Resilience: Why should we think with care? *Geography and Sustainability*, 3(3), 470-480. <https://doi.org/10.1002/gscj.12470>
- Gudynas, E. (2011). *Buen Vivir: Germinando alternativas al desarrollo. América Latina en Movimiento*, (462), 1–20. Fundación Regional de Asesoría en Derechos Humanos.
- Harcourt, W. (2023). The ethics and politics of care: Reshaping economic policy. *Development and Change*, 54(2), 327-349. <https://doi.org/10.1080/09538259.2023.2241395>

- Hawkes, S. (2025). Achieving gender justice for global health equity. *The Lancet*, 406(10315), 37-39. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)00488-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)00488-X)
- Herrero, Y. (2015). *Apuntes introductorios sobre el Ecofeminismo*. Boletín de Recursos de Información, 43, 12-20. Centro de Documentación Hegoa. <https://addi.ehu.es/handle/10810/21024>
- Johansson, J. (2021). Exploring caring leadership through a feminist ethic of care. *Leadership*, 17(5), 553-572. <https://doi.org/10.1177/1742715020987092>
- Mellor, M. (1997). *Feminism & Ecology*. NYU Press.
- Mies, M. y Shiva, V. (1993). *Ecofeminism*. Zed Books.
- Moore, J. W. (2011). Ecology, capital, and the nature of our times. *Journal of World-Systems Research*, 17(1), 108-147. <https://doi.org/10.5195/jwsr.2011.432>
- Naciones Unidas Mujeres. (2022). *Un plan feminista por la sostenibilidad y la justicia social*. <https://www.unwomen.org/es/digital-library/publications/2022/09/un-plan-feminista>
- Naciones Unidas. (2024a). *Informe de los ODS 2022*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022>
- Naciones Unidas. (2024b). *Transformar los sistemas de cuidados*. <https://acortar.link/mpvgnb>
- Narave, A. y Rodríguez, A. (2025). Feminization of socio-environmental care and women's mental burden. *ECiencia*, 2(13), 180-195. <https://doi.org/10.71022/d9zpxo14>
- Narayanaswamy, L. (2023). Why a feminist ethics of care and socio-ecological justice are necessary to understand water (in)security. *Frontiers in Human Dynamics*, 5, 1212188. <https://doi.org/10.3389/fhumd.2023.1212188>
- Oxfam Intermón. (2025). *La desigualdad en el cuidado de los hijos continúa*. <https://acortar.link/XxEIsO>
- Pereyra, D., Pérez, J. A. A. y Salas Ortega, M. D. R. (2010). *Hidrología*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez-Quezadas, J., Cortés-Silva, A., Salas-Ortega, M. D. R., Araguás-Araguás, L., Morales-Puente, P. y Carrillo-Chávez, A. (2017). Evidencias hidrogeoquímicas e isotópicas sobre el origen del agua subterránea en la cuenca hidrográfica Río Actopan, Estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(1), 25-37. <https://acortar.link/ZPI66H>
- Porto, N., de la Vega, P. y Cerimelo, M. (2022). Going green: Estimating the potential of green jobs in Argentina. *Sustainability*, 14(12), 7553. <https://doi.org/10.3390/su14127553>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>

- Quecedo, R. y Castaño, C. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*, 14, 5-39. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402>
- Rahmania, T. (2025). Integrating gender equality and environmental stewardship in Indonesia. *Environmental Policy and Governance*, 35(1), 47-59. <https://doi.org/10.1002/eet.2325>
- Robbins, P. (2012). *Political ecology: A critical introduction to geography* (2ª ed.). Wiley-Blackwell.
- Rodríguez, A. y Pacheco, D. (2025). Género y logro académico: Más allá de los estereotipos. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 12(3), 1-23. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v12i3.1234>
- Sánchez, M. G. A. (2018). Protestas socioambientales e inseguridad en el estado de Veracruz: 2010–2016. *Contraste Regional*, 6(11), 51-74. <https://acortar.link/QxwVbS>
- Shiva, V. (1995). *Abrazar la vida: Mujer, ecología y desarrollo*. Horas y Horas. <http://www.cccbxaman.org/pobreza/shiva.htm>
- Shiva, V. (2005). *Earth Democracy: Justice, Sustainability, and Peace*. South End Press.
- Staffa, R. K., Riechers, M. y Martín-López, B. (2022). A feminist ethos for caring knowledge production in transdisciplinary sustainability science. *Sustainability Science*, 17(2), 607-619. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01064-0>
- Tardón Vigil, M. (2011). Ecofeminismo: Una reivindicación de la mujer y la naturaleza. *El Futuro del Pasado*, 2, 533-542. <https://acortar.link/mbCt0z>
- Tronto, J. (2013). *Caring Democracy: Markets, Equality, and Justice*. NYU Press.
- Tronto, J. C. (1993). *Moral boundaries: A political argument for an ethic of care*. Routledge.
- Wonde, T. E. (2024). Editorial: Towards 2030: A women empowerment perspective on achieving sustainable development goal 5: gender equality. *Frontiers in Global Women's Health*, 5, Article 1440832. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2024.1440832>

AGRADECIMIENTOS

A las mujeres entrevistadas y a sus agrupaciones por el apoyo siempre.



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Reflexiones sobre el enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad.

Reflections on the article ecosystemic approach in education for biodiversity conservation.

Reflexões sobre o artigo enfoque ecosistêmico na educação para a conservação da biodiversidade.

Gladimir Valle Rodríguez

Universidad de Sancti Spíritus

José Martí Pérez, Cuba

gvalle@uniss.edu.cu

Artículo de reflexión o ensayo

Enviado: 24/9/2024

Aprobado: 12/7/2025

Publicado: 21/7/2025

RESUMEN

La pérdida de la biodiversidad demanda de un profesional que desde su formación integral participe con responsabilidad en su conservación; por lo que el objetivo de este ensayo fue socializar reflexiones teóricas sobre la aplicación del enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad, resultado de la tesis doctoral "La educación para la conservación de la biodiversidad en las prácticas de campo, Licenciatura en Educación. Biología; asumiendo un enfoque metodológico mixto. El análisis permitió comprender y describir cualitativa y cuantitativamente el fenómeno objeto de estudio. Como conclusiones se destaca que el enfoque ecosistémico facilita la comprensión integral de los procesos y las relaciones e interacciones de dependencia que se establecen entre los componentes de la biodiversidad, de esta con los elementos abióticos y el resto del ambiente. Asimismo, se destaca la participación de los estudiantes en la resolución y transformación de los problemas ambientales y su autorreconocimiento como elemento biopsicosocial de los ecosistemas, lo que favorece la conservación de la biodiversidad en el contexto local como contribución al desarrollo sostenible.

Palabras clave: ambiente, bienes y servicios ecosistémicos, desarrollo sostenible, formación integral, recursos naturales

ABSTRACT

The loss of biodiversity demands that professionals participate responsibly in its conservation through their comprehensive training. Therefore, the objective of this essay was to share theoretical reflections on the application of the ecosystem approach in biodiversity conservation education, the result of the doctoral thesis "Education for Biodiversity Conservation in Field Practices," Bachelor of Education, Biology, adopting a mixed methodological approach. The analysis allowed for a qualitative and quantitative understanding and description of the phenomenon under study. The conclusions highlighted that the ecosystem approach facilitates a comprehensive understanding of the processes, relationships, and interactions of dependency established among the components of biodiversity, as well as among abiotic elements and the rest of the environment. Likewise, the participation of students in the resolution and transformation of environmental problems and their self-recognition as a biopsychosocial element of ecosystems is highlighted, which favors the conservation of biodiversity in the local context as a contribution to sustainable development.

Keywords: comprehensive training, ecosystem goods and services, environment, natural resources, sustainable development

RESUMO

A perda de biodiversidade exige que os profissionais participem de forma responsável de sua conservação por meio de sua formação integral. Portanto, o objetivo deste ensaio foi compartilhar reflexões teóricas sobre a aplicação da abordagem ecossistêmica na educação para a conservação da biodiversidade, fruto da tese de doutorado "Educação para a Conservação da Biodiversidade em Práticas de Campo", Bacharelado em Educação, Biologia; adotando uma abordagem metodológica mista. A análise permitiu uma compreensão e descrição qualitativa e quantitativa do fenômeno em estudo. As conclusões destacaram que a abordagem ecossistêmica facilita uma compreensão abrangente dos processos, relações e interações de dependência que se estabelecem entre os componentes da biodiversidade, bem como entre os elementos abióticos e o restante do ambiente. Da mesma forma, destaca-se a participação dos estudantes na resolução e transformação dos problemas ambientais e seu autorreconhecimento como elemento biopsicossocial dos ecossistemas, o que favorece a conservação da biodiversidade no contexto local como contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: bens e serviços ecossistêmicos, desenvolvimento sustentável, formação abrangente, meio ambiente, recursos naturais

INTRODUCCIÓN

La pérdida de los componentes de la biodiversidad genera una crisis ecológica, económica y social a escala global, sin precedentes en la historia de la humanidad e imposible de superar a corto plazo. Al respecto, el Informe sobre Riesgos Globales 2024, del Foro Económico Mundial de Davos:

Identificó los cuatro riesgos más graves que enfrentaremos durante los próximos diez años, los cuales son: fenómenos meteorológicos extremos, cambios críticos en los sistemas terrestres, pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas y escasez de recursos naturales. La contaminación también figura entre los diez riesgos más severos (Fondo Mundial para la Naturaleza, 2024).

Si bien, la proyección presente y futura para disminuir la pérdida de la biodiversidad tiene su alcance en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023, se enuncia que la deforestación y la degradación forestal continúan siendo grandiosas amenazas en el mundo, unido a un riesgo de extinción de especies que se acelera por década desde 1993, el estanco significativo del aumento de la cobertura de zonas protegidas en zonas claves de biodiversidad y las tendencias de degradación de los suelos. En este contexto, en el cumplimiento del *objetivo de desarrollo sostenible* 15 Vida de ecosistemas terrestres: "Es esencial un cambio fundamental en la relación entre la humanidad y la naturaleza, junto con medidas aceleradas para abordar las causas profundas de estas crisis interconectadas y un mejor reconocimiento del enorme valor de la naturaleza" (Organización de las Naciones Unidas, 2023, p.42).

Específicamente, en Cuba, la pérdida de la biodiversidad y deterioro de los bienes y servicios ecosistémicos es identificada como un problema ambiental en la Estrategia Ambiental Nacional (2021-2025), unido a los efectos negativos del cambio climático. En consonancia, en las Proyecciones Tarea Vida 2021-2025, se advierte que: "Las condiciones de clima más seco y extremo se agravarán en el futuro, produciendo impactos trascendentales en el medio ambiente cubano" (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente [CITMA], 2021b, p. 9).

Ciertamente, los hechos y procesos asociados a la pérdida de la biodiversidad son resultado del desarrollo histórico-clasista; para tal efecto, el Ministerio de Educación Superior de Cuba tiene el compromiso de formar integralmente un profesional con un sistema de conocimiento que proporcione la apropiación y aplicación de las normas y bases teóricas conceptuales, que sustentan la conservación y uso sostenible de los componentes de la biodiversidad en el contexto local como respuesta de adaptación al cambio climático, fuente de financiamiento e incentivo económico- social para el desarrollo presente y futuro, además, de la conservación de los ecosistemas.

Por ello, en su Estrategia Ambiental (2021-2030), define una Estrategia Específica y Línea de Acción: “Formar profesionales competentes en el uso racional de los recursos naturales; conscientes de que la conservación de los ecosistemas constituye la base en la sostenibilidad del desarrollo” (Ministerio de Educación Superior de Cuba, 2021, p.4).

A lo largo de estos años, diversos autores han venido trabajando la educación para la conservación de la biodiversidad, ejemplo internacional, los trabajos de Barahona y Almeida (2005), Iribarren *et al.* (2013), De la Cruz y Del Socorro (2020), Castillo (2024). En Cuba, fundamentos teóricos importantes, las investigaciones de Guerra y Hernández (2016), García (2022), Valle (2023); lo que ha significado un reconocimiento a la enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes hacia la conservación de los componentes de la biodiversidad.

No obstante, la educación para la conservación de la biodiversidad hoy necesita ser concebida con un enfoque ecosistémico, orientada a la formación integral de un profesional, que como componente central del ecosistema y su diversidad cultural, participe en la gestión de estudios integrales y contextualizados a los escenarios climáticos, impactos y vulnerabilidades de la biodiversidad local desde la Ciencia, Tecnología e Innovación, alcanzando modos de actuación y responsabilidad en la prevención, resolución y transformación de los problemas ambientales con prioridad en el cambio climático, unido a su participación en el diseño e implementación de acciones de Adaptación basada en Ecosistemas y Adaptación basada en Comunidades, como vías para disminuir la vulnerabilidad al cambio climático, aumentar la resiliencia y la capacidad adaptativa.

El análisis integral de la relación y dependencia entre los componentes de la biodiversidad, y de estos con el resto de los recursos naturales, es indispensable para alcanzar la sostenibilidad del desarrollo económico y social a escala local. Por ello, fue objetivo de este ensayo: socializar reflexiones teóricas sobre la aplicación del enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad.

DESARROLLO

La investigación se desarrolló en las Prácticas de Campo de la carrera Licenciatura en Educación Biología en la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. En este contexto la educación para la conservación de la biodiversidad es concebida como:

Proceso educativo y permanente que desde el vínculo teoría-práctica y con enfoque ecosistémico, constituye una dimensión de la educación ambiental dirigida a la formación integral de un ciudadano con pensamiento crítico y analítico, conciencia ética y actitudes hacia la percepción, prevención y transformación de las problemáticas que actúan sobre los componentes de la biodiversidad, alcanzando su participación en la conservación, uso equitativo y desarrollo sostenible de las funciones ecológicas y del bienestar económico, político y social de las presentes y futuras generaciones (Valle, 2023, p.33).

¿Por qué un enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad?

Uno de los conceptos más relevantes del Convenio de la Diversidad Biológica es “enfoque ecosistémico”. Como refiere la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2004):

El enfoque por ecosistemas es una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y la utilización sostenible de una forma equitativa. Se basa en la aplicación de metodologías científicas apropiadas que se concentran en niveles de organización biológica que abarcan los procesos esenciales, las funciones e interacciones entre los organismos y su medio ambiente. Reconoce que los seres humanos, con su diversidad cultural, son un componente integral de los ecosistemas... (p.1).

La expresión “enfoque ecosistémico” fue refrendada en mayo de 2000, en la Quinta Reunión de la Conferencia de las Partes. Constituye el marco principal del Secretario del Convenio sobre la Diversidad Biológica para la acción y el logro de sus tres objetivos: la conservación, el uso sostenible y la distribución justa y equitativa de los bienes y servicios de la biodiversidad. No obstante, en la búsqueda de antecedentes y fundamentos teóricos se aprecian carencias en su aplicación desde las prácticas de campo en la carrera Licenciatura en Educación Biología.

Es decir, el carácter integrador, interdisciplinario y teórico-práctico de las prácticas de campo generalmente desarrolla en el estudiante un enfoque biologicista y no ecosistémico, que integre el estudio de la interacción y dependencia de los procesos, fenómenos y hechos asociados a los niveles de la biodiversidad con el sistema de recursos naturales y el resto del ambiente¹, la conservación y sostenibilidad de los procesos ecológicos, económicos y sociales a nivel local, como vía de adaptación y resiliencia ante el cambio climático.

Es conveniente señalar, que la aplicación del término “enfoque ecosistémico” depende de los intereses e interpretaciones que se tiene, por ejemplo, autores como Yáñez *et al.* (2022), concuerdan en que su esencia está en la gestión integrada, conservación y uso sostenible de los recursos naturales en beneficio del ser humano y de los subsistemas biótico y abiótico.

Expresado lo anterior, es necesario reflexionar sobre **ideas básicas** que confirman la importancia del enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad.

El enfoque ecosistémico, no se circunscribe al estudio de las especies como tiende a realizarse. Sustentado en el *principio de la integridad biológica*, facilita una mejor comprensión científica de la unidad y diversidad del mundo vivo, y de la relación mutua e integración entre las partes y como un todo de la estructura-función, interacciones y dinámica de los componentes de la biodiversidad. Análogo su dependencia e interacción con el sistema de recursos naturales, procesos sociales y económicos de la localidad.

Cabe destacar, el *análisis de la evolución biológica*, pues la biodiversidad y su alto endemismo son resultados de la evolución. Equivalente, el enfoque relacional de que todo fenómeno, incluidos los relacionados con el desarrollo se desenvuelven dentro de las relaciones sociales, es decir, el doble carácter biológico y social del hombre como resultado de la evolución ha traído beneficios y perjuicios en la sostenibilidad de los componentes de la biodiversidad, que hoy limitan el funcionamiento de los ecosistemas, y por ende, el suministro de bienes y servicios ecosistémicos, base del desarrollo económico y social a nivel local y global.

¹ “Complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (Puerta, 2022, p.5).

Habría que mencionar, el *fomento de una educación bioética* sostenida desde los propios valores asociados a la biodiversidad, para incentivar el conocimiento, participación y responsabilidad ciudadana en el cumplimiento de las políticas e instrumentos jurídicos para el control del uso racional de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas como base del desarrollo económico-social local.

Por ejemplo, apreciar la belleza y diversidad en colores, tamaños y formas de especies como las autóctonas, silvestres, raras, endémicas exclusivas, emblemáticas, migratorias, endémicas, carismáticas y atractivas; observar la diversidad en los ecosistemas atractivos, únicos y bien conservados e interactuar directamente con los paisajes y valores histórico-culturales del patrimonio natural y cultural de la localidad. Conocer los saberes y tradiciones asociados a la biodiversidad, como herencia cultural, convierte el valor estético de la biodiversidad en fuente de valores humanísticos, espirituales, psicológicos y morales en lo individual y social.

Significativo, el análisis de los valores económicos directos e indirectos de la biodiversidad en el desarrollo de la laboriosidad y la responsabilidad, para ello, es necesario incorporar en la gestión integrada de los procesos del conocimiento la búsqueda de alternativas y la formulación de métodos de gestión orientados a la percepción de conservación y uso sostenible de los componentes de la biodiversidad desde una valoración de consumo, valor económico de los bienes y servicios ecosistémicos, su contribución a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico local.

El valor económico de la biodiversidad impulsa el uso de la medicina natural para suplir el déficit de medicamentos, el fomento de la producción sostenible de las especies etnobotánicas y su contribución al desarrollo local, la Producción Más Limpia, la promoción de la economía circular, la creación de valor añadido a los recursos endógenos, la regularización de un comercio justo e incentivos económicos, más el aseguramiento de la sostenibilidad financiera del desarrollo local, la conservación de los ecosistemas y la respuesta de adaptación a los efectos del cambio climático.

Cabe destacar en el valor científico de la biodiversidad la realización de miradas críticas a los beneficios y riesgos del acceso a los recursos genéticos y la producción de alimentos transgénicos, el impacto de la tecnología e innovación en el alcance de la seguridad alimentaria sostenible, la aplicación de la biotecnología en la generación de medicamentos para uso humano y animal, además del alcance del enfoque: “Una Salud en atención a garantizar un medio ambiente sano” según la Ley del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente de la República de Cuba (Asamblea Nacional del Poder Popular, 2022).

Las afirmaciones anteriores sugieren que el sistema de contenidos para alcanzar el enfoque ecosistémico no se limita a las disciplinas biológicas; es decir, desde la interdisciplinariedad el profesor asegura su integración y transversalización a todas las formas que emplean las distintas disciplinas del currículo de formación: sociales, económicas, humanísticas, exactas, naturales; también a las estrategias curriculares y componentes de formación académico, laboral, investigativo y extensionista.

Así, se comprende integralmente la complejidad y evolución de los problemas ambientales², causas³ y consecuencias. Por ejemplo, impactos del cambio climático en los hábitats, áreas de reproducción, descanso, refugio y alimentación de las especies de especial significación por su condición de endémica o que presentan algún tipo de amenaza según la Lista Roja de Especies de la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza y del CITMA de Cuba. A la par, el impacto en la abundancia, representatividad y composición de las poblaciones de especies silvestres con altos valores ecológicos, sociales y económicos.

Complemento a lo expresado, se deben considerar además el impacto de los factores antrópicos (socioeconómicos y del desarrollo científico y tecnológico) en los grupos taxonómicos y en funciones vitales como la nutrición y respiración celular, el transporte y la excreción. Igualmente, en los procesos fotosintéticos y ciclos de nutrientes, en la estabilidad dinámica, estructura y funcionamiento integral de los ecosistemas y su capacidad para la producción de bienes y servicios ecosistémicos que la sociedad necesita para su bienestar y desarrollo.

Lo dicho hasta aquí, confirma la esencia del enfoque ecosistémico en la formación holística y concientización del individuo en el auto reconocimiento como un componente central de los ecosistemas y con su diversidad cultural; entendiendo que la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad es la base de la seguridad alimentaria e hídrica local, el alivio de la pobreza, el alcance de la salud, la educación, la vivienda y la población, es decir, el alcance de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, entendido este como:

Un proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones (Puerta, 2022, p.5).

De los análisis anteriores se desprende la apremiante relación teoría –práctica y la vinculación directa del estudiante en áreas in situ, para concretar su participación en acciones como la prevención, enfrentamiento, resolución y transformación de los problemas ambientales, el manejo y gestión en la conservación de la cobertura forestal de áreas protegidas o in situ, el control y manejo de Especies Exóticas e Invasoras en el ecosistema, labores de reforestación y rehabilitación, la recuperación de bosques de manglar declarados como vulnerables ante eventos climáticos extremos.

Simultáneamente se debe prestar especial atención a la participación de los estudiantes en la confección de micro viveros y plantación de posturas de especies productivas y variantes resistentes a los efectos negativos del cambio climático y con altos valores económicos; al desarrollo de estudios relacionados con la aplicación de los principios de la agroecología, promoviendo la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer, la resiliencia del ecosistema, la identificación de áreas de bosques degradados y suelos afectados por procesos erosivos, la investigaciones en asentamientos humanos de peligros, vulnerabilidades y riesgos, el análisis de epífitas, epizootias y epidemias, la

² *“Pérdida de la diversidad biológica, la degradación de las tierras, la contaminación ambiental, el calentamiento global, el incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales extremos” (Puerta, 2022, p.5). Mientras en la se mencionan a nivel nacional: “Degradación de los suelos, Afectaciones a la cobertura forestal, Contaminación, Pérdida de la diversidad biológica y deterioro de los bienes y servicios ecosistémicos, Carencia y dificultades con el manejo, la disponibilidad y calidad del agua, Efectos negativos del cambio climático, Deterioro de las condiciones higiénica sanitaria en los asentamientos humanos” (CITMA, 2021a).*

³ *“Distribución inequitativa de los recursos, patrones de producción y consumo insostenibles, falta de voluntad y compromiso político, falta de cultura ambiental” (Puerta, 2022, p.5).*

caracterización del estado y calidad de las aguas de los ecosistemas dulceacuícolas y marinos, los efectos adversos por las manifestaciones del cambio climático en el hábitat de las especies y la salud de las comunidades, en general.

CONCLUSIONES

La aplicación del enfoque ecosistémico en la educación para la conservación de la biodiversidad proporciona desde las prácticas de campo en la carrera Licenciatura en Educación Biología, la comprensión integral de los procesos, las relaciones e interacciones de dependencia que se establecen entre los componentes de la biodiversidad y de estos con el resto de los recursos naturales y los subsistemas económico y social del ambiente; asimismo, el análisis concatenado de los problemas ambientales, con prioridad en el cambio climático. Por otra parte, facilita en el profesional su auto reconocimiento como ser biopsicosocial, promoviendo su responsabilidad y participación en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, como vía de adaptación a los impactos del cambio climático, el desarrollo económico y social a escala local y la propia supervivencia en el planeta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional del Poder Popular. (2022). *Ley 150 del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente*. <https://shre.ink/x8VS>
- Barahona, A. y Almeida, L. (2005). *Educación para la conservación*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://acortar.link/jFOZfQ>
- Castillo, F. D. (2024). La importancia de la educación universitaria sobre la biodiversidad de Colombia: perspectivas desde la docencia y el desarrollo sostenible. *Cuadernos de Biodiversidad*, 66, 1-14. <https://acortar.link/EUBv2F>
- De la Cruz, L. y Del Socorro, N. (2020). El saber escolar en diversidad biológica en clave para resignificar su enseñanza. *Revista Praxis & Saber*, 11(27), e11167. <https://shre.ink/x8Vp>
- Fondo Mundial para la Naturaleza. (2024). *Declaración de WWF sobre el Informe de Riesgos Mundiales 2024 del Foro Económico Mundial*. <https://shre.ink/x8VT>
- García, O. (2022). Aportaciones de la excursión docente en la Biología octavo grado a la educación para la Conservación de la Biodiversidad. *Revista Angolana de Ciencias*, 4(1). <https://acortar.link/1eSLBq>
- Guerra, M. y Hernández, J. (2016). Significado de los saberes popular y artístico para educar en la conservación de la diversidad biológica. *Agrisost*, 22(1), 41-62. <https://acortar.link/4381lw>
- Iribarren, L., Josiowicz, R. y Bonan, L. (2013). Educación para la conservación: realización de campamentos científicos en una reserva ecológica. *Revista de Educación en Biología*, 16(2), 78-88. <https://acortar.link/8idnVM>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2021a). *Estrategia Ambiental Nacional*. <https://acortar.link/yC3tPG>

- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. (2021b). *Proyecciones TAREA VIDA 2021-2025*. <https://acortar.link/RJe3FU>
- Ministerio de Educación Superior. (2021). *Estrategia Ambiental (2021-2030)*. Dirección de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial*. <https://shre.ink/x8JY>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2004). *Enfoque por Ecosistemas*. <https://acortar.link/ifAyeV>
- Valle, G. (2023). *La educación para la conservación de la diversidad biológica en las prácticas de campo de la carrera Licenciatura en Educación. Biología*. [Tesis doctoral no publicada]. Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez
- Yáñez, E., Lang, C. Barbieri, M. A. y Andrade, D. C. (2022). Manejo de recursos acuáticos con enfoque ecosistémico: avances, brechas y perspectivas. *Revista Versión Diferente*, (34), 71-73. <https://acortar.link/vK4DiB>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Conocimiento y comportamiento ambiental de cañicultores como respuesta adaptativa al cambio climático en Junín, Manabí, Ecuador.

Environmental knowledge and behavior of cane growers as an adaptive response to climate change in Junín, Manabí, Ecuador.

Conhecimento e comportamento ambiental dos produtores de cana como resposta adaptativa às mudanças climáticas em Junín, Manabí, Equador.

Miguel Ángel Maldonado Loor

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador
miguel.maldonado@espam.edu.ec

María José Palma Cevallos, José Manuel Calderón Pincay, Eddy Gregorio Mendoza Loor

Artículo científico

Enviado: 4/8/2024
Aprobado: 24/3/2025
Publicado: 26/3/2025

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el sitio Agua Fría, cantón Junín, Manabí, Ecuador; la misma que tuvo como objetivo evaluar el conocimiento y comportamiento ambiental en productores de caña de azúcar como respuesta adaptativa al cambio climático durante el periodo 2024. Para la investigación se emplearon métodos de alcance descriptivo, no experimental, de campo, bibliográfico-documental, con enfoque mixto. De este modo, se diagnosticó el conocimiento y comportamiento ambiental inicial en los cañicultores, a través de una encuesta de ocho preguntas realizada a 25 productores. Posteriormente, se fortaleció el conocimiento y comportamiento ambiental a través de la estrategia *aprendiendo haciendo*, mediante talleres de capacitación con una duración de ocho semanas y una frecuencia semanal. Finalmente, se evaluó la incidencia de la estrategia ambiental mediante una prueba antes y después de las capacitaciones, evidenciándose que antes de las capacitaciones el 68% de los cañicultores obtuvieron calificaciones regulares (1,00 - 4,00 puntos); mientras que posterior a las capacitaciones su nivel de aprendizaje mejoró significativamente, alcanzando un 64% de calificaciones con criterio excelente y sobresaliente (8,01 - 10,00 puntos), aportando así a la mejora de la respuesta adaptativa al cambio climático de los cañicultores.

Palabras clave: caña de azúcar, educación ambiental, estrategia *aprendiendo haciendo*, productores

ABSTRACT

This research was conducted at the Agua Fría site, Junín canton, Manabí, Ecuador. The objective of this research was to evaluate the environmental knowledge and behavior of sugarcane producers as an adaptive response to climate change during the 2024 period. The research used descriptive, non-experimental, field, bibliographic-documentary methods with a mixed approach. Thus, the initial environmental knowledge and behavior of sugarcane growers was diagnosed through an eight-question survey conducted with 25 producers. Subsequently, environmental knowledge and behavior were strengthened through a learning-by-doing strategy, through eight-week, weekly training workshops. Finally, the impact of the environmental strategy was evaluated through a pre-and post-training test. It was evident that before the training, 68% of the sugarcane growers obtained

regular grades (1.00-4.00 points); While after the training, their learning level improved significantly, reaching 64% of grades with excellent and outstanding criteria (8.01 - 10.00 points), thus contributing to the improvement of the adaptive response to climate change of sugarcane growers.

Keywords: environmental education, *learning by doing* strategy, producers, sugar cane

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no sítio Agua Fría, cantão de Junín, Manabí, Equador; O mesmo objetivo foi avaliar o conhecimento e o comportamento ambiental dos produtores de cana-de-açúcar como resposta adaptativa às mudanças climáticas durante o período de 2024. Para a pesquisa, foram utilizados métodos descritivos, não experimentais, de campo, bibliográfico-documental, com abordagem mista. Dessa forma, foi realizado um diagnóstico do conhecimento ambiental inicial e do comportamento dos produtores de cana-de-açúcar por meio de uma pesquisa com oito perguntas aplicadas a 25 produtores. Posteriormente, o conhecimento e o comportamento ambiental foram fortalecidos por meio de uma estratégia de aprendizagem prática, com workshops de treinamento semanais de oito semanas. Por fim, o impacto da estratégia ambiental foi avaliado por meio de um teste antes e depois do treinamento, mostrando que antes do treinamento, 68% dos produtores de cana-de-açúcar obtiveram notas regulares (1,00 - 4,00 pontos); Já após o treinamento, o nível de aprendizagem melhorou significativamente, atingindo 64% de notas com critérios excelentes e excelentes (8,01 - 10,00 pontos), contribuindo assim para a melhoria da resposta adaptativa às mudanças climáticas dos produtores de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, educação ambiental, estratégia aprender fazendo, produtores

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un hecho irrefutable que afecta a sectores clave en la economía global, siendo la agricultura uno de los más vulnerables a sus consecuencias (Mussetta *et al.*, 2018). En el noroeste de Brasil, parte de la región Andina y Centroamérica el cambio climático afecta el rendimiento de los cultivos, las economías locales y compromete la seguridad alimentaria (Magrin, 2019). La problemática se agrava debido a la falta de conocimiento entre los agricultores sobre cómo enfrentar eficazmente los eventos climáticos extremos, sin que ello repercuta negativamente en la productividad de los cultivos (Nelson *et al.*, 2009).

La vulnerabilidad de Ecuador ante el cambio climático es alta, debido a su ubicación geográfica, la diversidad de los ecosistemas y su dependencia de sectores económicos sensibles al clima (Chávez y Burbano, 2021). La variabilidad climática se manifiesta en las características del territorio, lo que incluye la reducción de los glaciares en las montañas andinas, el incremento de las temperaturas, inundaciones, sequías, aumento del nivel del mar, efectos adversos en las actividades económicas y la biodiversidad (Vega *et al.*, 2020).

En Manabí, aunque los agricultores no tengan un conocimiento profundo respecto al cambio climático, saben que la provincia fluctúa entre dos tipos de situaciones climatológicas extremas: grandes y prolongadas sequías y esporádicos inviernos fuertes (Mendoza *et al.*, 2019). En este sentido, la producción de caña de azúcar es un ejemplo paradigmático de un cultivo que enfrenta desafíos derivados del cambio climático; puesto que de 1.369 ha sembradas de caña de azúcar a nivel provincial, 700 ha se encuentran en el cantón Junín, con una producción anual de 45.000 toneladas (Cartay *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista ambiental es prioritario fortalecer el conocimiento local enfocado a una acción por el clima que fortalezca la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados

con el clima y fenómenos naturales extremos, incorporando medidas relativas al cambio climático en las políticas y estrategias nacionales que mejoren la educación, la sensibilización y la capacidad humana como respuesta a la mitigación del cambio climático, la adaptación a él y la reducción de sus efectos (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

Sumado a lo anterior, la Constitución de la República de Ecuador (2008) estipula que el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación y la contaminación atmosférica, en las diversas formas de organización de los procesos de producción, estimulando una gestión participativa, transparente y eficiente, sujeta a normas de calidad, sostenibilidad, valoración del trabajo y eficiencia económica y social.

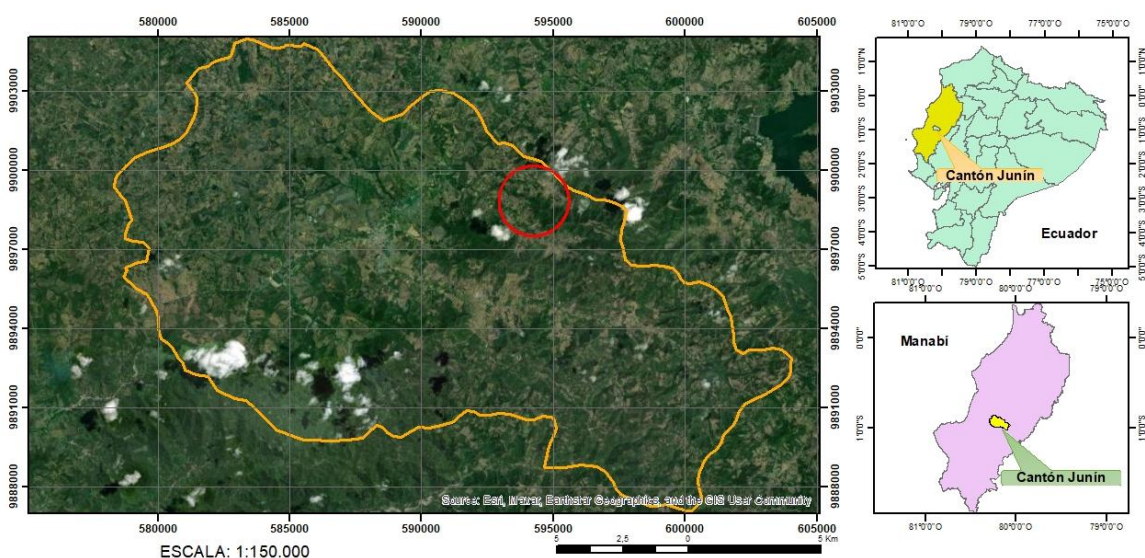
En este contexto, el conocimiento y comportamiento ambiental por parte de los agricultores de caña de azúcar de Junín contribuirá al fortalecimiento de las acciones preventivas frente a los eventos del cambio climático, con un enfoque eficiente y responsable para que la productividad de sus cultivos no se vea afectada ante las cambiantes condiciones climáticas.


La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el conocimiento y comportamiento ambiental en productores de caña de azúcar como respuesta adaptativa al cambio climático en el cantón Junín, provincia Manabí, Ecuador, durante el periodo 2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el cantón Junín (coordenada UTM 17 M: 588218,97 m Este y 9897437,08 m Sur, y una elevación aproximada de 50 m.s.n.m.), perteneciente a la provincia Manabí, tal como se visualiza en la figura 1. La población estimada es de 20.998 habitantes, con una superficie de 246,4 km² y una temperatura promedio que oscila entre los 25° y 29°C. Limita al Norte con el cantón Bolívar, al Sur con el cantón Portoviejo, al Este con el cantón Bolívar y al Oeste con el cantón Rocafuerte (Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, 2022). Sin embargo, la investigación se centró en el sitio llamado Agua Fría, puesto que allí se concentra la mayor población de cañicultores, con una producción anual de 45.000 toneladas, destinadas a la producción de panela, aguardiente y alfeñique.

Figura 1. Mapa de ubicación del sitio Agua Fría, cantón Junín.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ "MANUEL FÉLIX LÓPEZ"		
	CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL	
	TEMA:	
	CONOCIMIENTO Y COMPORTAMIENTO AMBIENTAL EN PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR COMO RESPUESTA ADAPTATIVA AL CAMBIO CLIMÁTICO EN JUNÍN, MANABÍ	
	ELABORADO POR:	
	MALDONADO LOOR MIGUEL PALMA CEVALLOS MARIA	
PROYECCIÓN		TUTOR:
UTM		MSC. JOSE MANUEL CALDERÓN
DATUM		
WSG 1984 ZONE 17 M		
ESCALA: INDICADA EN FORMATO A4		

LEYENDA

- Sitio Agua fría
- Cantón Junín

Fuente: *Elaborada por los autores.*

La investigación fue de carácter descriptiva (Guevara *et al.*, 2020), ya que se describieron el conocimiento y comportamiento ambiental que tuvieron los productores de caña de azúcar de Junín, antes y después de los talleres que se dieron en relación con el cambio climático y las posibles medidas para su prevención con el fin de minimizar el impacto de los eventos climáticos en la productividad de los cultivos.

Se analizó el conocimiento y comportamiento ambiental (Pérez, 2023) de los productores de caña de azúcar de Junín, como respuesta adaptativa al cambio climático sin la manipulación de las variables, basándose en técnicas de recopilación de información como la observación directa (Cajal, 2020 y Ortega, 2023) y encuesta (Torres *et al.*, 2020; Casas *et al.*, 2023 y Medina *et al.*, 2023). A partir de esto, se evaluó in situ el conocimiento ambiental de los productores de caña de azúcar de Junín con la finalidad de analizar su comportamiento frente al cambio climático (Arteaga, 2022); para ello se realizaron talleres de educación ambiental para evaluar sus conocimientos antes y después de las capacitaciones.

Por ende, se estudiaron los antecedentes, la problemática, la justificación, la metodología y las discusiones del tema de estudio, sustentando la investigación en datos, información y hallazgos precedentes sobre el conocimiento y comportamiento ambiental y el cambio climático (Valdés *et al.*, 2010; Zorrilla, 2021 y Martínez, 2023).

Diagnóstico del conocimiento y comportamiento ambiental inicial en los productores de caña de azúcar en Junín, Manabí, Ecuador.

La delimitación del área de estudio se llevó a cabo mediante una visita de campo, la cual permitió recopilar información detallada sobre las fincas dedicadas a la producción de caña de azúcar, cuyos productores estaban dispuestos a participar en la investigación; siendo esencial para establecer una relación directa con los actores para obtener información más profunda de las percepciones que estos poseen en diversos ámbitos (Sandoval *et al.*, 2022). Posterior a ello se empleó el Sistema de Posicionamiento Global, combinado con UTM Geo Maps, el cual proporcionó la localización geoespacial de cada área de estudio, permitiendo la ubicación más exacta de un punto en la superficie terrestre (Milanese *et al.*, 2022).

Se aplicó una encuesta de ocho preguntas a una muestra de cañicultores de Junín con el objetivo de evaluar el nivel de conocimiento inicial y final, dicho instrumento proporcionó una visión de las percepciones y experiencias para aplicar estrategias de mitigación y adaptación ante las variaciones climáticas (Vandana *et al.*, 2020). Posteriormente, se empleó una ficha de observación de 11 ítems para determinar el comportamiento ambiental post capacitaciones de los productores ante el cambio climático como el aumento de las temperaturas, las variaciones en las precipitaciones y la frecuencia de eventos climáticos extremos (Ortega, 2023).

No obstante, el tamaño de la población (N) fueron 25 cañicultores, por lo que se considera una población pequeña y no fue conveniente calcular el tamaño de la muestra (n) por no ser representativa estadísticamente, por ello se consideró la población total de cañicultores de Agua Fría

(Gómez, 2021), estableciéndose como una muestra intencionalmente escogida (Robles, 2019). En este sentido Reales *et al.* (2022) sostienen que el muestreo intencional es un método para seleccionar los individuos que forman parte de la muestra de un estudio estadístico, donde la principal característica es que se basa únicamente en el criterio del investigador para escoger la muestra del estudio.

Fortalecimiento del conocimiento y comportamiento ambiental de los productores de caña de azúcar como respuesta adaptativa al cambio climático en Junín, Manabí, Ecuador.

Para fortalecer el conocimiento y comportamiento de los productores dedicados al cultivo de caña de azúcar, se implementó la metodología conocida como *aprendiendo haciendo* introducida por John Dewey (1859-1952), en donde se integran la enseñanza y el aprendizaje a través de la práctica, la acción directa y la participación activa (Terrazas *et al.*, 2023). En este contexto los productores no solo adquirieron conocimientos teóricos, sino que también tuvieron la oportunidad de aplicar los conocimientos en sus actividades productivas diarias.

Las capacitaciones teóricas se llevaron a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por Alles (2019), la cual se centró en la implementación de actividades efectivas y eficaces para facilitar el aprendizaje. Bajo este criterio, se realizaron capacitaciones presenciales una vez por semana en un periodo de ocho semanas (durante dos meses) empleando la metodología práctica *aprendiendo haciendo*, para fortalecer las capacidades y habilidades de los productores con la finalidad de que aprendan a identificar y responder a los desafíos de las variaciones climáticas actuales, así se fortaleció el conocimiento y comportamiento ambiental en los productores de caña de azúcar como respuesta adaptativa al cambio climático.

Evaluación de la incidencia de la estrategia ambiental en los productores de caña de azúcar en Junín, Manabí, Ecuador.

Aprendiendo haciendo en su metodología define un hacer y una prueba (Terrazas *et al.*, 2023), por ende, se diseñó una prueba con la finalidad de evaluar la efectividad de la estrategia educativa aplicada a los cañicultores, la aplicación de la prueba evaluó el conocimiento y comportamiento adquirido por los productores y su capacidad para aplicar dicho conocimiento en la gestión de los desafíos climáticos extremos, garantizando así que no afecten la productividad de los cultivos.

Para comprender la evolución del conocimiento y comportamiento ambiental se realizó un análisis estadístico descriptivo en Microsoft Excel, el cual, de acuerdo con la metodología de Largo (2017) permite caracterizar un conjunto de datos en gráficos, figuras y tablas. Los resultados de este análisis proporcionaron una visión más detallada de la evolución del conocimiento y comportamiento ambiental en los productores de caña de azúcar durante el periodo de estudio.

Así mismo, se realizó un análisis comparativo entre la prueba antes y después de las capacitaciones impartidas por los investigadores, considerando una escala cuantitativa y cualitativa adaptada a la estrategia de educación ambiental *aprendiendo haciendo*, donde se obtuvo una calificación del conocimiento y comportamiento ambiental de los cañicultores a través de las metodologías propuestas por González (2021) y Giani (2022) que se resumen en la *tabla 1*.

Tabla 1. *Escalas cuantitativa y cualitativa de calificación.*

Escalas cuantitativa y cualitativa de calificación	
1,00 - 4,00	Regular
4,01 - 6,00	Bueno
6,01 - 8,00	Muy bueno
8,01 - 9,00	Excelente
9,01 - 10,00	Sobresaliente

Fuente: González (2021) y Giani (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del diagnóstico realizado a 25 cañicultores de Agua Fría por medio de una encuesta se presentan en el resumen de la *tabla 2*.

Tabla 2. *Resumen del diagnóstico (encuesta).*

Ítems	Opciones de respuesta (%)					
¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la producción de caña de azúcar?	Entre 4 a 6 años	8%	Entre 7 a 10 años	16%	Más de 10 años	76%
¿Está familiarizado con el concepto de agricultura sostenible?	Sí	32%	No	68%	-	-
¿Cuál es su nivel de conocimiento sobre el cambio climático y sus efectos en la agricultura?	Bajo	44%	Medio	48%	Alto	8%
¿Considera usted que los cambios climáticos han afectado la producción de caña de azúcar?	Sí	84%	No	16%	-	-
¿Cree usted que el cambio climático es una amenaza importante para la producción de caña de azúcar en Junín, Manabí?	Sí	92%	No	8%	-	-
¿Ha notado alguna alteración en la calidad del suelo debido al cambio climático?	Sí	60%	No	40%	-	-

¿Ha recibido alguna formación sobre prácticas agrícolas sostenibles o adaptativas al cambio climático?	Sí	12%	No	88%	-	-
¿Estaría dispuesto a participar en el proyecto de investigación para fortalecer su conocimiento y comportamiento ambiental sobre cómo el cambio climático afecta a la producción de sus cultivos de caña de azúcar?	Sí	100%	No	0%	-	-

Fuente: *Elaborada por los autores.*

El diagnóstico inicial determinó que el 76% de los cañicultores tiene más de 10 años de experiencia en el sector productivo de la caña de azúcar y sus derivados, lo que subraya la importancia del conocimiento empírico desarrollado a lo largo del tiempo. Según Santillán (2015), en las actividades agrícolas la generación de conocimiento tradicional supera al conocimiento científico, ya que se basa en la experiencia colectiva y en información recabada sensorialmente mediante la observación e intervenciones directas.

No obstante, el 68% de cañicultores desconoce las prácticas de agricultura sostenible, lo que requirió la necesidad de programas de capacitación y sensibilización en esta área. De acuerdo con Tello y Tello (2015) en las zonas rurales del país, existen un sinnúmero de agricultores que carecen de conocimientos adecuados debido a la falta de capacitación y la formación técnica en producción agraria. La administración y uso de tecnologías limpias permite a los productores y a sus familias mejorar su calidad de vida y transformar el actual modelo de subsistencia, lo cual asegura nuevas prácticas agrícolas efectivas y sostenibles.

Por otro lado, el 84% de los productores de caña de azúcar afirmaron que el cambio climático afecta su producción, destacándolo como una amenaza significativa para sus cultivos. Según la Organización Internacional del Azúcar (2013), la preocupación no sólo se centra en el calentamiento global, sino también en el incremento de la frecuencia de fenómenos extremos como sequías y ciclones, además el Fenómeno El Niño/La Niña implica a una disminución del 20% en los rendimientos agrícolas del cultivo de la caña de azúcar.

El 44% y 48% respectivamente de los encuestados reflejó tener un conocimiento bajo o medio sobre el cambio climático, en donde sólo el 8% comprende los efectos adversos: Esta falta de conocimiento dificulta la capacidad de los agricultores para adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático en la agricultura.

Alrededor del 60% de los productores han notado alteraciones en la calidad del suelo debido al cambio climático; sin embargo, solo el 28% ha cambiado sus prácticas agrícolas en respuesta a este fenómeno. Esta disparidad pone de manifiesto que, a pesar de las evidencias del impacto del cambio climático, las capacidades de adaptación son limitadas. Esta limitación se debe, en parte, a la falta

de políticas públicas efectivas que promuevan la adaptación al cambio climático en la región. Por lo tanto, se destaca que es crucial mejorar la educación y la sensibilización sobre estos impactos para fomentar prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles (Azócar *et al.*, 2020).

Por esta razón, el 100% de los cañicultores participaron en el proyecto de investigación para fortalecer su conocimiento y comportamiento ambiental sobre cómo el cambio climático afecta sus cultivos.

A continuación, se detalla en la *tabla 3* los temas impartidos, actividades, observaciones y resultados parciales de las capacitaciones brindadas.

Tabla 3. *Matriz de las capacitaciones impartidas*

Capacitaciones	Temas impartidos y actividades	Observaciones Resultados parciales
Semana 1	Introducción, objetivos, lineamientos y explicación del tema de estudio. Prueba tomada antes de las capacitaciones.	Acercamiento con los cañicultores y conversatorio para aclarar inquietudes.
Semana 2	Capacitaciones impartidas en temas de cambio climático, causas y consecuencias de este.	Se intercambiaron conocimientos científicos y empíricos que ayudaron a entender la temática.
Semana 3	Capacitaciones impartidas en temas de Fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y Fenómeno de La Niña a nivel mundial y en América.	Se explicaron los temas impartidos de manera didáctica haciendo énfasis en la problemática climática internacional y en los países de América.
Semana 4	Capacitaciones impartidas en temas de antecedentes del Fenómeno de El Niño y La Niña en Ecuador y sus principales diferencias.	Se intercambiaron vivencias y anécdotas que atravesaron los cañicultores en el Fenómeno de El Niño de 1997-1998 en Ecuador.
Semana 5	Capacitaciones impartidas en temas de antecedentes del Fenómeno de El Niño y La Niña en Ecuador. Principales sectores productivos afectados y las consecuencias en los cultivos frutales, en particular en el cultivo de caña de azúcar.	Se establecieron los principales sectores productivos afectados por El Niño y La Niña en Ecuador, destacando el sector agrícola en los cultivos de arroz, maíz, café, cacao, frutales y banano.

Semana 6	Capacitaciones en temas de manejo y aprovechamiento de los residuos de caña de azúcar como vinaza y bagazo. Prácticas sostenibles para el aprovechamiento de los residuos de la caña de azúcar.	Los cañicultores expusieron la problemática que enfrentan con los residuos generados en sus actividades productivas, donde se acumulan grandes concentraciones de biomasa (bagazo) y volúmenes de mostacho o vinaza.
Semana 7	Capacitaciones en temas como elaboración de compost a partir del residuo de bagazo, y uso del mostacho o vinaza como plaguicida.	Se explicó a los cañicultores la forma correcta de elaborar compost y la relación carbono/nitrógeno para la obtención de un producto nutricional y óptimo para las plantas y el suelo. El valor de esta relación C/N se encuentra estimada entre 25:1 y 40:1, esto quiere decir que existen 25 o 40 partes de carbono por 1 de nitrógeno.
Semana 8	Retroalimentación y refuerzo de los temas impartidos a los cañicultores de Agua Fría durante los 2 meses de capacitaciones. Aplicación de la prueba final para evaluar sus conocimientos y comportamiento ambiental frente al cambio climático. Revisión, calificación y socialización de las pruebas tomadas a los cañicultores de Agua Fría.	Se realizó un resumen de los temas tratados durante los 2 meses de capacitaciones. Posteriormente, se aplicó la prueba de conocimiento donde se dio un tiempo de 20 minutos para su resolución. Finalmente, los autores revisaron, calificaron y socializaron las notas obtenidas de los cañicultores.

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Para Cortés (2024), la educación ambiental en el sector agrícola desempeña un papel crucial para promover prácticas sostenibles entre los agricultores. A través de la adquisición de conocimientos y habilidades relacionadas con la conservación de los recursos naturales los agricultores pueden implementar métodos agrícolas responsables que fomenten la sostenibilidad a largo plazo.

En este sentido, Cabrera (2022) asegura que cuando se capacita en educación ambiental debe generarse un proceso de sensibilización. Capacitación que le permite al ser humano involucrarse en la búsqueda de soluciones ambientales y adoptar acciones para mejorar el ambiente de manera cotidiana. Por ello, los programas de educación ambiental promueven acciones amigables y sostenibles con el medio ambiente, por ejemplo: la separación de residuos sólidos y su reciclaje, el aprovechamiento de los residuos agropecuarios para la elaboración de compost, abono orgánico, biofertilizante y la aplicación de las 4R: reutilizar, reciclar, recuperar y reusar.

Posteriormente, se determinó la incidencia del aprendizaje de los cañicultores de Agua Fría, cuyos resultados se presentan en la *tabla 4*, comparando la prueba antes y después de la implementación de la estrategia *aprendiendo haciendo*:

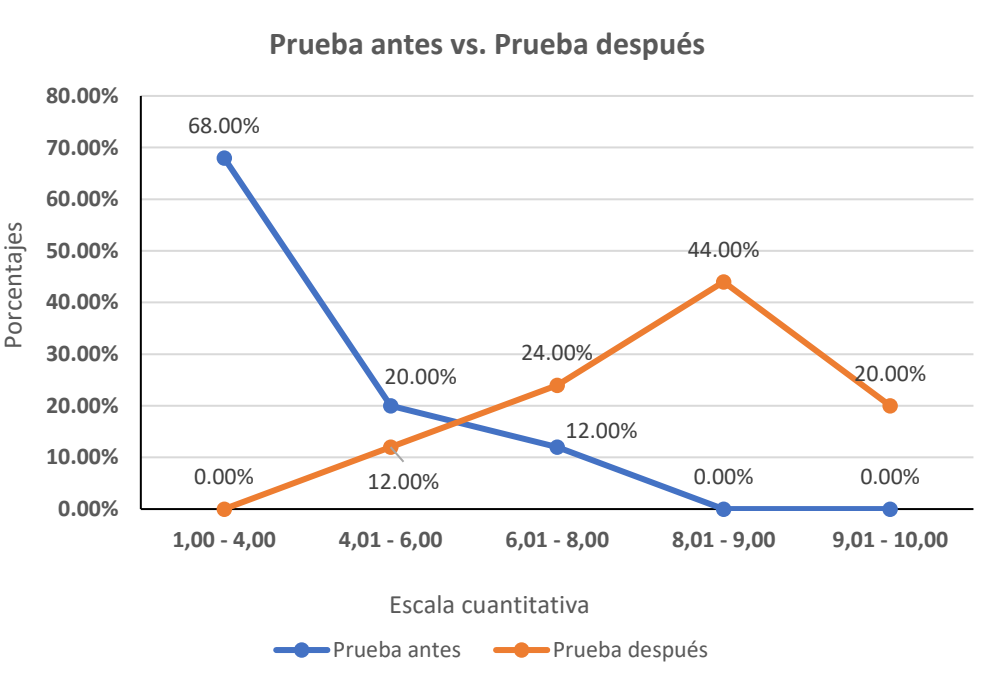
Tabla 4. Incidencia de la estrategia ambiental en los cañicultores de Agua Fría.

Prueba antes (escalas)	Frecuencia	Prueba antes (%)	Prueba después (escalas)	Frecuencia	Prueba después (%)	Calificación cualitativa
1,00 - 4,00	17	68,00	1,00 - 4,00	0	0,00	Regular
4,01 - 6,00	5	20,00	4,01 - 6,00	3	12,00	Bueno
6,01 - 8,00	3	12,00	6,01 - 8,00	6	24,00	Muy bueno
8,01 - 9,00	0	0,00	8,01 - 9,00	11	44,00	Excelente
9,01 - 10,00	0	0,00	9,01 - 10,00	5	20,00	Sobresaliente
Total	25	100,00	Total	25	100,00	

Fuente: Elaborada por los autores.

Se evaluó la incidencia de la estrategia ambiental por medio de una prueba antes y después de las capacitaciones impartidas a los cañicultores. En la evaluación inicial se determinó que el 68% de los productores tuvieron una calificación de 1,00 - 4,00 (regular), el 20% obtuvieron una puntuación de 4,01 - 6,00 (bueno), el 12% tuvo una cuantificación de 6,01 - 8,00 (muy bueno), y nadie obtuvo calificaciones mayores de 8,01/10,00 (excelente y sobresaliente). Por otra parte, después de las capacitaciones impartidas por los investigadores se determinó que el 12% de los cañicultores obtuvieron una puntuación de 4,01 - 6,00 (bueno), el 24% tuvieron una calificación de 6,01 - 8,00 (muy bueno), el 44% sacaron una cuantificación de 8,01 - 9,00 (excelente), y finalmente el 20% de los productores obtuvieron una puntuación de 9,01 - 10,00 (sobresaliente).

Figura 2. Comparación de la calificación inicial y final de los cañicultores.



Fuente: Elaborada por los autores.

Las tendencias de la prueba antes y después de las capacitaciones impartidas fueron significativas tal como se indica en la *figura 2*, donde se evidenció que antes de las capacitaciones el 68% de los cañicultores obtuvieron calificaciones regulares con valores entre 1,00 - 4,00 puntos; mientras que posterior a las ocho semanas de capacitaciones en temas de educación ambiental su nivel de aprendizaje mejoró significativamente, alcanzando un 64% de calificaciones con criterio excelente y sobresaliente, 44% y 20% respectivamente. Esto demostró que la estrategia de educación ambiental *aprendiendo haciendo* funcionó positivamente para fortalecer el conocimiento y comportamiento ambiental de los productores de caña de azúcar como respuesta adaptativa al cambio climático.

En este sentido, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2023) afirma que, la educación ambiental aumenta la sensibilización y el conocimiento de los ciudadanos sobre temáticas o problemas ambientales. Al hacerlo, les brinda a las personas las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas, medidas responsables y sostenibles hacia el medio ambiente. Los componentes de la educación ambiental son conciencia, sensibilidad, conocimiento, entendimiento, actitudes, habilidades y participación ante el ambiente y los desafíos ambientales.

Por otra parte, en cuanto al comportamiento ambiental de los cañicultores, en la *tabla 5* se presentan los aspectos positivos y negativos respecto al medio ambiente a través de una ficha de observación directa:

Tabla 5. *Comportamiento de los cañicultores con el medio ambiente*

Aspectos y preguntas	Sí	No
1.¿Queman los residuos de la caña de azúcar y bagazo a cielo abierto?	x	
2.¿Usan el bagazo como alimento para el ganado vacuno cuando hay escasez de pasto o forraje?	x	
3.¿Usan agroquímicos para los cultivos de caña de azúcar, como herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc.?		x
4.¿Usan fertilizantes para los cultivos de caña de azúcar?	x	
5.¿Existe la presencia de vectores en la biomasa residual de la caña de azúcar?	x	
6.¿Las piscinas de mostacho o vinaza tienen geomembrana?		x
7.¿Existen descargas de mostacho o vinaza a cuerpos de agua dulce?	x	
8.¿Han usado la vinaza o mostacho como biofertilizante?		x
9.Frente a los eventos de sequías, ¿se ha implementado algún sistema de riego en los cultivos de caña de azúcar, como riego por aspersión, por goteo, por gravedad o de forma manual?		x
10. ¿Los cultivos de caña de azúcar han experimentado inundaciones debido a fuertes temporadas lluviosas o lluvias intensas provocadas por el cambio climático?	x	
11. ¿Los cañicultores han realizado alguna estrategia de agricultura sostenible o aprovechamiento de la biomasa residual de caña de azúcar?		x

Fuente: *Elaborada por los autores.*

Urbano (2018) sostiene que, la quema de caña de azúcar ocasiona emisiones descontroladas de gases como el dióxido de carbono, metano y otros, que son los causantes de lo que se conoce como efecto invernadero. Esta quema afecta la salud humana, debido a la ceniza y a los gases generados. Las poblaciones cercanas pueden presentar enfermedades cardiovasculares, bronquitis crónica, asma bronquial, entre otros problemas respiratorios.

Una medida sencilla de prevención y mitigación que pueden tomar los cañicultores es realizar el proceso de quema entre las 12:00 am y las 6:00 am; en este lapso, los vientos son más frescos y las corrientes de aire son más suaves; por lo que cuando estos gases son producidos por la quema se congelan a mayor velocidad y no tienen oportunidad de llegar a la capa atmosférica.

Verduzco (2025) manifiesta que el 80% de las vinazas se descargan directamente a ríos, arroyos, lagos y canales o en sistemas de alcantarillado municipales, e incluso directamente en el suelo sin tratamiento previo, contaminando estos recursos. Por ende, entre los métodos para reducir los efectos contaminantes de la vinaza, se encuentran la digestión anaerobia, la producción de proteínas para alimento animal, la concentración por evaporación e irrigación de suelos de forma controlada.

CONCLUSIONES

La investigación evidenció que, a pesar de la vasta experiencia de los cañicultores, existe una brecha crítica en su formación sobre prácticas agrícolas sostenibles y la capacidad de adaptación al cambio climático. Aunque el 76% de ellos posee más de 10 años dedicados a la producción de caña de azúcar, se identificó una carencia significativa del 68% en cuanto al conocimiento sobre prácticas de agricultura sostenible, lo que resaltó la necesidad de implementar programas de educación ambiental.

En este contexto, la estrategia ambiental *aprendiendo haciendo* se presentó como una respuesta directa a las necesidades, integrando la educación ambiental como una herramienta fundamental para fortalecer la resiliencia del sector cañero. Las capacitaciones abordaron temas cruciales como cambio climático, fenómeno El Niño y La Niña y prácticas sostenibles para el manejo de los residuos de la caña de azúcar. Los resultados de las pruebas antes y después de las capacitaciones indicaron una mejora significativa en el conocimiento ambiental de los cañicultores. Inicialmente el 68% de los cañicultores mostraban un conocimiento regular, mientras que después de las capacitaciones un 88% alcanzó niveles de conocimiento muy bueno, excelente y sobresaliente.

En cuanto al comportamiento ambiental de los cañicultores, después de las capacitaciones impartidas en temas de educación ambiental, se constató que mantienen prácticas agrícolas tradicionales debido a la falta de recursos, escasez de proyectos articulados con las autoridades competentes para la implementación de un centro de acopio para el aprovechamiento del bagazo, así como al reducido control y seguimiento de las autoridades ambientales para el cumplimiento de los límites máximos permisibles de las descargas de la vinaza o mostacho a cuerpos de agua dulce.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (18 de octubre de 2023). La importancia de la educación ambiental. Recuperado el 18 de octubre de 2023 de <https://acortar.link/6qr4mv>

Alles, M. (2019). *Formación, Capacitación, Desarrollo. Diseñar, planificar e implementar actividades formativas efectivas y eficaces mirando al 2030/2040* (Vol 1.). Granica. <https://acortar.link/yS9yrb>

Arteaga, G. (2022). *Qué es la investigación de campo: Definición, métodos, ejemplos y ventajas*. TestSiteForMe. <https://acortar.link/s9FsLn>

- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas. (2022). *Cantón Junín*. <https://acortar.link/2gtKdF>
- Azócar, G., Billi, M., Calvo, R., Huneeus, N., Lagos, M., Sapiains, R. y Urquiza, A. (2020). Climate change perception, vulnerability, and readiness: inter-country variability and emerging patterns in Latin America. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 11, 23-36. <https://doi.org/10.1007/s13412-020-00639-0>
- Cabrera, D. (2022). *Programa de educación ambiental para el manejo de los residuos sólidos como estrategia para mejorar el ambiente y la calidad de vida en los habitantes del barrio Motupe Alto y San Jacinto* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://acortar.link/T4Lno3>
- Cajal, A. (2020). *Observación directa: características, tipos y ejemplos*. Lifeder. <https://acortar.link/YWt37F>
- Cartay, R., García, M., Meza, D., Intriago, J. y Romero, F. (2019). Caracterización económica de un productor de aguardiente en Junín, Manabí, Ecuador. *ECA Sinergia*, 10(1), 85-97. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v10i1.1213
- Casas, A., Repullo, L. y Donado, C. (2023). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos. *Atención Primaria*, 31(8), 527-538. <https://acortar.link/sWid4U>
- Chávez, J. y Burbano, R. (2021). Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 29. <https://acortar.link/TZTH18>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Artículos 414 y 320. <https://acortar.link/yV16Bd>
- Cortés, F. (2024). *El Papel de la Educación Ambiental en la Agricultura: Promoviendo Prácticas Sostenibles entre los Agricultores*. TFCMaquinaria. <https://acortar.link/2Ttrup>
- Giani, C. (2024). *Variables cualitativas ordinales*. Enciclopedia de Ejemplos. Recuperado el 24 de octubre de 2024 en <https://acortar.link/ZaBRWk>
- Gómez, Á. (2021). *¿Qué es una muestra representativa?* Fundación iS+D para la Investigación Social Avanzada. <https://acortar.link/DcXja7>
- González, E. (2021). *La calificación*. ERubrica Blog. <https://acortar.link/uU6ygr>
- Guevara, G., Verdesoto, A. y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 4(3), 163-173. <https://acortar.link/JuS06k>
- Largo, M. (2017). *Estadística descriptiva con Excel*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://acortar.link/K53n3f>
- Magrin, G. (2019). *Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe*. CEPAL/Unión Europea. <https://acortar.link/kWKDzm>
- Martínez, E. (2023). *Investigación documental*. Enciclopedia Significados. <https://acortar.link/HgPyN5>

- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C. y Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Mendoza, J., García, K., Salazar, R. y Vivanco, I. (2019). La Economía de Manabí (Ecuador) entre las sequías y las inundaciones. *Revista Espacios*, 40(16), 10. <https://acortar.link/flwLpa>
- Milanese, M., Fuentes, L., Torrens, C. y Cappelletti, V. (2022). Evaluación de aplicaciones de navegación GPS para salidas de campo. *Boletín Geográfico*, 44(2). <https://acortar.link/z46aUj>
- Mussetta, P., Barrientos, M., Ferrer, C., Masiokas, M., Villalba, R., Deis, L. y Cavagnaro, J. (2018). Vulnerabilidad y cambio climático en Mendoza: brechas sociales, modelo de desarrollo y transformación del territorio agrícola. *Estudios Socioterritoriales*, 23. <https://acortar.link/LaERPM>
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., . . . Lee, D. (2009). *Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. <https://acortar.link/6ZZwv4>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos 13 de Desarrollo Sostenible*. <https://acortar.link/1vm78>
- Organización Internacional del Azúcar. (2013). *Cambio climático y cultivos azucareros*. Organización Internacional del Azúcar. <https://acortar.link/uQULSV>
- Ortega, C. (2023). *Tipos de observación: Características y ventajas*. QuestionPro. <https://acortar.link/fYFnZo>
- Pérez, J. (2023). *Investigación no experimental*. Definición de. <https://acortar.link/Y5ZQxb>
- Reales, L., Robalino, G., Peñafiel, A., Cárdenas, J. y Cantuña, P. (2022). El Muestreo Intencional No Probabilístico como herramienta de la investigación científica en carreras de Ciencias de la Salud. *Universidad y Sociedad*, 14(S5), 681-685. <https://acortar.link/RrGQOc>
- Robles, B. (2019). Población y muestra. *Pueblo Continente*, 30(1), 245-247. <https://acortar.link/Fpuc9C>
- Sandoval, A., Rangel, R. y Guerrero, A. (2022). Orígenes del conocimiento arquitectónico. *Arquitectura*, 24(1), 74-83. <https://acortar.link/p3FnLr>
- Santillán, T. (2015). Conocimiento campesino... ¿Ciencia para qué? *Ciencia & Tecnología Social*, 2(1), <https://acortar.link/NOQzXa>
- Tello, D. y Tello, L. (2015). Capacitación en área rural que es básica para una productividad beneficiosa. *Anales científicos*, 76(2), 241-248. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.787>
- Terrazas, Y., Crispin, E., Mamani, G. y Escoja, L. (2023). Aplicación del aprender haciendo como Estrategia Metodológica a estudiantes en la asignatura de Pecuaria II. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 21(28), 95-102. <https://doi.org/10.56469/rcti.v21i28.805>
- Torres, M., Paz, K., Salazar, F. (2020). *Métodos de recolección de datos para una investigación*. Universidad Rafael Landívar. <https://acortar.link/0F6Yb>

- Urbano, L. (2018). Consecuencia ambiental de la quema extensiva de la caña de azúcar. *Grafías*, (29), 82-85. <https://doi.org/10.31908/grafias.v0i29.1298>
- Valdés, T., García, A., Lorandi, A., Galván, R. y Vargas, A. (2010). *Guía para la elaboración de la tesis de grado*. Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana. <https://acortar.link/AHAdRf>
- Vandana, P., Singh, D., Srivastava, S. y Dayal, G. (2020). Effect of climate change on sugarcane crop: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(6), 255-261. <https://acortar.link/DnTqXV>
- Vega, S., Malla, C. y Bejarano, H. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72-76. <https://acortar.link/cmEOGp>
- Verduzco, M. (2025). El desafío que representan las vinazas tequileras en la agricultura. *TecScience*. <https://acortar.link/17vVkJ>
- Zorrilla, A. (2021). *¿Cómo se realiza una investigación documental o bibliográfica?* Campus digital de idyd. <https://acortar.link/o5DD2I>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Perspectivas y desafíos de la educación ambiental en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela.

Perspectives and challenges of environmental education in Argentina, Brazil, Colombia, Chile, Mexico, Peru, Uruguay and Venezuela.

Perspectivas e desafios da educação ambiental na Argentina, Brasil, Colômbia, Chile, México, Peru, Uruguai e Venezuela.

Rafael Bosque Suárez

Universidad de Ciencias Pedagógicas

“Enrique José Varona”, Cuba

bosquesuarezra2011@gmail.com

Artículo científico

Enviado: 23/4/2025

Aprobado: 24/6/2025

Publicado: 29/7/2025

RESUMEN

La educación ambiental tuvo sus orígenes, de manera más recurrente, en la Conferencia de Estocolmo de 1972 convocada por las Naciones Unidas ante la preocupación por los peligros ecológicos derivados del desarrollo económico imperante, la industrialización desproporcionada y el crecimiento demográfico. En el contexto actual, marcado por desafíos ambientales sin precedentes como el cambio climático, la educación ambiental se consolida como un proceso esencial para alcanzar el desarrollo sustentable. El objetivo de la investigación fue fundamentar las perspectivas y desafíos de la educación ambiental en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela. Se aplicó una metodología cualitativa con un análisis de las realidades de cada país, para lo cual se efectuó un estudio de casos múltiples, identificando similitudes y diferencias entre ellos. Se tuvieron en cuenta aspectos representativos de las políticas públicas y educativas en cada nación. También se empleó el análisis documental, que posibilitó la revisión de documentos técnicos y legales, así como artículos científicos sobre el tema objeto de estudio; de igual manera, se consideró el análisis comparativo en los países seleccionados, para constatar las perspectivas y desafíos de la educación ambiental.

Palabras clave: ambiente, política educativa, problemas ambientales, sostenibilidad.

ABSTRACT

Environmental education had its origins, most frequently, in the 1972 Stockholm Conference convened by the United Nations out of concern for the ecological hazards arising from prevailing economic development, disproportionate industrialization, and population growth. In the current context, marked by unprecedented environmental challenges such as climate change, environmental education is consolidated as an essential process for achieving sustainable development. The objective of the research was to substantiate the prospects and challenges of environmental education in Argentina, Brazil, Colombia, Chile, Mexico, Peru, Uruguay, and Venezuela. A qualitative methodology was applied with an analysis of the realities of each country, for which a multiple case study was conducted, identifying similarities and differences among them. Representative aspects of public and educational policies in each nation were taken into account. Document analysis was also employed, which enabled the review of technical and legal documents, as well as scientific articles

on the topic under study. Similarly, a comparative analysis was considered in the selected countries to verify the perspectives and challenges of environmental education.

Keywords: environment, education policy, environmental problems, sustainability.

RESUMO

A educação ambiental teve suas origens, mais frequentemente, na Conferência de Estocolmo de 1972, convocada pelas Nações Unidas devido à preocupação com os riscos ecológicos decorrentes do desenvolvimento econômico predominante, da industrialização desproporcional e do crescimento populacional. No contexto atual, marcado por desafios ambientais sem precedentes, como as mudanças climáticas, a educação ambiental se consolida como um processo essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável. O objetivo da pesquisa foi fundamentar as perspectivas e os desafios da educação ambiental na Argentina, Brasil, Colômbia, Chile, México, Peru, Uruguai e Venezuela. Aplicou-se uma metodologia qualitativa com análise das realidades de cada país, para a qual foi realizado um estudo de casos múltiplos, identificando semelhanças e diferenças entre eles. Foram considerados aspectos representativos das políticas públicas e educacionais de cada nação. Empregou-se também análise documental, que permitiu a revisão de documentos técnicos e legais, bem como de artigos científicos sobre o tema em estudo. Da mesma forma, considerou-se uma análise comparativa nos países selecionados para verificar as perspectivas e os desafios da educação ambiental.

Palavras-chave: ambiente, política de educação, problemas ambientais, sustentabilidade.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más interconectado y marcado por desafíos ambientales¹ sin precedentes, la educación ambiental (EA) se perfila como un proceso fundamental para la formación de sociedades comprometidas con la sostenibilidad. Su importancia se basa principalmente en el análisis de la información que ofrecen las declaraciones y cartas emanadas de diversas cumbres y reuniones internacionales, entre ellas: Estocolmo (1972), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1973), Belgrado (1975), Tbilisi (1977), Moscú (1987), Cumbre de la Tierra (1992), Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (2002) (Bosque-Suárez *et al.*, 2007), Río+20 (Brasil, 2012), Acuerdo de París (2015), Agenda 2030 (2015), y la Cumbre sobre Acción para el Empoderamiento Climático en América Latina (2020) (Castillo, 2021).

Estas fuentes primarias, complementadas con la visión de diversos investigadores, permite comprender la evolución histórica de la EA, reconocer sus principales tendencias y reafirmarla como un proceso continuo y permanente que constituye una dimensión esencial de la educación integral, orientada a la adquisición de conocimientos, el desarrollo de hábitos, habilidades, actitudes y la formación de valores (Bosque-Suárez *et al.*, 2007).

Sin embargo, la desactualización en los temas ambientales agrava la situación y enfatiza la necesidad de articular esfuerzos renovados. Por tal motivo, “se tiene que tener en cuenta dos

¹ Puerta (2022) reconoce como los principales desafíos ambientales: “la pérdida de la diversidad biológica, la degradación de las tierras, la contaminación ambiental, el calentamiento global, el incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales extremos”, mientras la inmensa mayoría de la comunidad internacional “sigue dando la espalda a las causas verdaderas de la problemática: distribución inequitativa de los recursos, patrones de producción y consumo insostenibles, falta de voluntad y compromiso político, falta de cultura ambiental... que condenan a millones y millones de seres humanos al hambre extrema y la pobreza” (p. 5).

grandes problemas, como la crisis ambiental que se da en forma global y el contexto educativo que debe contribuir a superar estos problemas” (Cruz, 2022, p.725).

Como parte del proceso de investigación se realizó un arqueológico documental con el objetivo de recoger de manera cronológica a los autores mencionados, año de publicación, título, objetivo, resultados, país y la política de EA vinculada al tema objeto de estudio, con el propósito de, fundamentar las perspectivas y desafíos de la EA en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela.

En concordancia, se aplicó una metodología cualitativa para realizar un análisis de las realidades de cada país, identificando similitudes y diferencias entre ellos. Se tomaron en cuenta aspectos representativos de las políticas públicas y educativas. También, se aplicó el análisis documental a diversas publicaciones sobre EA, y se recurrió al análisis comparativo relacionado con las perspectivas y desafíos sobre el tema en los países seleccionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de fundamentar las perspectivas y desafíos de la EA en los países seleccionados, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de selección de la muestra, uno, los artículos y autores constatados que han escrito sobre perspectivas y desafíos de la EA en el siglo XXI, (Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela); dos, estos países son miembros de la Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA); tres, que varios de ellos están representados en el Colectivo de Investigadores en EA Superior en América Latina y el Caribe, (Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Perú y México), y cuatro, por la experiencia del autor en visitas a Brasil, Colombia, México, Perú y Venezuela, donde ha participado como ponente en eventos científicos, disertación en conferencias y diplomados, así como integrando tribunales y asesorando tesis de maestría y doctorado, entre las principales actividades; lo que facilitó conocer cómo se ha incorporado la EA en diversas universidades y en las políticas de EA.

Se aplicó un enfoque cualitativo para realizar un análisis contextualizado de las realidades de cada nación, mediante un estudio de casos múltiples que permitió examinar cada país como un caso único y, a la vez, identificar similitudes y diferencias entre ellos. Se tuvo en cuenta aspectos representativos de la política de EA en cada uno.

Como parte del diseño metodológico, se utilizó una matriz de análisis documental de la literatura consultada de manera sucinta, acerca de las perspectivas y desafíos en los países que forman parte de la muestra, la cual incluyó principalmente artículos académicos.

Las categorías de análisis fueron:

- Objetivo.
- Resultado.
- Política de educación ambiental, que incluyó: Marco legal, (principalmente las constituciones de los países), Política educativa y Currículo universitario.

Esto permitió confrontar a los principales autores y trabajos por año, así como los resultados más sobresalientes en este ámbito. Posteriormente, se analizaron los datos recopilados mediante herramientas cualitativas, como el análisis temático, que, según Escudero (2020), es un método flexible y sistemático para organizar datos cualitativos mediante la identificación de temas recurrentes que capturan los significados esenciales.

RESULTADOS

Previo a fundamentar el tema objeto de estudio, es importante expresar que, la EA ha sido tema de debate e intercambio a lo largo de la historia, desde la I Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, realizada en Estocolmo (Suecia) en 1972, hasta la más reciente, la Primera Cumbre Nacional de Educación Ambiental, celebrada en Colombia en el 2023, por esta razón, ha estado presente en el marco legal, formando parte de la política educativa y en el currículo universitario de los países estudiados.

Debe señalarse que, a pesar de haber transcurrido más de cincuenta años de la primera definición de EA, en todas las enunciaciones actuales sobre el término, suelen coincidir aspectos como:

- Concebirla como un proceso permanente y continuo.
- Promover la adquisición de nuevos conocimientos.
- Fomentar la educación en valores.
- Incentivar la sensibilidad frente a la protección del medio ambiente (Bosque-Suárez *et al.*, 2007).

A propósito, en 2014, la UNESCO declaró la:

“Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), donde la EA es un componente fundamental, pero en ocasiones la no claridad de estas concepciones ha generado conflictos con debates sobre si se complementan o compiten, y esto refleja divergencias en los enfoques pedagógicos. También, en los últimos años, es muy común encontrar en la literatura científica, diversas maneras de denominar a la educación ambiental, una de las más usuales es, educación ambiental para el desarrollo sostenible, pero sin ningún sustento desde la teoría, además, de seguir asumiendo los fundamentos teóricos de la educación ambiental: como son, categorías, objetivos, principios, métodos y vías” (Bosque-Suárez *et al.*, 2019, p. 6-7).

Esa manera de asumir el concepto de EA ha influido en su percepción en estos países, que, además, ha estado influenciada por marcos internacionales, políticas nacionales y movimientos sociales. A continuación, se presenta un análisis general desde las políticas públicas y educativas:

Argentina

La EA ha ganado relevancia en las políticas educativas y curriculares, especialmente a partir de la Ley de Educación Nacional (2006) y la Ley General del Ambiente (2002), integrándose en el sistema educativo formal y no formal. La Ley de Educación Nacional incluye la EA como un eje transversal en todos los niveles educativos. Además, el país cuenta con programas específicos como el Programa Nacional de Educación Ambiental, que busca promover la conciencia ambiental y la participación ciudadana (Ministerio de Educación de la Nación Argentina, 2006). En este contexto “La incorporación efectiva de la educación ambiental en el proyecto educativo nacional” ...” ha sido largamente pospuesta, por la falta de formación de los decisores, pero fundamentalmente por su resistencia a reconocerla en la crisis ambiental” (Corbetta y Sessano, 2021, p. 4-5)

Brasil

Ha sido pionero en la implementación de políticas de EA. La Política Nacional de Educación Ambiental, establecida por la Ley n.º 9795/1999, promueve la integración de la EA en todos los

niveles educativos y en la sociedad en general. Igualmente, el país cuenta con una red de educadores ambientales y programas como el “Proyecto Escuelas Sustentables” (Ley n.º 9795, 1999).

Estas políticas y estrategias nacionales definen lineamientos y orientaciones que auxilian los procesos de educación ambiental. Pues una política pública designa uno o varios objetivos colectivos considerados necesarios o deseables y los medios y acciones que orientan el comportamiento de los actores para resolver situaciones consideradas de interés o problemáticas (Mejía y Vaz, 2022).

Colombia

La EA está regulada por la Política Nacional de Educación Ambiental, que busca fomentar la cultura ambiental y la sostenibilidad. El país cuenta con el Programa de Educación Ambiental (PRAE), implementado en las instituciones educativas para promover prácticas sostenibles y la participación comunitaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2002). Además, “se consolida la Política Nacional de Educación Ambiental aprobada en el año 2002 y concebida desde la participación de los sectores ambiental y educativo y la sociedad civil” (Alvear-Narváez y Urbano-Pardo, 2022, p. 3).

Chile

Ha avanzado en la incorporación de la EA en su sistema educativo mediante la Ley General de Educación (Ley 20370) y la Política Nacional de Educación para el Desarrollo Sustentable. El país cuenta con programas como el Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educacionales (SNCAE), que promueve prácticas ambientales en las escuelas (Ministerio de Educación de Chile, 2009). “En respuesta a las diferentes necesidades medioambientales del país que han ido emergiendo, han surgido diversas organizaciones que han desempeñado un papel crucial en la protección de los recursos naturales” (Sepúlveda, 2023, p. 56).

México

La EA está contemplada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y en la Ley General de Educación. El país cuenta con el Programa Nacional de Educación Ambiental para la Sustentabilidad (ProNEA), que busca fortalecer la cultura ambiental y la participación social en la gestión ambiental (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). El tema está presente en el currículo desde la década de 1990, con un enfoque en la conservación de recursos naturales y la participación comunitaria; sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la falta de recursos y la desigualdad educativa. “...uno de los propósitos que se tienen desde las instancias y grupos ambientales, es que la educación ambiental se institucionalice en el ámbito de la educación en general y particularmente, en la educación superior” (Bravo, 2022, p. 94).

Perú

Mediante el Plan Nacional de Educación Ambiental, busca desarrollar una EA que tiene como punto de partida el reconocimiento del ambiente como una realidad inseparable de los individuos, la sociedad, la economía y la cultura, e incorpora la relación ambiente y desarrollo para así lograr el cambio hacia una sociedad solidaria, democrática y justa, en la cual, el crecimiento económico se alcance respetando el patrimonio natural y cultural del país, por medio de la activa participación de la población en los procesos de gestión ambiental (Ministerio del Ambiente de Perú, 2016). De igual manera, ha incorporado la EA en su currículo nacional, con un enfoque en la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático. En consecuencia, “...se hacen necesarias políticas, sobre todo a nivel

educativo, que favorezcan la concientización de los ciudadanos y las cuales incluyan en su puesta en práctica a todos los sectores sociales que la componen” (Mendoza y Silva, 2023, p. 644).

Uruguay

La EA está integrada en el sistema educativo mediante la Ley General de Educación (Ley nro. 18437) y la Política Nacional de Educación Ambiental. El país cuenta con programas como “Escuelas Sustentables”, que promueven la sostenibilidad ambiental y la participación ciudadana en las instituciones educativas (Ministerio de Educación y Cultura de Uruguay, 2008). También ha sido reconocido por sus iniciativas innovadoras, como el Programa de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible. En este sentido, “...las políticas, así como las instituciones encargadas de implementarlas, se estructuran sobre un paradigma de comando y control que interviene sobre los sistemas buscando controlar, reducir o dirigir los procesos naturales para un fin deseado” (Santos *et al.*, 2022, p. 142).

Venezuela

Ha incorporado la EA en su sistema educativo mediante la Ley Orgánica del Ambiente (2006) y la Ley Orgánica de Educación (2009). El país cuenta con programas como “Escuelas Ambientalistas”, que buscan fomentar la conciencia ambiental y la participación comunitaria (Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, 2006). De manera que, “...la educación ambiental ha jugado un papel protagónico para pensar los cambios humanos en torno a nuevas formas de relacionarnos en y con la naturaleza” (Hidalgo, 2020, p. 17). Sin embargo, su implementación ha enfrentado desafíos debido a la crisis económica del país.

A pesar de estos avances en las políticas públicas y educativas, la EA enfrenta diversos retos y desafíos en estos países, entre los principales retos están:

1. Falta de políticas públicas consistentes. En algunos de estos países, las políticas públicas en EA son inconsistentes o no están adecuadamente implementadas. Esto dificulta la creación de programas sustentables y efectivos.
2. Escasez de recursos económicos. La falta de financiamiento es un problema recurrente que limita la capacidad de desarrollar y mantener iniciativas de EA.
3. Concientización y participación ciudadana insuficientes. Aunque hay un creciente interés en temas ambientales, aún existe una brecha significativa en la concientización y participación activa de la ciudadanía en la protección del medio ambiente, en específico, en la mitigación o eliminación de los problemas ambientales existentes en sus contextos.
4. Integración curricular incompleta. La EA no siempre está integrada de manera efectiva en los currículos escolares, lo que limita su impacto a largo plazo.

Además de los retos compartidos, cada país afronta desafíos particulares, que no quedan expuestos de manera total en este estudio, en esta ocasión, solo se resaltan algunas de estas problemáticas, por lo que pudiera ser propicio para continuar con nuevas exploraciones afines al tema presentado.

Argentina

El neoextractivismo, como sistema de producción caracterizado por la utilización de técnicas de exploración y explotación del medio ambiente que han ido transformando de manera progresiva los bienes naturales renovables básicos para la vida en bienes potencialmente no renovables. (Isidro y Forlani, 2019).

“es indiscutible que el sistema educativo argentino carece del correspondiente correlato en materia de políticas educativas y de las instancias que la materializan: los núcleos de aprendizaje prioritarios, los diseños curriculares jurisdiccionales, los contenidos de la enseñanza en los programas escolares de las instituciones en cada una de las jurisdicciones y los libros de textos producidos por las editoriales” (Corbetta y Sessano, 2021, p. 4).

Brasil

Deforestación amazónica. La deforestación en la Amazonía es un problema crítico que requiere de una EA enfocada en la conservación y el uso sostenible de los recursos. (Fearnside, 2005).

Otro ejemplo está relacionado con el agronegocio, su expansión ha generado profundos impactos ambientales que requieren un análisis detallado. Su avance está íntimamente ligado a la deforestación, particularmente en biomas críticos como la Amazonía. Según World Wildlife Fund (WWF), el 18% de los bosques amazónicos ya se ha perdido completamente, con un 17% adicional degradado. Esta tendencia continúa en 2025, amenazando la biodiversidad única de la región que alberga el 9% de los mamíferos, 14% de las aves y 22% de las plantas vasculares conocida a nivel mundial (WWF, 2022).

Colombia

Conflicto armado y medio ambiente. Este conflicto ha traído consigo una larga serie de afectaciones de diversa índole en la sociedad colombiana, no solo de los seres humanos, sino también, de los diversos ecosistemas que componen la gran biodiversidad del país. (Molina *et al.*, 2022).

Por consiguiente, el gran reto es ampliar la cobertura a todas las regiones y sectores del país, con personas competentes en la problemática ambiental, capaces de transmitir su conocimiento, plantear proyectos, y multiplicar procesos de educación ambiental a nivel local, regional y nacional en los diferentes sectores, con el fin de que el ciudadano común adopte hábitos diarios para el cuidado del ambiente y la preservación de los recursos naturales (Pita, 2016).

Chile

En la actualidad, Chile enfrenta nuevos y significativos desafíos en la gestión de sus pasivos mineros, derivados en gran medida de la falta de financiamiento adecuado y serias falencias en el monitoreo y cumplimiento de las obligaciones ambientales (Plaza, 2025).

Otro desafío ambiental crítico que enfrenta Chile en 2025 es el conflicto entre la expansión de la industria salmonera y la conservación de los ecosistemas marinos de la Patagonia, problema que ha generado fuertes tensiones entre el gobierno, empresas privadas, comunidades locales y movimientos ambientalistas (Carrere, 2025).

México

“El acelerado crecimiento urbano y la industrialización son factores preocupantes en México pues producen altos índices de contaminación ambiental, principalmente, en las tres grandes metrópolis de la República Mexicana: Ciudad de México Guadalajara (Jalisco) y Monterrey (Nuevo León) (Leal-Iga, 2019, p. 24)”.

Otro de los desafíos ambientales en México en 2025 es la transición energética y la gestión sostenible de recursos estratégicos, como el litio, en el contexto del cambio climático y sus

implicaciones geopolíticas. Este desafío abarca aspectos económicos, sociales y ambientales, destacándose la dependencia de combustibles fósiles y la transición hacia las fuentes renovables de energías. (Sepúlveda *et al.*, 2025).

Perú

Según Cortina *et al.* (2023) la contaminación es la raíz de varios problemas ambientales en el Perú y el mundo como el cambio climático, la lluvia ácida, calentamiento global, desertificación etc. Por lo cual desencadena diferentes problemas de salud que inciden en comorbilidades haciendo así a la población más vulnerable, se enfatiza que se puede disminuir mediante una buena educación ambiental Rivas *et al.* (2023).

Cabe destacar que, otro de los principales desafíos ambientales que enfrenta Perú en el 2025 es el debilitamiento de las leyes de protección ambiental, particularmente en materia forestal, lo que ha exacerbado la deforestación y la minería ilegal en la Amazonía (Sierra, 2025).

Uruguay

Agricultura intensiva. La expansión de la agricultura intensiva, especialmente la sojera, plantea retos en términos de sostenibilidad y EA. Además, las: "... políticas de reciente creación, reflejan un mayor grado de abordaje interinstitucional, ya que ambas integraron en su elaboración procesos de consulta, validación e intercambio con todos los actores sociales relevantes vinculados a la temática" (Barcia, 2018, p. 405)

Venezuela

Según los medios de comunicación (MDC) en el país en 2024 plantean que: "la agenda informativa estuvo centrada en temas tales como la desaparición del último glaciar de Venezuela, los enormes incendios de vegetación y los altos niveles de temperatura que afectaron a la población" (Suárez y Álvarez, 2024, p. 2).

Con base en las ideas anteriores, es indispensable incidir en diversos aspectos fundamentales para consolidar la EA en la región:

1. Concienciación y cambio de comportamiento.

Según Yupanqui y Leyva (2024), en la actualidad, la problemática ambiental exige promover la alfabetización ambiental y en ese sentido, se busca sensibilizar a los ciudadanos sobre los problemas ambientales, de manera que se pueda cerrar la brecha entre el conocimiento técnico y el ciudadano común, y poder capacitar a las personas para tomar decisiones informadas y actuar de manera activa en la protección y mejora de los diferentes componentes ambientales donde los seres humanos estamos incluidos. Un ejemplo práctico se encuentra en Colombia, donde, según Lozano (2024), mediante actividades de integración comunitaria y de los Proyectos Escolares Ambientales (PRAE), se promueve un aprendizaje práctico y en contacto directo con el paisaje amazónico.

2. Desarrollo de competencias.

Según Miranda *et al.* (2021, como se citó en Molina *et al.*, 2024) afirman que la adquisición de competencias de conciencia ambiental implica más que solo adquirir conocimientos teóricos sobre el entorno natural. Es un proceso integral que incluye comprender las conexiones entre las actividades humanas y el medio ambiente, además de promover valores, actitudes y comportamientos sostenibles.

3. Promoción de la justicia ambiental.

Facilita la visibilización de cuestiones de equidad y justicia en el uso de los recursos naturales, asegurando que todas las comunidades tengan acceso a la protección de su entorno (Bullard, 2020). Por ejemplo, en Brasil, según Sandes y Calixto (2021) la Educación Ambiental busca fomentar la conciencia colectiva para impulsar un cambio de paradigma, fortaleciendo al ciudadano en su rol activo dentro de su entorno y promoviendo su formación integral.

4. Impulso de las fuentes renovables de energía.

En la actualidad, se ha convertido en un pilar fundamental en la mitigación ante el cambio climático y la protección del medio ambiente, dado a la creciente dependencia mundial de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, lo que ha contribuido significativamente al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y ha acelerado los impactos del cambio climático. De ahí la necesidad de la transición hacia las fuentes renovables de energía, que se presenta como una solución urgente e importante para satisfacer las demandas energéticas del crecimiento económico y demográfico actual, sin comprometer el futuro del planeta (Ibarra, 2018).

Esta visión integral —que abarca la concienciación ambiental, el desarrollo de competencias, la justicia ambiental y el impulso de las fuentes renovables de energía— constituye la base para fortalecer la EA en diversos contextos de América Latina. Su enfoque multidimensional posibilita no solo mitigar los problemas ambientales actuales, sino también, construir sociedades más justas, resilientes e innovadoras, orientado hacia el desarrollo sostenible.

Como parte del marco teórico y epistemológico propuesto por la Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA), se adopta el concepto de desarrollo sustentable entendido como:

“Un proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales, que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (Puerta, 2022, p. 5).

Este enfoque resalta la necesidad de gestionar los recursos de manera racional e integrada, priorizando tanto la estabilidad de los ecosistemas como la calidad de vida de todas las especies, incluida la humana.

En varios países de América Latina, por ejemplo, en México la EA se ha incorporado en las políticas nacionales de educación, alineándola con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Un ejemplo ilustrativo es la labor desarrollada por la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores (UNICEPES), que ha emprendido acciones de capacitación de su personal, abarcando áreas como el trabajo en equipo, el liderazgo, la formación de tutores en línea y la actualización de planes y programas en consonancia con los lineamientos de la Secretaría de Educación Pública (UNICEPES, 2025).

Del mismo modo, la UNICEPES, en coordinación con la REIMA, A.C., ha organizado eventos académicos que propician el intercambio y la colaboración científica entre profesores de distintas instituciones nacionales e internacionales, contribuyendo a la consolidación de una cultura

ambiental en el ámbito educativo y a la formación de profesionales con una visión integral del desarrollo sustentable.

En conjunto, estas iniciativas demuestran cómo la educación ambiental, basada en una concepción de desarrollo sustentable, puede fortalecer el logro de los ODS y transversalizar las políticas públicas, promoviendo acciones que permitan la construcción de sociedades más resilientes, inclusivas y responsables con el entorno.

(...) la gobernanza ambiental global a través de los diferentes lineamientos intenta, desde el nivel supraestatal, promover nuevas formas de interdependencia que rijan las relaciones energía-mundo de la vida-mundo social, así como las valoraciones y formas de concebirlas y administrarlas, como invitación a las transformaciones necesarias en los diferentes ordenamientos sociales (Hincapié, 2023, p. 292).

De igual manera, los programas de EA con componentes de participación comunitaria han demostrado ser eficaces en la elaboración de políticas sólidas y en la promoción de un mayor sentido de responsabilidad social (Fung, 2020).

A pesar de su relevancia, la implementación de la EA en los países de la muestra estudiada necesita enfrentar obstáculos, entre los que destacan a si nos muestra (Romero, 2014):

- Una fuerte formación epistemológica para dar respuesta a la necesidad de refundar la construcción del saber, saber la vida y saber vivir
- La reconstrucción metodológica, con objeto de desarrollar formas específicas de abordar problemas de la realidad que no pueden fragmentarse.
- La tecnológica, para propiciar el desarrollo de soluciones a los problemas particulares de la formación, desde esta nueva perspectiva.
- Imaginar lo porvenir.

Lo expresado en párrafos anteriores llevó a realizar un análisis en diversos artículos de América Latina, para lo que se detalla en la matriz de análisis documental, consecuente con el método histórico-lógico, los autores consultados, país, año de publicación, título, objetivo, resultado, y la política de EA vinculada con esta disciplina objeto de estudio, que se presenta una estructura con los criterios mostrados a continuación.

Fuentes consultadas en los países seleccionados como muestra:

Autor: Gustavo F. de la Vega ²

País: México.

Año: 1994

Título: La educación ambiental: una herramienta para la sostenibilidad en América Latina.

Objetivo: Argumentar la importancia de la EA en el contexto de la sostenibilidad y la gestión.

Resultado: Se centra en la necesidad de una educación que fomente la conciencia ambiental y promueva prácticas sostenibles en la región.

Política de educación ambiental:

² A pesar de que la aportación de Gustavo F. de la Vega (1994) corresponde al siglo XX, se incluyó en este estudio, debido a su relevancia en la comprensión de la sostenibilidad y la gestión de los recursos naturales, temática que resulta crucial en el contexto analizado, especialmente, ante el uso indiscriminado de recursos (como la minería a cielo abierto) que cobra vigencia en la actualidad. Del mismo modo, se retomaron los aportes de Paulo Freire en *Pedagogía de la Autonomía*, por la importancia teórica que puede extrapolarse a la EA desde un enfoque crítico y emancipador.

Constitución. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Art. 3°) establece la obligatoriedad de la educación, incluyendo aspectos ambientales y sustentables.

Política educativa. La Ley General de Educación (2019) incorpora la EA en planes de estudio de nivel básico y medio superior, destacando el desarrollo sostenible y la educación ecológica.

Currículo universitario. Instituciones como la UNAM ofrecen programas específicos de EA, incluyendo materias optativas y obligatorias en carreras relacionadas.

Autor: Paulo Freire

País: Brasil

Año: 2000

Título: Pedagogía de la Autonomía

Objetivo: Fundamentar teóricamente la importancia de la EA desde un enfoque emancipador.

Resultado: Propone un abordaje crítico que promueva la autonomía, la reflexión y la acción transformadora del estudiantado.

Política de educación ambiental:

Constitución. El Artículo 225 impone al gobierno el deber de promover la EA en todos los niveles y la conciencia pública para la preservación del medio ambiente.

Política educativa. La Política Nacional de Educación Ambiental (1999) exige la incorporación de la EA en instituciones públicas y privadas.

Currículo universitario. Universidades como la USP implementan proyectos interdisciplinarios y de extensión comunitaria vinculados con la EA.

Autor: M. de los Á. Fernández

País: Argentina

Año: 2001

Título: La educación ambiental como herramienta para la formación de una ciudadanía crítica.

Objetivo: Investigar el papel de la EA en la formación de una ciudadanía crítica.

Resultado: Relaciona la EA con el desarrollo de competencias críticas y la participación ciudadana activa.

Política de educación ambiental:

Constitución. La reforma de 1994 (Art. 41) garantiza el derecho a un ambiente sano y la obligación del Estado de promover la EA.

Política educativa. La Ley 27.621 de Educación Ambiental Integral (2021) regula la inclusión de la EA en todos los niveles, con enfoque en sostenibilidad y formación ciudadana.

Currículo universitario. Universidades como la UBA ofrecen programas de posgrado en gestión ambiental y cátedras interdisciplinarias para abordar desafíos ambientales.

Autor: Martha Lucía González

País: Colombia

Año: 2005

Título: Educación ambiental y justicia social: un análisis de la experiencia colombiana.

Objetivo: Explorar cómo la EA contribuye a la justicia social y promueve prácticas sostenibles.

Resultado: Enfatiza la intersección entre educación, medio ambiente y equidad social, con potencial transformador.

Política de educación ambiental:

Constitución. El Artículo 67 considera la educación un derecho e incluye la formación en el respeto por el ambiente; el Artículo 79 garantiza el derecho a un ambiente sano.

Política educativa. El Ministerio de Educación Nacional promueve los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE), obligatorios en instituciones de primaria y secundaria.

Currículo universitario. Universidades como la Universidad Nacional de Colombia ofrecen programas de ingeniería ambiental y asignaturas relacionadas con la gestión de recursos.

Autor: Luis A. Panizo

País: Perú

Año: 2007

Título: La educación ambiental en los currículos escolares: una necesidad para fortalecer la conciencia ecológica.

Objetivo: Indagar la necesidad de integrar la EA en los currículos escolares para fortalecer la conciencia ecológica.

Resultado: Recalca la importancia de la EA para desarrollar una ciudadanía consciente y responsable con su entorno.

Política de educación ambiental:

Constitución. El Artículo 2° reconoce el derecho a un ambiente equilibrado, y el Artículo 67 obliga al Estado a formular políticas nacionales en materia ambiental.

Política educativa. El Currículo Nacional de Educación Básica integra la EA como eje transversal en todos los niveles educativos.

Currículo universitario. Universidades como la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) ofrecen programas en sostenibilidad y gestión ambiental.

Autor: R. Gómez y M. López

País: Chile

Año: 2010

Título: La Educación Ambiental en América Latina: Perspectivas y Desafíos.

Objetivo: Analizar los enfoques de EA en diferentes países de la región.

Resultado: Presenta estrategias educativas novedosas para la consolidación de la EA en América Latina.

Política de educación ambiental:

Constitución. Si bien no menciona de forma expresa la EA, la Ley 19.300 (Bases Generales del Medio Ambiente) la reconoce como herramienta fundamental.

Política educativa. El Plan Nacional de Educación para el Desarrollo Sostenible 2020-2030 orienta la inclusión de contenidos ambientales en todos los niveles educativos.

Currículo universitario. Universidades como la Pontificia Universidad Católica de Chile ofrecen programas específicos en EA y gestión de recursos.

Autor: S. Buarque y F. Almeida

País: Brasil

Año: 2011

Título: Educação Ambiental: Desafios e Perspectivas.

Objetivo: Debatir los desafíos que afronta la EA en Brasil.

Resultado: Proponen estrategias para superar dichos desafíos y consolidar la EA como práctica integral.

Política de educación ambiental:

Idem segundo autor (Marco normativo de Brasil).

Autor: I. Fajardo

País: Venezuela

Año: 2013

Título: Educación ambiental: un desafío para la educación en el siglo XXI.

Objetivo: Argumentar la importancia de integrar la EA en el sistema educativo contemporáneo.

Resultado: Expone los retos que enfrenta la humanidad en términos de sostenibilidad y la urgencia de reformas en la EA.

Política de educación ambiental:

Constitución. El Artículo 107 estipula la obligatoriedad de la EA en todos los niveles.

Política educativa. El Plan de la Patria 2019-2025 incluye objetivos orientados a la sostenibilidad y la EA.

Currículo universitario. Universidades como la Universidad Bolivariana de Venezuela y Universidad Central de Venezuela incorporan programas sobre EA y sostenibilidad.

Autor: Silvia Ribeiro

País: México

Año: 2015

Título: La educación ambiental en el contexto de la economía neoliberal: desafíos y críticas.

Objetivo: Analizar cómo las políticas neoliberales inciden en la EA y las implicaciones de la economía de mercado.

Resultado: Expone perspectivas críticas, resaltando que la economía neoliberal puede limitar el enfoque transformador de la EA.

Política de educación ambiental:

Idem primer autor (Marco normativo de México)

Autor: M. L. González y M. Taboada

País: Argentina

Año: 2016

Título: La educación ambiental en tiempos de cambio: tendencias y perspectivas en América Latina.

Objetivo: Valorar la importancia de la EA ante el cambio climático y la sostenibilidad.

Resultado: Analiza la situación y las proyecciones de la EA en medio de cambios ambientales y sociales.

Política de educación ambiental:

Idem tercer autor (Marco normativo de Argentina)

Autor: C. Vélez y L. Arango

País: Colombia

Año: 2017

Título: Educación ambiental en América Latina: desafíos de la formación docente.

Objetivo: Explicar cómo preparar al profesorado para afrontar los retos de la EA.

Resultado: Subraya la importancia de la EA y los obstáculos que enfrenta la formación docente.

Política de educación ambiental:

Idem cuarto autor (Marco normativo de Colombia)

Autor: Ana María Ospina

País: Colombia

Año: 2017

Título: Educación ambiental y desarrollo sostenible: un análisis de sus vínculos y desafíos.

Objetivo: Explorar las relaciones entre la EA y el desarrollo sostenible.

Resultado: Destaca la contribución de la EA a la promoción de prácticas sostenibles y la formación de ciudadanos comprometidos con la protección del entorno.

Política de educación ambiental:

Idem cuarto autor (Marco normativo de Colombia)

Autor: S. Ribeiro

País: México

Año: 2019

Título: Desafíos de la educación ambiental en el contexto de la crisis ambiental en América Latina.

Objetivo: Argumentar la necesidad de reformar los paradigmas educativos ante la crisis ecológica actual.

Resultado: Aporta un análisis de la relación entre la educación y la crisis ambiental en la región, enfatizando la urgencia de cambios profundos en el sistema educativo.

Política de educación ambiental:

Idem primer autor (Marco normativo de México)

Autor: Nina M. V. Saus

País: Uruguay

Año: 2019

Título: Desafíos contemporáneos en la educación ambiental: una revisión crítica.

Objetivo: Describir los desafíos y oportunidades actuales en el ámbito de la EA.

Resultado: Muestra dificultades como la fragmentación de enfoques y la escasa integración de contenidos en los currículos, enfatizando la participación comunitaria.

Política de educación ambiental:

Constitución. El Artículo 47 salvaguarda el derecho a un ambiente sano y la promoción de la EA como interés general.

Política educativa. El Plan Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible (2020) fomenta la inclusión de la EA en la enseñanza inicial, primaria y secundaria.

Currículo universitario. La Universidad de la República (UDELAR) ofrece investigación y docencia relacionadas con la sostenibilidad

Autor: M. Pérez

País: Chile

Año: 2020

Título: Retos y oportunidades de la educación ambiental en América Latina frente al cambio climático.

Objetivo: Analizar de qué manera la EA puede contribuir al desarrollo de capacidades comunitarias ante la crisis climática.

Resultado: Plantea un método para fortalecer dichas capacidades y afrontar los desafíos climáticos desde una perspectiva educativa.

Política de educación ambiental:

Idem sexto autor (Marco normativo de Chile).

DISCUSIÓN

En esta sección se exponen los principales resultados del estudio a la luz de las aportaciones de los autores, cuyas obras fueron analizadas y que han investigado sobre las perspectivas y desafíos de la EA en el siglo XXI, con el fin de esclarecer coincidencias, diferencias y contribuciones al conocimiento. El análisis se centró en la realidad de la EA en los países latinoamericanos considerados.

De manera sintética se resaltan las siguientes ideas:

- Desde el siglo XX hasta la actualidad y de manera continua, se ha investigado sobre el tema de las perspectivas y desafíos de la EA.
- Los principales resultados de los artículos analizados se han dirigido a:
 - Necesidad de una educación que fomente la conciencia ambiental y promueva prácticas sostenibles en la región.
 - Abordaje crítico que promueva la autonomía, la reflexión y la acción transformadora del estudiantado.
 - Relación entre EA y el desarrollo de competencias críticas.
 - Intersección entre educación, medio ambiente y equidad social.

- Importancia de la EA para desarrollar una ciudadanía consciente y responsable con su entorno.
 - Estrategias educativas novedosas para la consolidación de la EA en América Latina.
 - Estrategias para superar dichos desafíos y consolidar la EA como una práctica integral.
 - Retos que enfrenta la humanidad en términos de sostenibilidad y destaca la urgencia de reformas en la EA.
 - Perspectivas críticas, resaltando que la economía neoliberal puede limitar el enfoque transformador de la EA.
 - Situación y las proyecciones de la EA en medio de los cambios ambientales y sociales que afectan a la región.
 - Importancia de la EA y los obstáculos que enfrenta la formación docente en la región.
 - Contribución de la EA a la promoción de prácticas sostenibles y la formación de ciudadanos comprometidos con la protección del medio ambiente.
 - Análisis de la relación entre la educación y la crisis ambientales en la región, enfatizando la urgencia de cambios profundos en el sistema educativo.
 - Dificultades como la fragmentación de enfoques y la escasa integración de contenidos en los currículos, enfatizando la participación comunitaria.
 - Método para fortalecer dichas capacidades y afrontar los desafíos climáticos desde una perspectiva educativa.
- Del análisis realizado sobresale:
 - La importancia de incorporar la EA en los currículos o proponer nuevas estrategias educativas, o integrar la EA en el sistema educativo; aparece en seis de los artículos examinados, por lo que se evidencia la preocupación y jerarquía del tema.
 - Otro aspecto que resaltar de lo analizado, es el tema del cambio climático como uno de los principales problemas ambientales en la actualidad, que es incluido en tres de los resultados presentados.
 - Sobresale también, lo relacionado con el papel de la EA en la formación de una ciudadanía crítica, la justicia social y promover prácticas sostenibles con un enfoque emancipador.
 - Un tema también muy recurrente aportado es, cómo la EA puede contribuir al desarrollo de capacidades comunitarias frente a la crisis climática.
 - De igual manera, se incluye el tema de, cómo las políticas neoliberales inciden en la EA y las implicaciones de la economía de mercado en su desarrollo.
 - En relación con la política ambiental en los países estudiados, se constató que, en todos, la EA aparece declarada desde la Constitución, la política educativa y el currículo universitario.
 - Desde la constitución, a manera general en lo analizado en cada país, entre las ideas esenciales están que, se establece la obligatoriedad de la educación, incluyendo aspectos ambientales y sustentables; garantizar el derecho a un ambiente sano y la obligación del Estado de promover la EA; se incluye la formación en el respeto por el ambiente; y se garantiza el derecho a un ambiente sano; formular políticas nacionales en materia ambiental; ver la EA como una herramienta esencial para la sostenibilidad; promover y estipular la obligatoriedad de la EA en todos los niveles.
 - Sobre la política educativa, se puede evidenciar una correspondencia entre lo educativo y lo que expresa la carta magna de los diferentes países, expresado en ideas como: su incorporación en planes de estudio de nivel básico y medio superior, destacando el desarrollo sostenible y la educación ecológica; se promueven proyectos obligatorios en

- instituciones de primaria y secundaria; integrar la EA como eje transversal en todos los niveles educativos; se exige la incorporación de la EA en instituciones públicas y privadas.
- En relación al currículo universitario, se evidencia la incorporación de la EA, en diferentes tipos de programas, algunos específicos y otros donde incluyen materias optativas y obligatorias, además, programas de posgrado en gestión ambiental y cátedras interdisciplinarias; se implementan proyectos interdisciplinarios y de extensión comunitaria vinculados con la EA; de igual manera en algunos se incorpora la investigación.

De la misma forma, los trabajos analizados permiten destacar la importancia de la EA en la formación continua del personal docente, la transversalización curricular, la integración de las comunidades y la vinculación entre las políticas públicas y las prácticas sustentables. Además, se plantea la necesidad de enfoques interdisciplinarios y metodologías participativas para afrontar problemas ambientales complejos.

Los aspectos considerados soportan fundamentar las principales perspectivas y desafíos de la EA en el contexto estudiado, que se relacionan con marcos teóricos, metodologías y prioridades según los actores involucrados:

1. La necesidad de un enfoque holístico.

Una de las principales ideas a mostrar, es la importancia de adoptar un enfoque holístico, que vincule la EA con ámbitos del conocimiento como la economía, las ciencias sociales y la cultura. La integración de estas disciplinas no solo enriquecería el contenido educativo, sino que propiciaría un aprendizaje significativo, al incorporar la complejidad de las realidades socioambientales de América Latina. Este enfoque interdisciplinario resulta esencial para formar una ciudadanía informada y crítica, capaz de tomar mejores decisiones ante los desafíos ambientales actuales y futuros.

2. Empoderamiento de las comunidades.

El estudio de las prácticas emergentes pone de relieve la participación comunitaria como un componente fundamental de la EA. Los enfoques inclusivos, que fomentan la creación colectiva de conocimiento, han demostrado éxito al empoderar a las comunidades, permitiendo que sus miembros participen activamente en la gestión de los recursos naturales y del entorno que habitan. Sin embargo, se requiere trascender iniciativas aisladas y fortalecer la creación de redes que multipliquen estas voces, promoviendo espacios de diálogo y aprendizaje recíproco entre comunidades e instituciones educativas, donde se priorice el enfoque en los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas sobre el manejo racional de los recursos naturales, el rol de las mujeres en la defensa del medio ambiente y su acceso a la EA.

3. Formación y capacitación docente.

Otro aspecto crítico identificado es la insuficiente formación docente en materia de EA, lo que repercute negativamente en la calidad de la enseñanza y mantiene la desconexión entre la educación y el medio ambiente. Para revertir esta situación, se requiere revitalizar los programas de formación, incorporando competencias en sostenibilidad, investigación aplicada y estrategias de vinculación con la comunidad. El docente debe ser un agente de cambio, capaz de dinamizar el aprendizaje activo y reflexivo en el aula.

4. Desafíos de la infraestructura y los recursos.

La falta de recursos representa una barrera importante para la implementación de la EA, especialmente, en zonas rurales o de escasos recursos, por lo tanto, es indispensable invertir en infraestructura y en la disponibilidad de materiales didácticos actualizados, a fin de garantizar que todos los estudiantes tengan acceso a una EA de calidad. Asimismo, resulta necesario explorar modelos de financiamiento innovadores, con la participación de actores del sector público, privado y la cooperación internacional, para asegurar la sostenibilidad de los programas a largo plazo.

5. Resistencia cultural y adaptabilidad.

La resistencia cultural al cambio educativo es un desafío que no debe pasarse por alto. Al incorporar contenidos de EA, se hace imperativo respetar y considerar las cosmovisiones locales y las tradiciones culturales existentes. Los programas que omiten esta perspectiva corren el riesgo de no ser aceptados o incluso de ser rechazados por las comunidades. Por ello, es esencial que los educadores y formuladores de políticas trabajen de manera cercana con las comunidades para rediseñar iniciativas que sean culturalmente pertinentes y se adapten a las necesidades locales.

6. Avances hacia la sustentabilidad.

La EA en los países de América Latina estudiados, ofrece oportunidades únicas para avanzar hacia la sustentabilidad. La creciente concientización sobre los problemas ambientales, respaldada por movimientos sociales y la participación de los jóvenes, indica la existencia de un terreno fértil para impulsar cambios; iniciativas que integren el pensamiento crítico, la innovación y la solidaridad intergeneracional, pueden desempeñar un papel decisivo al transformar la cultura ambiental en la región.

En resumen, el análisis de los resultados pone de manifiesto la urgencia de consolidar un compromiso renovado y colectivo hacia la EA en los países estudiados. No se trata únicamente de redefinir políticas educativas y planificación curricular, sino de transformar la forma en que comunidades, educadores e instituciones se relacionan con el medio ambiente. Al analizar los desafíos de manera integral y colaborativa, es posible desarrollar una EA que no solo informe, sino que inspire a las generaciones presentes y futuras a actuar con responsabilidad y sustentabilidad.

Este camino, aunque complejo, resulta indispensable para garantizar un futuro en el que la justicia social y la preservación ambiental coexistan en armonía, para esto se sugiere:

- Perfeccionar la formación docente y el rol de los capacitadores.

La carencia de capacitación continua y la falta de especialización ambiental entre los docentes inciden directamente en la calidad de los contenidos y estrategias pedagógicas que se llevan al aula. Además, en muchos contextos se observa un déficit de bibliografía actualizada y de recursos didácticos adaptados a cada región, lo que dificulta la contextualización de los aprendizajes.

- Innovación tecnológica y metodológica con enfoque crítico.

Si bien las nuevas tecnologías ofrecen oportunidades para expandir el alcance de la EA — mediante plataformas en línea, inteligencia artificial, realidad virtual, geolocalización, análisis

de datos, entre otras herramientas—, su uso no garantiza por sí mismo un cambio profundo en las actitudes y valores hacia el medio ambiente. Es necesario encauzar estas herramientas de forma crítica y reflexiva, de modo que no se conviertan en meros recursos de entretenimiento o difusión superficial y se oriente a cuestionar los modelos de desarrollo extractivistas y coloniales, además de, promover la justicia socioambiental y la defensa de territorios, para integrar las dimensiones ambientales, sociales, económicas y culturales.

- Convergencia entre educación y políticas de desarrollo sustentable.

La formulación de políticas de desarrollo sustentable en la región (Planes Nacionales de Adaptación Climática, Estrategias de Conservación de la diversidad biológica, Leyes de Cambio Climático, entre otras.) constituye una oportunidad para transversalizar la EA y vincularla con metas concretas de mitigación y adaptación.

- Perspectivas de transformación y escalamiento.

Pese a los obstáculos descritos, el dinamismo de las sociedades latinoamericanas —evidenciado en movimientos sociales, iniciativas ciudadanas y la emergencia de liderazgos juveniles— abre las puertas a oportunidades de escalamiento. La EA puede catalizar estos procesos, potenciando la formación de redes de comunidades de aprendizaje y la adopción de perspectivas interdisciplinarias, donde se tengan en cuenta, las desigualdades ambientales y cómo afectan a las poblaciones más vulnerables.

- Retos éticos y conceptuales en la EA.

La EA enfrenta, a menudo, la tentación de caer en una visión meramente instrumental, que se limita a modificar ciertos comportamientos sin cuestionar las raíces sistémicas de la crisis ambiental. Para evitar una aproximación superficial, es fundamental una reflexión ética que abarque el respeto por la diversidad biológica, la justicia intergeneracional y la equidad en la distribución de costos y beneficios ambientales. Asimismo, la diversidad de terminologías y enfoques (medio ambiente y ambiente; desarrollo sustentable y desarrollo sostenible, EA para el desarrollo sostenible y EA para la sostenibilidad, entre otras tantas maneras de denominar a la EA, además de otros términos.) puede generar confusión y desvirtuar el desarrollo de las investigaciones, si no se clarifican sus implicaciones filosóficas, políticas y pedagógicas.

Finalmente, la EA en los países de América Latina considerados, se muestra como un campo en constante expansión, con iniciativas prometedoras y logros parciales que evidencian su potencial transformador. No obstante, alcanzar una integración real y sustentable de la dimensión ambiental en la cultura y la vida cotidiana requiere superar desafíos en materia de formación docente, financiamiento, coherencia curricular y participación comunitaria. Igualmente, la adopción de enfoques interdisciplinarios y la apertura a un diálogo intercultural son esenciales para profundizar en la construcción de una ciudadanía crítica, solidaria y comprometida con la justicia socioambiental. Solo mediante una colaboración robusta entre diversos actores —gobiernos, instituciones académicas, organizaciones civiles y comunidades— la EA se consolidará como un pilar del desarrollo sustentable en la región, impulsando la transformación cultural requerida para enfrentar los grandes retos del siglo XXI.

CONCLUSIONES

El análisis de las declaraciones y cartas de cumbres internacionales, documentos legales y artículos especializados evidencian que la EA se ha consolidado como un proceso esencial para promover sociedades más justas, equitativas y resilientes, al dotar a individuos y comunidades de conocimientos, habilidades, actitudes y valores para enfrentar los desafíos ambientales actuales.

El estudio en los países latinoamericanos seleccionados, evidencia que la EA posee un alto potencial para orientar a la región hacia un desarrollo más sustentable. Sin embargo, se identifican retos significativos —como la falta de recursos, la disparidad socioeconómica y la formación docente insuficiente— que requieren de la colaboración activa de gobiernos, organizaciones no gubernamentales, instituciones educativas y comunidades locales, para hallar vías innovadoras e inclusivas y difundir la EA en todos los sectores de la sociedad ya que resulta ineludible fomentar una cultura frente a la crisis climática y otros desafíos ambientales.

La fundamentación de las perspectivas y desafíos de la EA en Argentina, Brasil, Colombia, Chile, México, Perú, Uruguay y Venezuela, incluyen elementos significativos como: la necesidad de un enfoque holístico, el empoderamiento de las comunidades, la formación y capacitación docente, los desafíos de la infraestructura y los recursos, unido a, la resistencia cultural y adaptabilidad, lo anterior conlleva a, perfeccionar la formación docente y el rol de los capacitadores, la innovación tecnológica y metodológica con enfoque crítico, la convergencia entre educación y políticas de desarrollo sustentable, las perspectivas de transformación y escalamiento, así como, los retos éticos y conceptuales en la EA.

Para lograr una EA con impacto real, se requiere una integración transversal en todos los niveles educativos —desde la educación básica hasta la superior—, acompañada de colaboración intersectorial y un enfoque que garantice igualdad de oportunidades para todos. En este sentido, es fundamental asegurar que los planes de estudio y las políticas públicas contemplen la participación de actores provenientes de diversos ámbitos, impulsando sinergias que consoliden el aprendizaje y la acción en favor del ambiente.

Los resultados de este estudio muestran la coexistencia de prácticas prometedoras y niveles crecientes de conciencia ambiental en la región, así como, la persistencia de desafíos estructurales que limitan la plena realización del potencial educativo. Para enfrentar estas limitaciones, es esencial fortalecer las políticas educativas, asegurar un financiamiento suficiente, capacitar de forma continua al personal docente y fomentar la cooperación entre todos los actores sociales involucrados, por lo que se pudieran realizar estudios comparados similares en otros países de América Latina que posibilite continuar fundamentando las perspectivas y desafíos de la educación ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvear-Narváez, N. L. y Urbano-Pardo, M. L. (2022). La educación ambiental en Colombia desde los instrumentos de política pública departamental. *Entramado*, 18(1), 1-14. <https://acortar.link/8jNVyK>
- Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2006). *Ley Orgánica del Ambiente*. Gaceta Oficial Nro. 5833. <https://acortar.link/w295HI>
- Barcia, M. L. (2018). Los desafíos en la implementación de políticas de la educación ambiental en el Uruguay. *Cadernos de Pesquisa: Pensamento Educacional*, 13(Nro. Especial), 399-412. https://doi.org/10.35168/2175-2613.UTP.pens_ed.2018.Vol13.NEspecial.pp399-412

- Bosque-Suárez, R., Amparo-Osorio, O., Fundora-Pedreso, Y., Cejas-Llanes, E., Cisneros-Ricardo, Y., Robaina-Sánchez, J., Rubié-Cabrera, A. G., Vera-Carrión, M., Polledo-Bustamante, G. N., Brown-Smith, F. y Paz-Díaz, R. L. (2019). *Informe anual de los resultados del proyecto: El aporte teórico-práctico del Centro de Estudios de Educación Ambiental-Gea a la educación ambiental y energética*. En soporte digital. La Habana. Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona.
- Bosque-Suárez, R., Mendoza-Rodríguez, M., Merino-Gómez, T., Fundora-Llitas, J.; Abreu-Alfonso, O., Rodríguez-Cantero, J., Gilbert-Lamadrid, M. P., Osorio-Abad, A., Torraz-Días, O., Williams-Zulueta, O. Vicente-Clemente, E., González-Rubalcabar, E., Cruz-Pérez, J., y García-Hernández, A. (2007). *La educación ambiental permanente de los profesionales de la educación. Informe anual del resultado: Marco teórico-metodológico de la educación ambiental permanente en la formación de profesionales de la educación*. [Informe de investigación no publicado]. Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, La Habana, Cuba.
- Bravo, M. T. (2022). Trayectoria de la institucionalización de la educación ambiental en la educación superior en México. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, 39(Especial), 93-115. <https://doi.org/10.14295/remea.v39i2.14164>
- Bullard, R. D. (2020). *Dumping in Dixie: Race, Class, and Environmental Quality* (3rd Edition). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429495274>
- Carrere, M. (2025). *Desafíos ambientales 2025: Chile se tensiona entre desarrollo económico y conservación*. Mongabay. <https://acortar.link/RIGMdp>
- Castillo, L. C. (2021). *La educación ambiental desde la asignatura de química en México* [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona.
- Corbetta, S. A. y Sessano, P. (2021). Fundamentos políticos y conceptuales para diseñar las políticas de educación ambiental en el sistema educativo argentino. *Praxis & saber*, 12(28), 1-15. <https://acortar.link/ODjcTz>
- Cruz, G. J. (2022). Educación ambiental en instituciones educativas de educación básica en Latinoamérica: Revisión sistemática. Ciencia Latina. *Revista Multidisciplinar*, 6(3), 723-739. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2255
- Escudero, C. (2020). El análisis temático como herramienta en Comunicación Social. *La Trama de la Comunicación*, 24(2), 89-100. <https://acortar.link/DWcMwG>
- Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conservation Biology*, 19(3). <https://doi.org/10.1111%2Fj.1523-1739.2005.00697.x>
- Fung, A. (2020). *Empowered Participation: Reinventing Urban Democracy*. Princeton University Press. <https://acortar.link/Myby7o>
- Hidalgo, C. (2020). La desfiguración discursiva de la educación ambiental en Venezuela. *En Prospectiva*, 1(1), 15-35. <https://acortar.link/bDZngn>
- Hincapié, S. (2023). *Gobernanza ambiental global y derechos de la naturaleza en América Latina*. *Derecho Estado*, (54), 277-305. <https://doi.org/10.18601/01229893.n54.09>

- Ibarra, R. (2018). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 51(152), 569-597. <https://doi.org/10.22201/ijj.24484873e.2018.152.12918>
- Isidro, M. E. y Forlani, N. (2019). Derecha y agronegocio en Argentina y Brasil. Cambios y continuidades. *Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, (31), 59-77. <https://doi.org/10.17163/uni.n31.2019.03>
- Leal-Iga, J. (2019). Efectos físicos de la contaminación atmosférica percibidos de manera inconsciente por la ciudadanía, en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública*, 21(4), 423-429. <https://www.scielo.org/pdf/rsap/2019.v21n4/423-429/es>
- Ley n.º 9795 (1999). *Ley de Educación Ambiental de Brasil*. <https://acortar.link/dnyVJ6>
- Lozano, R. (2024). Construcciones sociocognitivas de la selva, el territorio y educación ambiental en pobladores de la selva amazónica colombiana. [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad de la Amazonia.
- Mejía, L. F. y Vaz, A. (2022). La educación ambiental promovida por las políticas de educación ambiental de Brasil y Colombia. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, 17(4), 2652-2669. <https://doi.org/10.21723/riaee.v17i4.14226>
- Mendoza, M. A. y Silva, L. J. (2023). Programa de educación ambiental y su efectividad en la educación ambiental. *Koinonía*, 8(2), 642-661. <https://acortar.link/6bsHJC>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2002). Política Nacional de Educación Ambiental. <https://acortar.link/5LN2gt>
- Ministerio de Educación de Chile. (2009). Ley General de Educación nro. 20370. <https://acortar.link/qeA7R7>
- Ministerio de Educación de la Nación Argentina. (2006). Ley de Educación Nacional nro. 26206. <https://acortar.link/qeA7R7>
- Ministerio de Educación y Cultura de Uruguay. (2008). Ley General de Educación nro. 18437. <https://acortar.link/Nm0MgU>
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2016). *Plan Nacional de Educación Ambiental (PLANEA), 2017-2022*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per161555anx.pdf>
- Molina, D. E., Chavarro, S. G., Guzmán, B. O., Molina, D. E., Chavarro, S. G., y Guzmán, B. O. (2022). Impactos del conflicto armado colombiano sobre el medio ambiente y acciones para su reparación efectiva. *Revista Científica General José María Córdova*, 20(40), 1087-1103. <https://doi.org/10.21830/19006586.1129>
- Molina, L. K., Chumpitaz, J., Rojas, L. C. y Romero, L. M. (2024). Competencias de conciencia ambiental en estudiantes universitarios del Perú. Una propuesta didáctica. *Uisrael*, 11(1), 139-429. <https://doi.org/10.35290/rcui.v11n1.2023.1125>
- Pita, L. A. (2016). Línea de tiempo: educación ambiental en Colombia. *Praxis*, 12, 118-125. <http://dx.doi.org/10.21676/23897856.1853>

- Plaza, R. (2025). Los nuevos desafíos de Chile en la gestión ambiental de los pasivos mineros. *Revista de Derecho Administrativo*, (41), 330-343. <https://doi.org/10.7764/redad.41.27>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Rivas, R. M., Vásquez, A., Morales, H. I. y Silva, J. A. (2023). Contribución de la educación ambiental ante el cambio climático en la región Lambayeque. *Revista Hacedor*, 7(2), 62-73. <https://doi.org/10.26495/rch.v7i2.2520>
- Romero, R. M. (2014). *Algunos obstáculos y perspectivas de la de la Educación Ambiental*. Centro Nacional de Educación Ambiental. <https://acortar.link/0wmGfm>
- Sandes, A. B. y Calixto, R. (2021). Educación Ambiental y Movilización del Conocimiento: Un estudio de caso del curso de Licenciatura en Educación del Campo de la Universidad Federal do Recôncavo da Bahia-Brasil. Brazil. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 121253–121277. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-748>
- Santos, C., González, M. N., Rodríguez, P., Vázquez, M., Bergós, L. y Ligrone, A. (2022). 30 años no es nada: una aproximación a las políticas ambientales en Uruguay. *Cuadernos del Claeh*, 41(116), 127–145. <https://doi.org/10.29192/claeh.41.2.8>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Compendio de estadísticas ambientales 2018*. <https://acortar.link/T6Uo6h>
- Sepúlveda, Á. (2023). Una mirada medioambiental a las últimas décadas en Chile: avances, compromisos y desafíos. *Cuadernos médicos sociales*, 63(3), 55-58. <https://acortar.link/FK06bS>
- Sepúlveda, A., Jiménez, E., Luna, A., Gutiérrez, J. M. y Corral, A. (2025). Desafíos en la transición energética. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(1), 844 – 857. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3383>
- Sierra, Y. (2025). *Desafíos ambientales de Perú 2025: urge la lucha eficaz contra las economías ilícitas*. Mongabay. <https://acortar.link/kujohn>
- Suárez, R. y Álvarez, A. (2024). La situación ambiental en Venezuela: una mirada desde los medios de comunicación. *Clima 21*. <https://acortar.link/aiUsqa>
- Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores. (2025). *Historia*. <https://acortar.link/XRgGVV>
- World Wildlife Fund. (2022). *Amazonía en crisis: la pérdida de bosques amenaza a la región y al planeta*. <https://acortar.link/SIDvd5>
- Yupanqui, R. y Leyva, N. A. (2024). Conciencia ambiental: Empoderando cambios mediante la Alfabetización. *Revista Científica de la UCSA*, 11(1), 108-128. <https://acortar.link/JKuSRU>



USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS

Riqueza, abundancia y actividad de mamíferos silvestres captados en un abrevadero, Sendero El Cornizuelo, Costa Rica.

Richness, abundance and activity of wild mammals captured in a waterhole, Sendero El Cornizuelo, Costa Rica.

Riqueza, abundância e atividade de mamíferos silvestres capturados em um poço, Sendero El Cornizuelo, Costa Rica.

**Ronald Jesús Sánchez Brenes,
Adolfo Salinas Acosta y
María Fernanda López Venegas**
Universidad Nacional, Costa Rica
ronald.sanchez.brenes@una.cr

Artículo científico

Enviado: 8/1/2025
Aprobado: 10/7/2025
Publicado: 16/7/2025

RESUMEN

La crisis climática está propiciando el mayor evento de extinción masiva de biodiversidad por factores como el estrés hídrico. El bosque tropical seco es uno de los ecosistemas con mayor riesgo. En Costa Rica el bosque tropical seco se ubica en la región Pacífico Norte, donde se llevó cabo esta investigación con el objetivo de determinar la riqueza, abundancia relativa y periodos de actividad de mamíferos silvestres a partir de la construcción de un abrevadero abastecido por un sistema de captación de agua de lluvia como alternativa de conservación. Este reservorio se usó como sitio estratégico para colocar dos cámaras trampa durante los años 2022 y 2023; reportándose 17 especies, de las cuales cuatro tuvieron mayor abundancia relativa. Los periodos de actividad reflejaron mayor presencia de especies en los meses de enero a abril, en donde la mayoría de los mamíferos tienen hábitos nocturnos. De las 17 especies de mamíferos, dos están en peligro de extinción para Costa Rica. En el periodo seco se registró mayor cantidad de mamíferos, siendo el mes de marzo el que tuvo más reportes. Los reductos de bosques en los Campus Universitarios, como el Sendero El Cornizuelo, son una alternativa de conservación.

Palabras clave: agua, bosque tropical seco, cámaras trampa, vida silvestre

ABSTRACT

The climate crisis is driving the largest mass extinction of biodiversity due to factors such as water stress. The tropical dry forest is one of the ecosystems most at risk. In Costa Rica, the tropical dry forest is located in the North Pacific region, where this research was conducted to determine the richness, relative abundance, and activity periods of wild mammals by building a watering hole supplied by a rainwater harvesting system as a conservation alternative. This reservoir was used as a strategic site to deploy two camera traps during 2022 and 2023; 17 species were reported, of which four had the highest relative abundance. The activity periods reflected a greater presence of species in the months of January to April, when most mammals are nocturnal. Of the 17 mammal species, two are in danger of extinction in Costa Rica. The largest number of mammals was recorded during the dry season, with March being the month with the highest number of reports. Forest reserves on university campuses, such as the El Cornizuelo Trail, are a conservation alternative.

Keywords: dry tropical forest, trap cameras, water, wildlife

RESUMO

A crise climática está impulsionando a maior extinção em massa da biodiversidade devido a fatores como o estresse hídrico. A floresta tropical seca é um dos ecossistemas mais ameaçados. Na Costa Rica, a floresta tropical seca está localizada na região do Pacífico Norte, onde esta pesquisa foi conduzida para determinar a riqueza, a abundância relativa e os períodos de atividade de mamíferos selvagens, construindo um bebedouro abastecido por um sistema de coleta de água da chuva como alternativa de conservação. Este reservatório foi usado como local estratégico para a instalação de duas armadilhas fotográficas durante 2022 e 2023; 17 espécies foram relatadas, das quais quatro apresentaram a maior abundância relativa. Os períodos de atividade refletiram uma maior presença de espécies nos meses de janeiro a abril, quando a maioria dos mamíferos tem hábitos noturnos. Das 17 espécies de mamíferos, duas estão em perigo de extinção na Costa Rica. O maior número de mamíferos foi registrado durante a estação seca, sendo março o mês com o maior número de relatos. Reservas florestais em campi universitários, como a Trilha El Cornizuelo, são uma alternativa de conservação.

Palavras-chave: água, câmeras de armadilha, floresta tropical seca, vida selvagem

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la crisis climática está propiciando el mayor evento de extinción masiva de biodiversidad por factores como el estrés hídrico (Organización de Naciones Unidas, 2023). Está problemática se agudiza conforme la temperatura aumenta. Los datos muestran una tendencia dramática continua, con poblaciones de fauna silvestre en declive, peligro de extinción en aumento y deterioro de la salud e integridad de los ecosistemas (World Wildlife Foundation, 2024). En lugares con rangos climáticos limitados, donde el agua es escasa, se estima que se pueden llegar a afectar alrededor de 30 652 especies (Panel Intergubernamental contra Cambio Climático, 2023). Los descensos de las poblaciones de fauna silvestre que han sido analizadas funcionan como un indicador de alerta temprana de la posible pérdida funcional y de resiliencia de los ecosistemas. Esto no solo afecta a las especies implicadas; como seres humanos también dependemos de estos ecosistemas (alimentos, agua, aire, medicinas) (World Wildlife Foundation, 2024).

Como parte de la solución para mantener y mejorar las poblaciones de especies, las funciones de los ecosistemas, las contribuciones de la naturaleza a las personas y ayudar a garantizar la estabilidad del clima y la prosperidad del ser humano, se necesitan acciones de conservación que estén a la altura del reto. Detener y revertir la pérdida de naturaleza de aquí a 2030 requiere no solo lograr la conservación tradicional a mayor escala, sino también abordar sistemáticamente los factores que impulsan la pérdida de poblaciones (Organización de Naciones Unidas, 2023).

Uno de los ecosistemas con mayor riesgo ante esta amenaza es el bosque tropical seco, el cual contempla el 42% de los bosques tropicales que existen en el mundo. Este hábitat se puede encontrar en grandes áreas como India, México, el Este de Suramérica, Norte de Australia y África, o en áreas más pequeñas como Centroamérica y representa un ambiente crítico para los mamíferos (Van-Bloem *et al.*, 2004). En años recientes se ha registrado la muerte de varias especies de mamíferos en estos ecosistemas por falta de agua. Por ejemplo, en África (Kenia y Namibia) diferentes medios han reportado los decesos de elefantes, cebras, ñus y búfalos (Latschan, 2024). En el sureste de México, Pozo *et al.* (2024) reportaron la muerte de monos aulladores (*Alouatta palliata mexicana*) debido al estrés hídrico y olas de calor. Asimismo, en Bolivia se informa sobre la muerte de venados por la misma razón (Muñoz, 2023).

En Costa Rica, el bosque tropical seco se ubica en la región Pacífico Norte, específicamente en dos áreas de conservación, el Área de Conservación Tempisque y el Área de Conservación Guanacaste. Esta región presenta escasez hídrica, principalmente durante la estación seca (diciembre-abril) (Salinas *et al.*, 2023a), donde se ha tenido que buscar alternativas de fuentes hídricas (Salinas *et al.*, 2023b) para consumo humano, agricultura, ganadería y vida silvestre. Una de esas alternativas ha sido los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), determinada como práctica sostenible desde tiempos antiguos (König *et al.*, 2013; Tzanakakis *et al.*, 2020).

El agua captada en los SCALL se puede disponer en otras infraestructuras como tanques de almacenamiento, reservorios o abrevaderos (Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa, 2018). Entre los usos más comunes que tienen los SCALL está el consumo humano, uso doméstico, la agricultura y la ganadería (Gómez *et al.*, 2018). Pocas veces los SCALL se han construido para la conservación de la fauna silvestre.

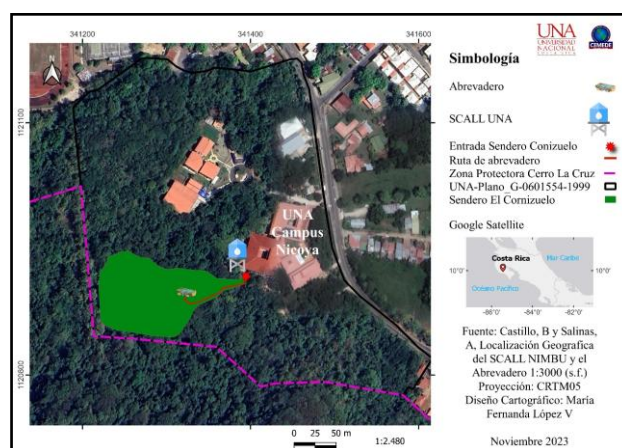
En el Campus Nicoya de la Universidad Nacional existe un SCALL denominado SCALLUNA. Este se utiliza para potabilizar agua de lluvia para consumo humano, en dicho sistema hay un excedente constante de 4 m³, el cual se aprovecha para la vida silvestre a través de la construcción de un abrevadero en el Sendero El Cornizuelo; por lo que la presente investigación tuvo como objetivo determinar la riqueza, abundancia relativa y periodos de actividad de mamíferos silvestres a partir de la construcción del referido abrevadero abastecido por un sistema de captación de agua de lluvia como alternativa de conservación en El Sendero El Cornizuelo, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La presente investigación se realizó en Guanacaste, Costa Rica, donde existe el bosque tropical seco que se caracteriza por tener una época seca bien prolongada (seis a ocho meses) que va de diciembre a mayo y un periodo de lluvias bien definido entre mayo y noviembre con entre 1500 y 2000 mm anuales de precipitación y una temperatura promedio de 24 °C (Holdridge, 1978). Se trabajó en el Sendero El Cornizuelo, ubicado en el Campus Nicoya de la Universidad Nacional, dentro de un área boscosa que tiene una extensión de 10,6 ha, un perímetro de 467 m y colinda al Sur con la Zona Protectora La Cruz. El abrevadero construido se ubicó a 98 m de la entrada del sendero (figura 1).

Figura 1. Ubicación del abrevadero para fauna silvestre dentro del Campus Nicoya de la Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica

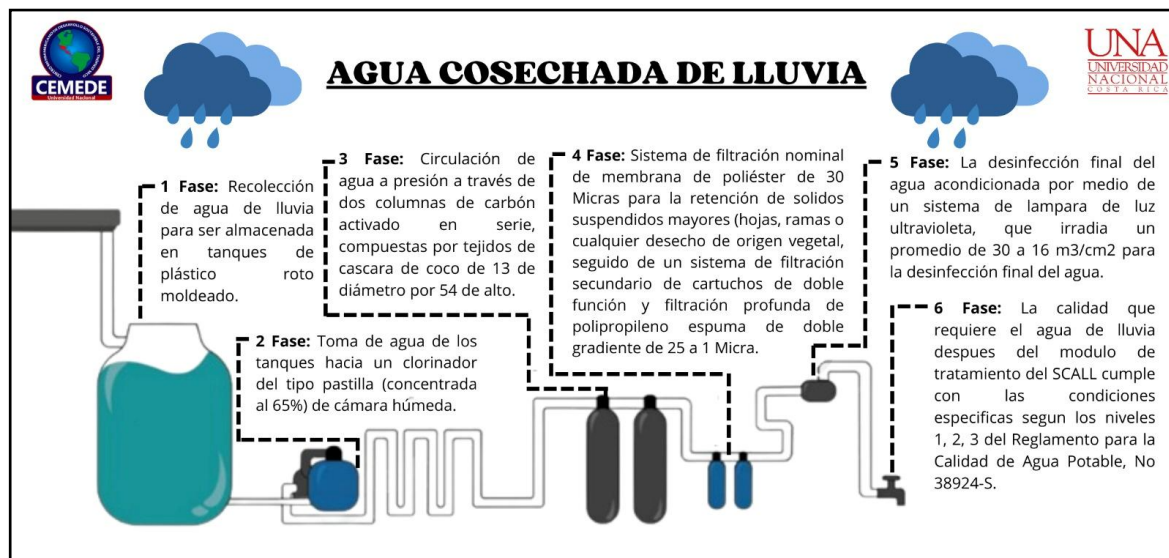


Fuente: Elaborada por los autores.

Construcción del abrevadero

En el Campus Nicoya de la Universidad Nacional se tiene desde el año 2016 un sistema de captación de agua de lluvia (SCALLUNA), que consiste en un techo con un área de 48 m² que recolecta el recurso hídrico pluvial y lo dispone en tres tanques de almacenamiento de 5000 litros cada uno. Posterior a esto el agua se potabiliza mediante un sistema hidroneumático y motobomba, pasa por filtros de carbón activado y grava, después por filtros secundarios, lámpara ultravioleta, sistema de potabilización de osmosis inversa y sistema de ozonificación. Esto con el fin de potabilizar el agua de lluvia para consumo humano (Salinas *et al.*, 2023b) (figura 2).

Figura 2. SCALLUNA, Campus Nicoya, Universidad Nacional (UNA) de Costa Rica.



Fuente: Elaborada por los autores.

En el SCALLUNA hay un remanente de 4 m³, por lo que se optó por construir un abrevadero en el Sendero El Cornizuelo, para contribuir con la conservación de la fauna silvestre mediante el aporte del recurso hídrico de manera constante durante todo el periodo de investigación. Este abrevadero, cuenta con las siguientes dimensiones: 1,32 m de largo, 0,44 m de ancho, 0,23 m de profundidad, grosor de pared de 5 cm y un volumen aproximado de 121 litros (figura 3).

Figura 3. Abrevadero SCALLUNA.



Fuente: Tomadas por los autores.

Riqueza

A partir de la construcción del abrevadero se determinó la riqueza de especies de mamíferos mediante la colocación de dos cámaras trampa una Bushnell HD modelo 119740 (B&H Foto & Electronics Corp.) y continuo a esta, otra cámara Browning Strike Force HD, Pro-X (BTC-5HDPX), ambas frente al abrevadero como sitio estratégico, debido a que es una fuente constante de abastecimiento de agua. Estas cámaras se ubicaron a una altura de 20 a 50 cm del suelo, y no se utilizaron cebos ni sustancia que atrajeran a la fauna silvestre en el sitio donde se colocaron (Lizcano, 2018). Las cámaras funcionaron en modo de video de manera continua durante los 24 meses de muestreo (17 520 horas) del 1 de enero 2022 al 31 de diciembre 2023. Solo se desactivaron para obtener los datos almacenados en las tarjetas SD y cambiar las baterías en los momentos requeridos. Una vez obtenidos los datos se identificaron las familias y especies de mamíferos.

Abundancia relativa de especies

Se calculó la abundancia relativa de cada especie de mamíferos capturados en las cámaras trampa mediante el Índice de Abundancia Relativa (IAR). Para estimar el IAR con las capturas de las cámaras trampa, se usó la siguiente fórmula, $IAR = C/EM \times 1000$ días trampa.

Donde:

C = Capturas o eventos fotografiados independientes

EM = Esfuerzo de muestreo (No. De cámaras x días de monitoreo (estacional o total)).

Se tomaron en cuenta como captura independiente tres criterios:

- a) Fotografías consecutivas de diferentes individuos.
- b) Fotografías consecutivas de la misma especie separadas por 24 horas.
- c) Fotografías no consecutivas de la misma especie.

Periodos de actividad

Una vez obtenidos los datos de las cámaras trampa se determinó la presencia de los mamíferos por mes, por días en el mes y por periodos de actividad (Cortés y Briones, 2014, Sánchez *et al.*, 2019). Se contabilizó el número de especies por mes en los dos años de muestro, así como el número de días que estuvieron presentes dentro del mes.

Se consideraron como mamíferos nocturnos los registros entre las 18h01 y las 06h00 y diurnos entre las 6h01 y las 18h00. Para el registro de las especies se usaron lapsos de tres horas en el día de la siguiente manera: 00h01 a 03h00, 03h01 a 06h00, 06h01 a 09h00, 09h01 a 12h00, 12h01 a 15h00, 15h01 a 18h00, 18h01 a 21h00, 21h01 a 00h00. En este caso, se contabilizó como un evento capturas que tuvieran actividad de cada especie de mamífero con una hora de diferencia (Sánchez y Monge, 2021).

Sistematización y análisis de datos

Para la sistematización y análisis de los datos de riqueza, abundancia relativa y periodos de actividad se utilizó el software Excel. Para cada uno de estos parámetros medidos se utilizó estadística descriptiva mediante histogramas a partir de los resultados obtenidos en el análisis de cámaras trampa.

RESULTADOS

Se analizaron 4070 videos de las dos cámaras trampa, obteniéndose 1084 eventos. El esfuerzo de muestreo fue de 1460 días cámara y 17 520 horas. La riqueza registrada en el Sendero El Cornizuelo fue de 17 especies de mamíferos. La especie de mamíferos con mayor IAR fue *Nasua narica*, seguida de *Didelphis marsupialis*, *Cuniculus paca* y *Odocoileus virginianus*, además de 13 especies con menor IAR. Dentro de las especies muestreadas se destacan por su estado de conservación los felinos *Herpailurus yagouaroundi* y *Leopardus pardalis*, así como *Spilogale putorius* (tabla 1 y figura 4).

Tabla 1. Especies de mamíferos identificados en el Campus Nicoya de la UNA, 2023.

	Familia	Especie	Nombre común	IAR	Estado de conservación	
					UICN	SINAC
Mayor IAR	Procyonidae	<i>Nasua narica</i>	Pizote	70	PM, D	PM
	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro pelón	9,2	PM, E	PM
	Cuniculidae	<i>Cuniculus paca</i>	Tepezcuintle	9	PM, E	PM
	Cervidae	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado cola blanca	7,1	PM, E	PM
Menor IAR	Felidae	<i>Leopardus pardalis</i>	Ocelote	1,1	PM, D	EN
	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo hediondo	0,9	PM, UN	PM
	Dasypodidae	<i>Dasypus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas	0,8	PM, E	PM
	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache	0,8	PM, A	PM
	Didelphidae	<i>Philander melanurus</i>	Zorro cuatro ojos	0,7	PM, E	PM
	Sciuridae	<i>Echinosciurus variegatoides</i>	Ardilla	0,6	PM, E	PM
	Mephitidae	<i>Spilogale putorius</i>	Zorrillo manchado	0,2	VU, D	PM
	Canidae	<i>Canis latrans</i>	Coyote	0,1	PM, A	PM
		<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Zorra gris	0,1	PM, E	PM
	Didelphidae	<i>Caluromys derbianus</i>	Zorro de balsa	0,1	PM, D	PM
	Felidae	<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Yaguarundí	0,1	PM, D	EN
	Mephitidae	<i>Mephitis macroura</i>	Mofeta o zorrillo	0,1	PM, A	PM
	Myrmecophagidae	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	0,1	PM, UN	PM

Nota: **UICN:** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, **SINAC:** Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica, **IAR:** Índice de abundancia relativa **PM:** Preocupación menor, **VU:** Vulnerable, **EN:** En peligro de extinción, **D:** Disminuyendo, **A:** Aumentando, **E:** Estable, **UN:** Desconocido, **N/A:** No hay.

Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 4. Algunas especies de mamíferos observadas en el abrevadero del Sendero El Cornizuelo.



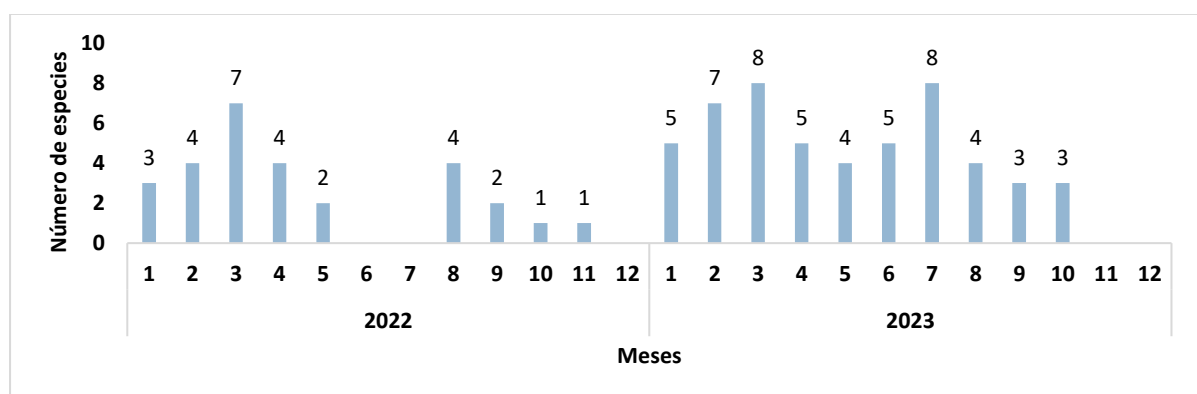
Nota: (a) *Cuniculus paca*, (b) *Nasua narica*, (c) *Herpailurus yagouaroundi*, (d) *Odocoileus virginianus*, (e) *Leopardus pardalis* y (f) *Canis latrans*.

Fuente: Tomadas por los autores.

La distribución de especies por mes durante el período de muestreo mostró que, en el año 2022, los meses donde más mamíferos se registraron fue marzo (siete especies) seguido de febrero, abril y agosto (cuatro especies), enero (tres especies), mayo y setiembre (dos especies), octubre y noviembre (una especie). Mientras que en junio, julio y diciembre no hubo ningún registro.

Para el año 2023, marzo repitió como el mes con mayor actividad en conjunto con julio (ocho especies), seguido de febrero (siete especies), enero, abril y junio (cinco especies), mayo y agosto (cuatro especies). La presencia de mamíferos en el abrevadero disminuyó en septiembre y octubre (tres especies), en noviembre y diciembre no hubo registros de los mamíferos (figura 4).

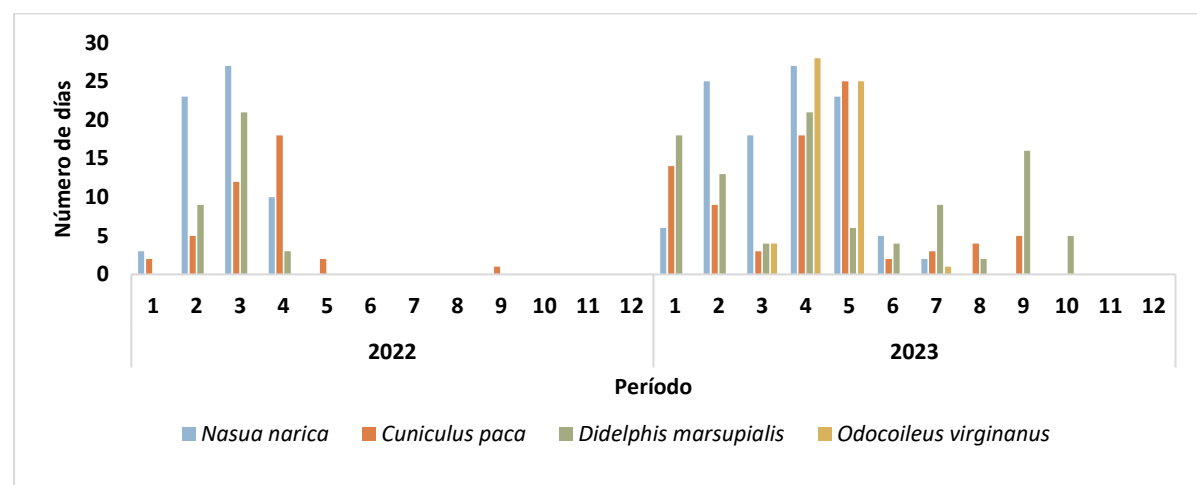
Figura 4. Número de especies de mamíferos registradas en el Sendero El Cornizuelo.



Fuente: Elaborada por los autores.

Para el año 2022, las especies con mayor IAR se registraron en los meses de febrero a abril. El mamífero con mayor presencia fue *N. narica* con 23 días en febrero y 27 días en marzo, seguido de *D. marsupialis*, 21 días de marzo. En 2023 se incrementó la presencia de mamíferos en el Sendero El Cornizuelo, *O. virginianus* estuvo presente 28 días en marzo y 25 en mayo, *N. narica* 27 días en abril y 25 en febrero, mientras que *D. marsupialis* 21 días en abril y 18 en enero, asimismo, esta especie fue la más constante dado que se reportó en todos los meses de actividad en 2023 (figura 5).

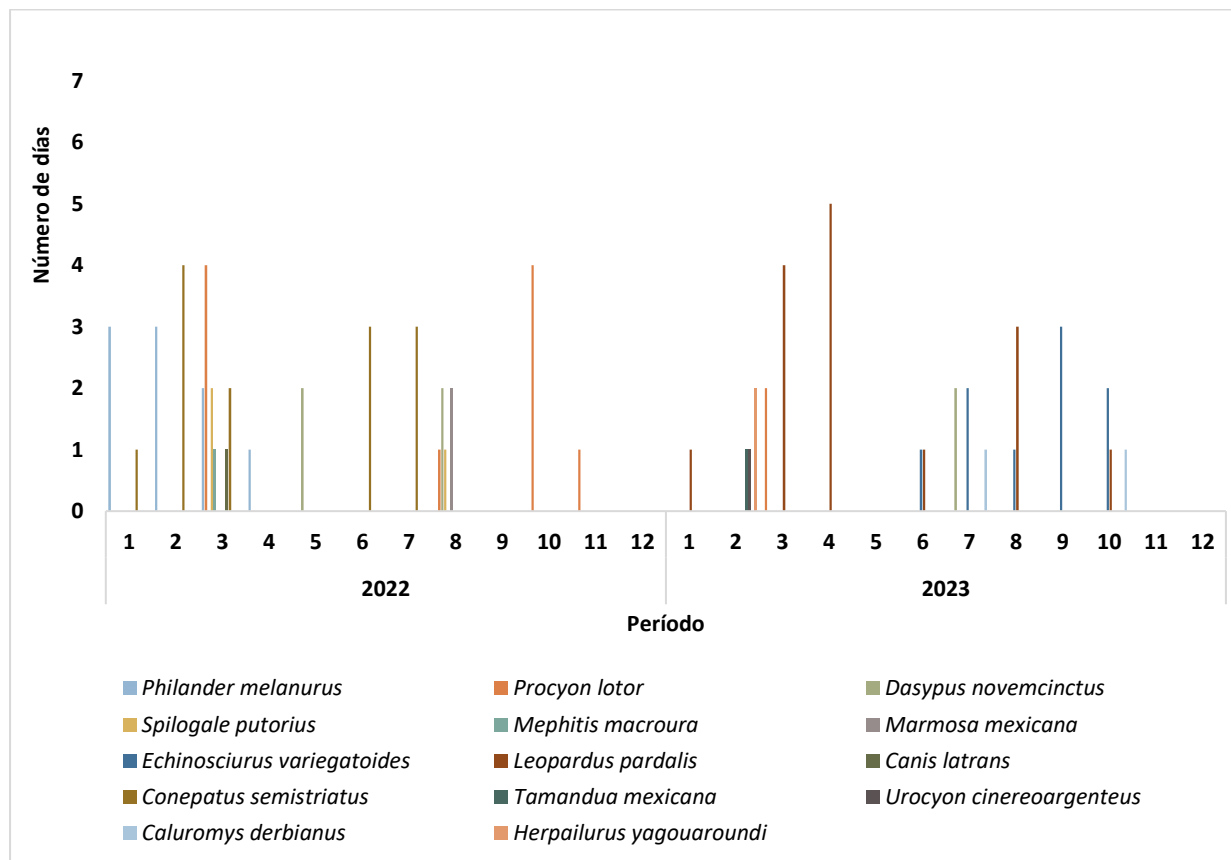
Figura 5. Número de días por especie de mamíferos con mayor IAR en el Sendero El Cornizuelo.



Fuente: Elaborada por los autores.

De los mamíferos con menor IAR, el *L. pardalis* fue el que tuvo más presencia, cinco ocasiones en abril y cuatro en marzo 2023, seguido de *P. lotor* (setiembre y octubre 2022) y *C. semistriatus* (febrero 2022) con cuatro, *P. melanurus* (enero y febrero 2022) y *E. variegatoides* (setiembre 2023) con tres. Además, se destaca la presencia de *H. yagouaroundi* (febrero 2022) con dos, especie en peligro de extinción para Costa Rica, al igual que *L. pardalis*. El resto de las especies aparecieron esporádicamente en el sitio de estudio (figura 6).

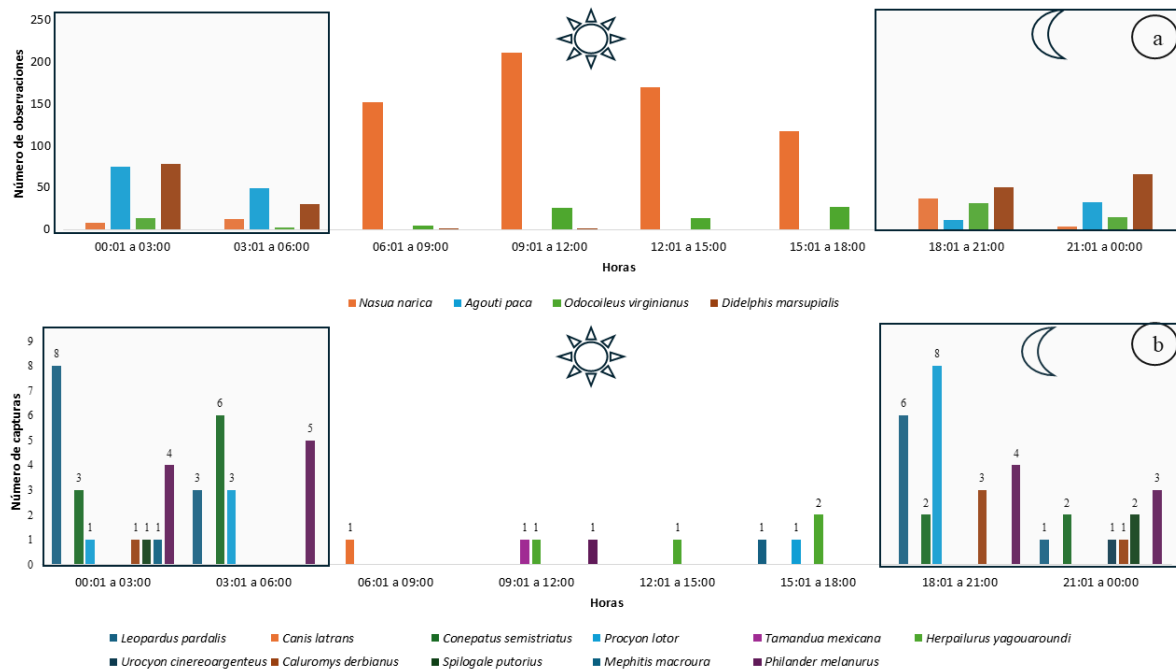
Figura 6. Número de días por especie de mamíferos con menor IAR en el Sendero El Cornizuelo.



Fuente: Elaborada por los autores.

Las especies de mamíferos con mayor IAR registraron hábitos nocturnos entre las 18h01 hasta las 6h00. Por otro lado, en horario diurno *N. narica* fue la especie con mayor número de registros seguido de *O. virginianus*, sobre todo en la franja horaria de las 9h01 a las 12h00. De igual manera, los mamíferos con menor abundancia tienen hábitos nocturnos, reflejados en los datos obtenidos, en los cuales *L. pardalis* y *P. lotor* fueron las especies con más registros en este horario. Por otra parte, *C. latrans*, *H. yagouaroundi* y *T. mexicana* fueron los únicos mamíferos vistos de día (figura 7).

Figura 7. Períodos de actividad de mamíferos silvestres en el Sendero El Cornizuelo.



Nota: (a) Mayor abundancia, (b) menor abundancia.

Fuente: Elaborada por los autores.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se registraron en un periodo de dos años (2022-2023) diecisiete especies de mamíferos mediante cámaras trampa ubicadas en el abrevadero del Sendero El Cornizuelo, cuyo ecosistema es un bosque tropical seco, con un área de 10 ha; mientras que Sánchez *et al.* (2019) y Sánchez *et al.* (2021) registraron 17 y 21 especies de mamíferos respectivamente en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes de la Universidad de Costa Rica con cuatro cámaras trampa colocadas sobre los senderos La Fila y Pájaro Sombrilla, en un bosque lluvioso e inalterado, con una extensión de 7800 ha, en un periodo de un año y siete meses de muestreo.

Sánchez y Monge (2024) registraron, con cuatro cámaras trampa ubicadas en pasos de fauna y fuentes de agua en dos agroecosistemas con café, con una extensión de 5 ha, en un periodo de tres años, 19 especies de mamíferos. Castillo *et al.* (2018) en comunidades cercanas al sitio de investigación también registraron 17 especies de mamíferos mediante entrevistas, donde destacaron como más abundantes el mono congo (*Alouatta palliata*), *O. virginianus*, *E. variegatoides* y *D. novencimctus*. De estas cuatro especies, la que no se registró en esta investigación, fue *A. palliata*, la cual no se detectó probablemente porque la cámara trampa se ubicó a 50 cm del suelo.

Los resultados de este estudio se podrán considerar parecidos al compararlos con estas otras investigaciones. Esto puede deberse a la presencia del abrevadero, al área de estudio donde la escasez de agua es una característica principal sobre todo en época seca. Además de la ubicación estratégica de las cámaras trampa y la duración de la investigación.

Nasua narica tuvo mayor abundancia, a pesar de que sus poblaciones están en descenso (Cuarón *et al.* 2016). Esto puede deberse a que es una especie que se desplaza en manadas de 25 o más individuos (Reid y Gómez, 2022) sobre todo durante la época seca, en busca de alimentos (Gompper,

1995) y recurso hídrico. Para el Parque Nacional Palo Verde, Burger y Gochfeld (1992) durante cinco días de observación reportaron 106 individuos de *N. narica*, incluso en manadas de 13 individuos. En esta investigación el IAR=70, reportándose hasta 22 individuos haciendo uso del abrevadero en un mismo momento.

N. narica, en conjunto con *P. lotor*, *D. marsupialis* y *O. virginianus*, todas registradas en esta investigación, son consideradas por los productores perjudiciales para la agricultura y la ganadería, consecuencia de la falta de conectividad con otras áreas protegidas y la carencia de extensiones de bosques adecuadas (Castillo *et al.* 2018). Por lo que los parches boscosos protegidos como el Sendero El Cornizuelo, podrían evitar desplazamientos y por ende conflictos con prácticas agropecuarias. De igual forma estas acciones de conservación pueden contribuir a que especies no tan abundantes como los felinos *H. yagouaroundi* y *L. pardalis*, catalogadas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (2017), como especies en peligro de extinción para Costa Rica, puedan mantener sus poblaciones, donde *H. yagouaroundi* se vio con crías, contrario a los datos obtenidos por Castillo *et al.* (2018), los cuales no reportaron esta especie en Nicoya.

La presencia o ausencia de algunas especies de un año a otro y entre meses reportada en este estudio, puede deberse a que algunas son residentes y otras podrían usar el sendero El Cornizuelo como parte de su desplazamiento o búsqueda de recursos (Sánchez y Monge, 2024). La actividad de los mamíferos con mayor IAR muestra a *D. marsupialis* con mayor actividad entre las 21h01 y 3h00, lo cual coincide con lo indicado por Mc Manus (1974), el cual menciona que el género *Didelphis* tiene un patrón de acción nocturna, que comienza cuando oscurece con una actividad máxima entre las 23h01 y las 2h00. *C. paca* también muestra un comportamiento nocturno y algunas veces con actividad temprano en la mañana y al final de la tarde (Pérez, 1992), tal y como se refleja en la presente investigación. *N. Narica*, cuya actividad por lo general es diurna (Reid y Gómez, 2022) se registra a todas horas, con el mayor pico de acción entre las 12h00 y 16h00, lo cual coincide con otras investigaciones en diferentes hábitats (Sánchez *et al.*, 2019; Sánchez *et al.*, 2021; Sánchez y Monge, 2024). La actividad de *O. virginianus* puede variar de acuerdo con el ambiente en el que se presenta (Smith, 1991). En este estudio, se nota a *O. virginianus* con mayor presencia entre las 18h01 y 21h00, aunque en el período de las 9h01 a las 12h00 tuvo bastante actividad, lo cual puede deberse a la disponibilidad constante de agua en el abrevadero.

Las especies con menor IAR mostraron a *H. yagouaroundi*, *C. latrans*, *P. melanurus*, y *T. mexicana* con actividad entre las 09h01 a las 15h00. *H. yagouaroundi* es una especie nocturna pero también se presenta en el día (Oliveira, 1998). *P. melanurus* es generalmente nocturna, pero se ha registrado escasamente con actividad diurna (Nowak, 1991), al igual que en este estudio. Mientras que *T. mexicana* y *C. latrans* aunque no es usual, pueden tener actividad diurna (Bekoff, 1997, Navarrete y Ortega, 2011).

CONCLUSIONES

La riqueza del Sendero El Cornizuelo es de 17 especie. Las cuatro más abundantes son *N. narica*, *D. marsupialis*, *C. paca* y *O. virginianus*. *L. pardalis* y *H. yagouaroundi*, las que se consideran en peligro de extinción para Costa Rica. Asimismo, se presentan algunas especies que son esporádicas.

Para el periodo de investigación (2022-2023) durante la época seca, marzo fue el mes que tuvo más registros. Mientras que, en la época lluviosa, diciembre no obtuvo datos.

Las especies con actividad diurna tienen mayor actividad entre las 09h01 y las 12h00. En tanto que los mamíferos nocturnos entre las 00h01 y las 06h00.

Los reductos de bosques en los campus universitarios como el Sendero El Cornizuelo, contribuyen a la conectividad de ecosistemas. Además, proveen hábitat, refugio, alimento y recursos hídricos para muchas especies que necesitan ser protegidas, entre ellas los mamíferos.

La construcción y utilización de abrevaderos en diferentes espacios son una alternativa para la conservación de la biodiversidad ante la escasez del recurso hídrico. Sobre todo, durante la época seca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bekoff, M. (1977). *Canis latrans*. *Mammalian Species*, (79), 1-9. <https://doi.org/10.2307/3503817>
- Burger, J. y Gochfeld, M. (1992). Effect of group size on vigilance while drinking in the coati, *Nasua narica* in Costa Rica. *Animal Behaviour*, 44(6), 1053-1057. [https://doi.org/10.1016/s0003-3472\(05\)80317-3](https://doi.org/10.1016/s0003-3472(05)80317-3)
- Castillo, M., Piedra, L., Sandoval, I. y Carvajal, J. (2018). Conocimiento popular de los mamíferos del Parque Nacional Barra Honda, Nicoya, Costa Rica. *Uniciencia* 32(2), 82-95. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.32-2.6>
- Cortés, M. y Briones, M. (2014). Diversidad, abundancia, relativa y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en una selva seca del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Revista Biológica Tropical*, 62(4), 1433-1448. <https://shre.ink/xgNZ>
- Cuarón, A. D., Helgen, K., Reid, F., Pino, J. y González, J.F. (2016). *Nasua narica*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://acortar.link/yUEkLJ>
- Gómez, W., Rojas, J., Suárez, A. y Salinas, A. (2018). *Potabilización de agua de lluvia, alternativa en el trópico seco*. Conferencia Agua, Justicia Ambiental y Paz. Calí, Colombia. <https://acortar.link/YdGs5x>
- Gompper, M. (1995). *Nasua narica*. *Mammalian Species*, (487), 1-10. <https://doi.org/10.2307/3504195>
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. <https://acortar.link/pgv09r>
- König, K. W., y Sperfeld, D. (2013). *Rainwater Harvesting - A global issue matures*. <https://shre.ink/xgNr>
- Latschan, T. (2024). Namibia sacrificará animales salvajes en medio de la sequía. *DW Global Media Forum*. <https://shre.ink/xgNF>
- Lizcano, D. (2018). Trampas cámara como herramienta para estudiar mamíferos silvestres: algunas recomendaciones sobre su uso, programas disponibles para manejar archivos y posibilidades adicionales con los datos. *Notas Mastozoológicas*, 5(1-2), 31-37. <https://doi.org/10.47603/manovol5n1.31-35>
- Mc Manus, J.J. (1974). *Didelphis virginiana*. *Mammalian Species*, (40), 2-6. <https://doi.org/10.2307/3503783>

- Ministerio de Economía Familiar, Comunitaria, Cooperativa y Asociativa, Cooperación Suiza en América Central. (2018). *Uso del agua del reservorio en labores agropecuarias*. Serie técnica de cosecha de agua de lluvia Vol.5. Cooperación Suiza en América Central / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8970>
- Muñoz, C. (2023). *Tragedia ambiental: Animales mueren por falta de agua en el Parque Nacional Kaa-Iya*. Red Uno. <https://shre.ink/xgNe>
- Navarrete, D. y Ortega, J. (2011). *Tamandua mexicana* (Pilosa: Myrmecophagidae), *Mammalian Species*, 43(874), 56-63. <https://doi.org/10.1644/874.1>
- Nowak, R. M. (1991). *Walker's mammals of the world*. John Hopkins University Press.
- Oliveira, T. (1998). *Herpailurus yagouaroundi*. *Mammalian Species*, (1), 1-6. <https://doi.org/10.2307/3504500>
- Organización de Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Edición Especial*. <https://shre.ink/xgNw>
- Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático. (2023). *Climate Change 2023 Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team. <https://acortar.link/PU45Ht>
- Pérez, E. (1992). *Agouti paca*. *Mammalian Species*, (10), 1-7. <https://doi.org/10.2307/3504102>
- Pozo, G., Aguilar, M. d. S., Aureli, F., Briseño, M., Canales, D., Cárdenas, A., Cortés, L., Coyohua, A., Espinosa, F. C., Franquesa, M., García, C., García, Y., González, M. R., Hermida, J., Hernández, L. T., Jasso, C., Lizama, J. A., Martínez, I. Z., Montejó, E. J., Núñez, G., Nuñez, P. Y., Pareja, P. S., Pinacho, B., Ramos, G., Rangel, A., Rivera, A. F., Sánchez, E., Serio, J.C., Smith, S. E., Solórzano, B., Spaan, D., Van Belle, S. y Dias, P. A. D. (2024), Howler Monkey Die-Off in Southern Mexico. *American Journal of Primatology*, 86, e23684. <https://doi.org/10.1002/ajp.23684>
- Reid, F. y Gómez, G. (2022). *Pocket Guide to the Mammals of Costa Rica*. Cornell University Press.
- Salinas, A., Baldioceda, A., Suárez, A., Gómez, W., Rojas, J. y Guillén, A. (2023a). Captación de agua de lluvia para consumo humano en el trópico seco de Costa Rica. *Revista Digital Costa Oriental*, (1), 3-24. <https://shre.ink/xgE9>
- Salinas, A., Zamora, K., Sánchez, R., Gómez, W., Baldioceda, A. y Guillén, A. (2023b). Agua de lluvia embotellada: Evaluación de su vida útil en Sistema Nimbú I. *Revista Pensamiento Actual*, 23(41), 12-28. <https://doi.org/10.15517/pa.v23i41.57640>
- Sánchez, R., Brenes, L., Chavarría, K. y Mejías, Y. (2019). Diversidad y patrones de actividad de mamíferos medianos y grandes en el sendero La Fila Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, (19), 175-189. <https://doi.org/10.15517/pa.v19i33.39619>
- Sánchez, R., Brenes, L., Chavarría, K. y Mejías, Y. (2021). Abundancia relativa, diversidad y patrones de actividad de mamíferos terrestres medianos y grandes, sendero Pájaro Sombrilla, Reserva

- Biológica Alberto Manuel Brenes, Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, (21), 37-57. <https://doi.org/10.15517/PA.V21I36.47014>
- Sánchez, R. J. y Monge, J. (2021). Períodos de actividad y dieta de *Dasyprocta punctata* (Gray, 1842) (Rodentia; Dasyproctidae) en agroecosistemas con café, San Ramón, Costa Rica. *Acta Zoológica Mexicana*, 37(1), 1-15. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712346>
- Sánchez, R. J. y Monge, J. (2024). Diversidad de mamíferos silvestres en agroecosistemas con café, Rincón de Mora, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. *Acta Zoológica Mexicana*, (40), 1-23. <https://doi.org/10.21829/azm.2024.4012592>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2017). Lista Oficial de Especies en peligro de extinción y con poblaciones reducidas y amenazadas. Ley de Conservación de Vida Silvestre N°7317 de 1992, SINAC-CONAC-092-2017. San José, Costa Rica. <https://shre.ink/xgNP>
- Smith, W.P. (1991). *Odocoileus virginianus*. *Mammalian Species*, (6), 1-13. <https://doi.org/10.2307/3504281>
- Tzanakakis, V., Paranychanakis, N. & Angelakis, A. (2020). Water supply and water scarcity. *Water* 12(9), 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
- Van-Bloem, S. J., Murphy, P. y Lugo, A. (2004). *Tropical dry forests. Encyclopedia of Forest Sciences*. 1767-1775. Academic Press.
- World Wildlife Foundation. (2024). *Informe Planeta Vivo 2024. Un sistema en peligro*. <https://shre.ink/xgEa>



USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS

**Mapa estratégico y cuadro de mando integral
en el manejo de áreas protegidas.**

*Strategic map and balanced scorecard in the
management of protected areas.*

*Mapa estratégico e quadro de indicadores
balanceados na gestão de áreas protegidas.*

Ismael Gerardo Guido-Granados

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

ismaelguido@gmail.com

Loraine Mayrim Giraud-Herrera

Fondo Verde, Venezuela

lgiraud@usb.ve

Artículo científico

Enviado: 25/8/2025

Aprobado: 11/10/2025

Publicado: 15/10/2025

RESUMEN

La gestión de las áreas protegidas enfrenta el desafío de integrar la conservación con la viabilidad financiera a largo plazo. Este estudio tomó como caso un área protegida de 7.800 hectáreas, ubicada en San Ramón (Alajuela, Costa Rica), tuvo como objetivo el diseño y validación de un modelo de planificación estratégica para la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, que aborde las debilidades institucionales y financieras identificadas en un análisis de Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas. La metodología se basó en un enfoque mixto, utilizando este análisis, la matriz Cuantitativa de la Planeación Estratégica y la validación de expertos mediante el Coeficiente W de Kendall. El análisis identificó 10 fortalezas, 21 debilidades, 10 oportunidades y 12 amenazas, calificadas con las matrices complementarias, con lo que se diseñaron ocho estrategias y 16 objetivos en las perspectivas. Los resultados demuestran que el modelo propuesto, que adapta el Cuadro de Mando Integral y el mapa estratégico, con una perspectiva de sostenibilidad, ofrecen una hoja de ruta viable para la gestión del área protegida y representa un enfoque innovador para optimizar recursos en contextos de presupuesto limitado.

Palabras clave: conservación, estación biológica, gestión, innovación, planificación.

ABSTRACT

The management of protected areas faces the challenge of integrating biodiversity conservation with long-term financial viability. This study focused on a 7,800-hectare protected area located in San Ramón (Alajuela, Costa Rica), with the objective of designing and validating a strategic planning model for the Alberto Manuel Brenes Biological Reserve, addressing institutional and financial weaknesses identified through a Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats analysis. The methodology adopted a mixed approach, combining this analysis with the Quantitative Strategic Planning Matrix, and expert validation using Kendall's W coefficient. The analysis identified 10 strengths, 21 weaknesses, 10 opportunities, and 12 threats, which were weighted through complementary matrices, leading to the design of 8 strategies and 16 objectives across different perspectives. The results demonstrate that the proposed model—adapting the Balanced Scorecard

and the strategic map with an emphasis on sustainability—provides a viable roadmap for protected areas management and represents an innovative approach to optimizing resources under budgetary constraints.

Keywords: biological station, conservation, innovation, planning, research.

RESUMO

A gestão das áreas protegidas enfrenta o desafio de conciliar a conservação ambiental com a viabilidade financeira de longo prazo. Este estudo teve como objetivo desenvolver e validar um modelo de planejamento estratégico para a Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, localizada em San Ramón (Alajuela, Costa Rica), com 7.800 hectares. A pesquisa utilizou uma abordagem metodológica mista, baseada na análise de Forças-Fraquezas-Oportunidades-Ameaças, na Matriz Quantitativa de Planejamento Estratégico e na validação por especialistas por meio do Coeficiente W de Kendall. A análise identificou 10 forças, 21 fraquezas, 10 oportunidades e 12 ameaças, as quais foram avaliadas com as matrizes complementares, resultando no delineamento de 8 estratégias e 16 objetivos distribuídos em diferentes perspectivas. Os resultados indicam que o modelo proposto — uma adaptação do Mapa Estratégico e no Quadro de Indicadores Balanceados com enfoque em sustentabilidade — oferece um roteiro viável para a gestão de áreas protegidas. Além disso, representa uma abordagem inovadora para a otimização de recursos em contextos marcados por restrições orçamentárias.

Palavras-chave: conservação, estação biológica, gestão, inovação, planejamento.

INTRODUCCIÓN

Las áreas protegidas (AP) son fundamentales para la conservación del patrimonio natural, pero su viabilidad a largo plazo se ve amenazada por la falta de planes de gestión robustos, en particular en países de América Latina con restricciones presupuestarias. Si bien las AP suelen ser eficientes en la planificación, la brecha crítica se encuentra en la ejecución y el monitoreo de sus objetivos. En este contexto, el Cuadro de Mando Integral (CMI) emerge como una solución pertinente, ya que traduce la estrategia en acciones concretas y medibles, equilibrando aspectos financieros y no financieros. La adaptación de esta herramienta, incorporando la sostenibilidad¹ como una perspectiva transversal, representa una contribución significativa para la gestión de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (RBAMB), una iniciativa estatal costarricense con un modelo de coadministración que requiere un enfoque estratégico para asegurar su sostenibilidad. Las AP se refieren a zonas terrestres y marinas de gran importancia, no sólo para la vida y un ambiente sano en la Tierra, sino también para la protección del patrimonio y los beneficios que brindan a los pueblos en el planeta (Worboys, 2019).

Dentro de las estrategias para su manejo, se encuentran los sistemas de AP, diseñados con enfoques estratégicos y el uso de técnicas de planeación sistemática con el objetivo de maximizar la conservación in situ del patrimonio natural (Worboys, 2019). En Costa Rica, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) incluye 152 AP (SINAC, 2025); además de numerosas reservas privadas, con 210 integradas en la Red Costarricense de Reservas Naturales (RCRN, 2025). Una de las iniciativas estatales es la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (RBAMB), su gestión sigue un

¹ Entendida como: “proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (Puerta, 2022, p. 5)

modelo de administración compartida entre la Universidad de Costa Rica (UCR), que se encarga de investigación, docencia, extensión y operación de la estación biológica, y el SINAC, responsable de la tenencia de la tierra, control y protección de los recursos naturales.

El plan general de manejo es la referencia que guía la administración de las AP en todos los aspectos involucrados en su manejo, su elaboración requiere investigaciones científicas clave en el diseño y ejecución. Por lo que, además de estudios básicos, es necesario desarrollar investigaciones aplicadas para mejorar la gestión en AP y estaciones biológicas (EB). Ghiglione (2021) señala que la falta de estrategias claras en la gestión de recursos escasos pone de manifiesto las debilidades que caracterizan las capacidades organizativas de una empresa o institución en cuanto a la necesidad de su adecuación a los cambios que se producen en el contexto particular vinculante.

Las EB han sido la base en la forma de hacer ciencia, al respecto Eppley *et al.* (2024) destacan que estos espacios ofrecen un alto retorno de inversión para la conservación, mejoran la calidad del hábitat, reducen la caza, fortalecen la aplicación de la normativa ambiental y están asociadas con menores tasas de deforestación. Se conoce que las organizaciones y las AP son buenas planificando, no así ejecutando sus planes, por lo que, para mejorar su gestión, el Cuadro de Mando Integral (CMI) y el Mapa Estratégico (ME) son clave, ya que traducen estrategias en medidas concretas, equilibrando finanzas, usuarios, procesos internos y crecimiento (Kaplan y Norton, 1996). Estas herramientas integran el control operativo a corto plazo con la estrategia a largo plazo, reduciendo costos y optimizando calidad y plazos (Kaplan y Norton, 2004, 2008). Por lo que, en el contexto latinoamericano, marcado por recortes permanentes de presupuesto y personal dedicado a las AP, estas herramientas representan la posibilidad de optimizar los recursos mediante una gestión adaptativa de estándares abiertos, con un enfoque gerencial que va más allá de contar con el plan general de manejo.

La incorporación de la sostenibilidad como una quinta perspectiva del CMI para el manejo de una AP le permite integrar los pilares social, económico, institucional y ambiental en la estrategia y gestión de la entidad, lo que facilita la implementación y medición de resultados, mediante la combinación de aspectos financieros y no financieros en un sistema integral de gestión del desempeño (Chehimi y Naro, 2024).

Se presentan los resultados de un estudio cuyo objetivo fue formular un esquema de planificación basado en el ME y el CMI sostenible, que demuestre la utilidad de estas herramientas en la gestión de AP, para el fortalecimiento de su rol como centros para labores científicas innovadoras.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se enfocó en el paradigma interpretativo con base epistemológica en el constructivismo, desde una perspectiva pragmática mixta, cualitativa y cuantitativa. La RBAMB se ubica en San Lorenzo de San Ramón (Alajuela, Costa Rica), en la cuenca alta del río San Lorenzo, Cordillera de Tilarán (*figura 1*). Esta AP de 7.800 ha forma parte del Área de Conservación Central (ACC) del SINAC y está inserta en un bloque de bosque continuo de al menos 50.000 ha (Cartín-Núñez, 2021). Comprende zonas de vida de bosque pluvial montano bajo y premontano, y alberga hábitats para al menos 1.200 especies de plantas superiores, 92 de anfibios y reptiles, 65 de mamíferos y 304 de aves (SINAC, 2020).

Diseño experimental y muestreo

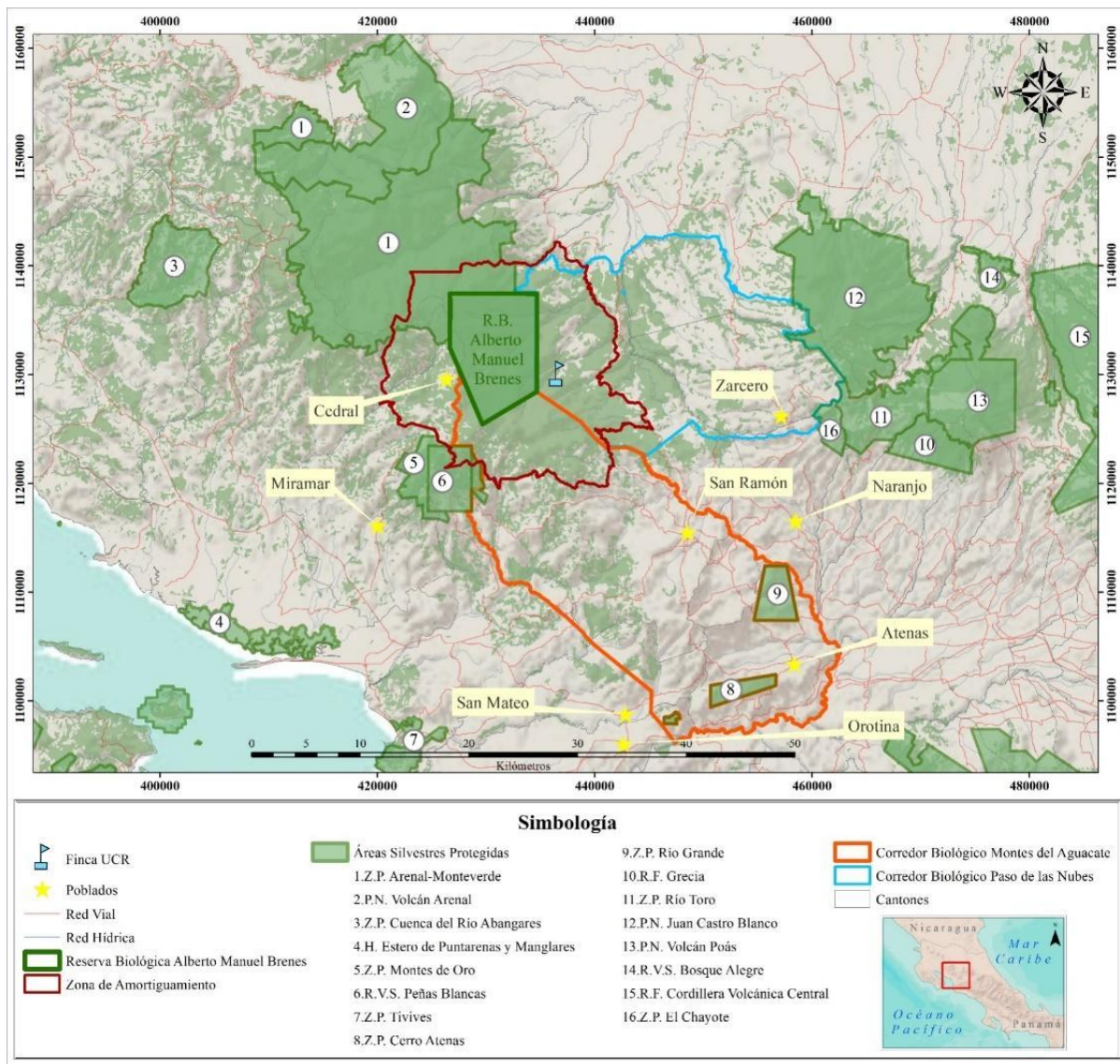
En la primera etapa del diseño del ME y el CMI, según lo descrito por González-Vega *et al.* (2022) se recopiló información a través de entrevistas cualitativas realizadas a 29 participantes. Se utilizó un

instrumento adaptado según el tipo de vínculo de cada grupo de interés con el AP: (a) directores, (b) encargados de investigaciones, (c) autoridades universitarias, (d) directores de proyectos, (e) guardaparques, (f) expertos en planificación, manejo y administración de AP y EB, (g) expertos en diseño e implementación del CMI y (h) usuarios, los datos obtenidos se analizaron en el programa ATLAS.ti (versión 22), este es uno de los programas para el análisis cualitativo asistido por computador más significativos para la codificación y análisis cualitativo de entrevistas semiestructuradas (Lopezosa *et al.*, 2022). Con estos datos, se realizó un análisis FODA (*Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas*) para evaluar los componentes estratégicos desde la perspectiva de las instituciones involucradas en el manejo del AP, para este se utilizó el método descrito por Siswanto (2020), empleando matrices complementarias: la de Evaluación de los Factores Internos (MEFI), la de Evaluación de los Factores Externos (MEFE), la de Amenazas, Oportunidades, Debilidades y Fortalezas (MAFE), y la Cuantitativa de la Planeación Estratégica (MCPE). Las estrategias derivadas se agruparon en categorías funcionales, estableciendo acciones necesarias para impulsar los cambios requeridos en la gestión.

La siguiente fase consistió en la aplicación de la metodología propuesta por Kaplan y Norton (1996) para la formulación del CMI, adaptada al contexto de sostenibilidad y al manejo de AP. Las perspectivas consideradas para la elaboración de objetivos e indicadores fueron, (a) la financiera, (b) del usuario, (c) procesos internos, (d) la de aprendizaje y crecimiento, (d) sostenibilidad, basada en la incorporación transversal de aspectos sociales, ecológicos, económicos e institucionales (Chehimi y Naro, 2024).

Los resultados se integraron en la matriz del CMI (Kaplan y Norton, 1996) y en el ME (Kaplan & Norton, 2004), reflejando la relación causa-efecto entre objetivos organizados según las perspectivas del CMI y verticalmente los factores de sostenibilidad. Nueve expertos validaron la propuesta evaluando su relevancia, claridad, coherencia, aplicabilidad, sostenibilidad e impacto. Los datos se sistematizaron en *Microsoft Excel 365* y se analizaron en IBM® *SPSS Statistics 26* (Rahman y Muktadir, 2021), aplicando el coeficiente de concordancia de Kendall (W) para evaluar la validez de contenido (Maskavizan *et al.*, 2023). Los resultados se interpretan según lo expuesto por Roux *et al.* (2025) desde un enfoque estratégico, sistémico, adaptativo y orientado a la búsqueda de valor público, que permita a los gestores la toma de decisiones informadas, priorizando acciones y uso de recursos para el alcance de la sostenibilidad ambiental, social e institucional del AP.

Figura 1. Ubicación de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Geográfico de Costa Rica.

RESULTADOS

Análisis FODA

En la *tabla 1* se enlistan las condiciones internas del análisis FODA, así como los datos de la MEFI, identificando y ponderando fortalezas y debilidades del AP, lo que permitió la priorización de factores críticos que requieren atención por parte de la administración. Entre los principales elementos fuertes de la AP destacan el respaldo legal que sustenta la administración conjunta, así como la disponibilidad de recursos vinculados con la biodiversidad y el agua, factores determinantes para su consolidación como un sitio de alta relevancia en la investigación científica. En contraste, dentro de las debilidades identificadas, las deficiencias en los procesos de planificación constituyen la prioridad a ser atendida.

Tabla 1. Condiciones internas del AP y sus instalaciones junto con el análisis por medio de la MEFI.

Factor crítico por analizar en las condiciones internas	Peso	Calificación (1 a 4)	Peso ponderado
Fortalezas			
F1. Ofrece infraestructura para hospedar usuarios	0	4	0
F2. Ubicación geográfica del AP	0.03	3	0.09
F3. Ubicación de la estación en medio del bosque	0.04	4	0.16
F4. Facilidad de acceso	0.01	1	0.01
F5. Brinda condiciones de seguridad para los visitantes	0.02	4	0.08
F6. Personal comprometido	0.02	4	0.08
F7. Buenas relaciones interinstitucionales y comunidad	0.03	3	0.09
F8. Respaldo de la figura jurídica para la coadministración	0.05	4	0.20
F9. Biodiversidad y recurso hídrico	0.05	4	0.20
F10. Investigaciones realizadas	0.03	4	0.12
SUBTOTAL	0.28		1.03
Debilidades			
D1. No posee una figura institucional	0.05	4	0.20
D2. No cuenta con partidas de presupuesto ordinario	0.05	4	0.2
D3. Pocos recursos económicos para operación e inversión	0.05	4	0.20
D4. No cuenta con los insumos requeridos para brindar servicios a visitantes	0.03	2	0.06
D5. Pocos recursos tecnológicos en la estación	0.03	4	0.12
D6. Antigüedad de las instalaciones	0.05	4	0.20
D7. Poco mantenimiento a las instalaciones	0.03	4	0.12
D8. Deficiente administración de los recursos	0.03	3	0.09
D9. Deficiente proceso de planificación	0.06	4	0.24
D10. Baja proyección local, nacional e internacional	0.03	3	0.09
D11. Falta de políticas institucionales sobre manejo y administración del AP	0.02	4	0.08
D12. Capacidad máxima del albergue es baja	0.01	1	0.01
D13. No se conoce el producto y no se sabe promocionarlo	0.03	3	0.09
D14. No hay costeo de productos, servicios y operación	0.03	2	0.06
D15. Riesgo que genera la cercanía al río y pendientes	0.02	4	0.08
D16. Instalaciones sin uso	0.05	3	0.15
D17. Falta de personal	0.04	4	0.16
D18. Falta de conocimiento de autoridades y comunidad universitaria respecto a su existencia	0.03	4	0.12
D19. No hay claridad de la propuesta de valor	0.03	3	0.09
D20. Poca relación entre las acciones del AP y las carreras	0.01	2	0.02
D21. Coadministración limita los procesos administrativos	0.04	4	0.16
SUBTOTAL	0.72		2.54
TOTAL	1		3.57

Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 2* se integran los datos sobre circunstancias externas y el análisis MEFE, identificando oportunidades y amenazas del sitio, estableciendo los elementos relevantes para la administración. Entre las oportunidades destaca el potencial para el desarrollo de investigaciones innovadoras de alto nivel, mientras que entre las amenazas se reconocen los riesgos asociados a eventos climáticos extremos y a la disminución de los recursos presupuestarios destinados a la atención de problemáticas ambientales.

Tabla 2. Condiciones externas del AP y sus instalaciones junto con el análisis por medio de la MEFE.

Factor crítico por analizar en las condiciones externas	Peso	Calificación (1 A 4)	Peso ponderado
Oportunidades			
O1. Desarrollo de investigaciones innovadoras.	0.07	4	0.28
O2. El auge de investigaciones sobre cambio climático - establecimiento de una estrategia con servicios.	0.06	4	0.24
O3. Atracción de nuevos grupos.	0.04	2	0.08
O4. Abordaje interdisciplinario de actividades sustantivas.	0.03	2	0.06
O5. Fomento de APP e interinstitucionales.	0.06	4	0.24
O6. Establecimiento de alianzas internacionales con universidades y entes que desarrollan investigaciones.	0.06	4	0.24
O7. Generación de trabajo colaborativo con otras estaciones	0.05	3	0.15
O8. Implementación de actividades para turismo científico.	0.03	2	0.06
O9. Aprovechamiento de la imagen y el nombre de la universidad para posicionarse en el ámbito nacional e internacional.	0.05	4	0.20
O10. Incremento de recursos financieros mediante venta de servicios.	0.06	4	0.24
SUBTOTAL	0.51		1.79
Amenazas			
A1. Cacería, incursiones ilegales, precarismo.	0.01	2	0.02
A2. Poco interés político para la búsqueda de solución.	0.05	4	0.20
A3. Pérdida de credibilidad por el manejo administrativo.	0.04	4	0.16
A4. Crecimiento de monocultivos en la ZA.	0.03	2	0.06
A5. Crisis y bajo crecimiento económico del país.	0.05	3	0.15
A6. Bajo apoyo de la cooperación internacional con el ingreso de Costa Rica en la OCDE.	0.05	4	0.20
A7. Afectaciones por eventos climáticos.	0.06	4	0.24
A8. Reducción del presupuesto estatal en materia ambiental.	0.06	4	0.24
A9. Cambios en la legislación que lleven a desaparición la AP.	0.03	3	0.09
A10. Pérdida del espacio y biodiversidad.	0.03	2	0.06
A11. No se gestiona el conocimiento que genera la investigación y docencia.	0.03	2	0.06
A12. Poca autonomía en el manejo del espacio.	0.05	4	0.20
SUBTOTAL	0.49		1.68
TOTAL	1		3.47

Fuente: *Elaboración propia.*

La identificación del estado y relevancia de los factores involucrados en el funcionamiento del AP facilitó el diseño de estrategias para su posicionamiento como centro para investigaciones, al incorporarlas dentro de un esquema de planificación adecuado como lo es el conformado por el ME y CMI.

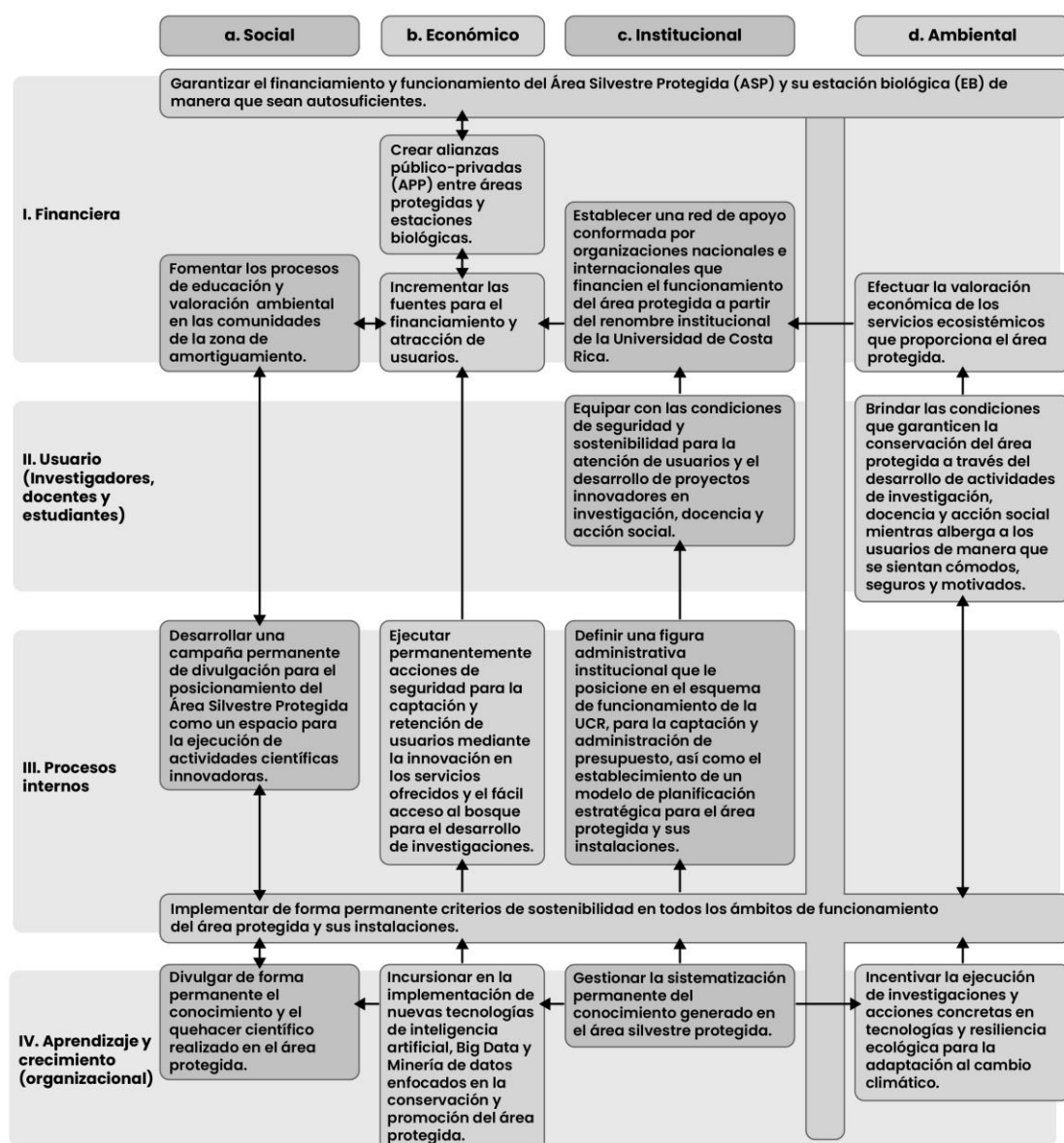
Propuesta estratégica

A partir del análisis FODA y la aplicación de la MAFE, se desarrollaron ocho estrategias específicas destinadas a la estructuración del CMI. Posteriormente, la utilización de la MCPE permitió jerarquizar estas medidas de actuación, definiendo un orden de implementación que optimiza recursos, fortalece la toma de decisiones y asegura el logro de los objetivos:

1. **Posicionamiento institucional:** asignación de una figura administrativa reconocida por la UCR que le posibilite ser competitiva mediante el establecimiento de alianzas público-privadas (APP) que permitan el mantenimiento y operación de las instalaciones (MCPE: 5.92).
2. **Modelo de planificación estratégica:** para el impulso del funcionamiento y autogestión de las instalaciones como un espacio para actividades de investigación (MCPE: 4.43).
3. **Captación de financiamiento:** uso del renombre de la UCR y el respaldo de la figura legal del AP para la búsqueda de apoyo de organizaciones nacionales e internacionales que le financien (MCPE: 4.36).
4. **Alianzas estratégicas:** con otras EB para la atracción de investigadores y turistas científicos en temas como cambio climático y sus efectos en los bosques tropicales (MCPE: 4.32).
5. **Atracción de usuarios:** aprovechamiento de las características del AP e instalaciones para atraer nuevas organizaciones y universidades que desarrollen investigaciones innovadoras (MCPE: 4.28).
6. **Políticas institucionales:** directamente relacionadas con el manejo y administración del AP que brinde respaldo administrativo y presupuestario (MCPE: 4.24).
7. **Estrategia de divulgación:** para el posicionamiento como un espacio valioso para el desarrollo de investigaciones innovadoras en distintos aspectos asociados con el cambio climático (MCPE: 4.22).
8. **Facilidad para investigaciones:** Aprovechamiento del fácil acceso de los investigadores al bosque para desarrollar investigaciones que describan los efectos del cambio climático (MCPE: 4.20).

En la *figura 2* se presenta la propuesta de ME para la implementación del CMI, en la cual los objetivos estratégicos se disponen de manera horizontal, mientras que las dimensiones de la sostenibilidad se presentan verticalmente, facilitando la visualización de sus interrelaciones. Este esquema funciona como una hoja de ruta integral para optimizar la gestión institucional y consolidar la organización como un centro de investigación orientado a la sostenibilidad y la excelencia. Asimismo, incorpora seis objetivos estratégicos específicamente vinculados a la perspectiva financiera del CMI, cuyo desglose detallado se presenta en la *tabla 3*.

Figura 2. Mapa estratégico para el AP e instalaciones en la RBAMB, Costa Rica.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Perspectiva financiera en el CMI de la RBAMB, Costa Rica.

Objetivo estratégico	Indicador	Meta	Verificadores	Plazo
PF1) Fomentar procesos de educación y valoración ambiental en comunidades de la ZA	Cantidad de comunidades involucradas	Involucramiento de la mayor cantidad de habitantes de la ZA	Listados de asistencia a actividades, fotografías de participantes	2028-2032
PF2) Incrementar las fuentes para el financiamiento y atracción de usuarios	Cantidad de fuentes de financiamiento y usuarios	En 5 años las fuentes de financiamiento y usuarios se han triplicado	Acuerdos de financiamiento firmados, registros de visitación	2030-2032

Objetivo estratégico	Indicador	Meta	Verificadores	Plazo
PF3) Crear APP entre AP y EB	Cantidad de APP establecidas y en ejecución	Una alianza con al menos tres EB de distintas regiones del país	Acuerdos de colaboración firmados	2030-2032
PF4) Establecer una red de apoyo conformada por organizaciones nacionales e internacionales que financien el funcionamiento del AP	Cantidad de organizaciones que apoyan	Al menos 2 organizaciones internacionales y una nacional apoyan financieramente el funcionamiento	Acuerdos de colaboración firmados	2024-2032
PF5) Garantizar el financiamiento y funcionamiento del AP y su EB para que sean autosuficiente	Porcentaje de autofinanciamiento del AP	Un AP autosuficiente	Nivel de financiamiento institucional	2024-2032
PF6) Efectuar la valoración económica de los servicios ecosistémicos (SE) que proporciona el AP.	Cantidad de SE que se han valorado en términos económicos	Total conocimiento del valor de los SE del AP	Informes y publicaciones de las investigaciones realizadas	2030-2032

Fuente: *Elaboración propia.*

Resulta relevante contar con fuentes de financiamiento garantizadas en el largo plazo, en donde las APP con instancias nacionales e internacionales sirvan como una red de apoyo, tanto para las investigaciones como para los procesos de educación ambiental y valoración de los servicios ecosistémicos. Desde la perspectiva del usuario, se plantearon dos objetivos estratégicos (*tabla 4*), orientados al establecimiento progresivo de las condiciones necesarias para apoyar a los investigadores.

Tabla 4. *Perspectiva del usuario en el CMI de la RBAMB, Costa Rica.*

Objetivo estratégico	Indicador	Meta	Verificadores	Plazo
PU1) Equipar con condiciones de seguridad y sostenibilidad para la atención de usuarios y el desarrollo de proyectos innovadores.	Valoración dada por los usuarios Cantidad de proyectos inscritos	Al menos 15 proyectos académicos formalmente inscritos	*Cuestionarios de evaluación *Formulaciones aprobadas en sistemas institucionales	2030-2032
PU2) Brindar condiciones que garanticen la conservación del AP a través de actividades de investigación, docencia y acción social mientras alberga a usuarios de manera que se sientan cómodos, seguros y motivados.	Plan de manejo en ejecución Calificación dada por usuarios	Total conservación de los recursos naturales del AP al servicio del usuario	*Informes anuales de labores *Evaluaciones recibidas	2027-2032

Fuente: *Elaboración propia.*

En este ámbito resalta la necesidad de conservar la integridad ecológica del AP y fomentar el conocimiento respaldado con medidas de seguridad y sostenibilidad para usuarios, así como para la ejecución de las investigaciones. En cuanto a procesos internos, en la *tabla 5* se presentan los objetivos y acciones requeridas para su implementación, en donde resaltan la seguridad, la sostenibilidad en los procesos y la definición de la figura administrativa, complementadas con un ejercicio permanente que dé a conocer la existencia de un espacio apto para la ejecución de investigaciones de primer nivel.

Tabla 5. *Perspectiva de procesos internos en el CMI de la RBAMB, Costa Rica.*

Objetivo estratégico	Indicador	Meta	Verificadores	Plazo
PPI1) Desarrollar una campaña permanente de divulgación para el posicionamiento del AP como espacio para actividades científicas innovadoras.	Campaña en ejecución	Posicionamiento del AP como espacio para el desarrollo de investigaciones innovadoras	Publicaciones en plataformas y medios definidos	2028-2032
PPI2) Ejecutar permanentemente acciones de seguridad para la captación y retención de usuarios mediante la innovación en servicios ofrecidos y fácil acceso de investigadores al bosque.	Cantidad de medidas de seguridad implementadas	Retención de la totalidad de usuarios a través del servicio y seguridad ofrecidos	*Registros de visitación *Cuestionarios de evaluación	2028-2032
PPI3) Implementar permanentemente criterios de sostenibilidad en los ámbitos de funcionamiento del AP.	Cantidad de criterios de sostenibilidad en ejecución	Aplicación de indicadores de sostenibilidad en actividades ejecutadas	Controles y registros internos	2024-2032
PPI4) Definir la figura administrativa institucional que le posicione en el esquema de funcionamiento de la UCR.	Figura administrativa definida	Figura administrativa asignada.	Resolución del Consejo de la Vicerrectoría de Investigación	2028-2032
	Modelo de planificación vigente	Modelo de planificación en ejecución		

Fuente: *Elaboración propia.*

En la *tabla 6* se presentan los objetivos estratégicos orientados al aprendizaje y crecimiento institucional, con énfasis en la divulgación del conocimiento y los logros científicos alcanzados en el área protegida, abarcando desde la difusión permanente de resultados de investigación y la sistematización de la información generada, hasta la incorporación de tecnologías innovadoras y el fomento de investigaciones sobre resiliencia ecológica y adaptación al cambio climático.

Tabla 6. Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento Institucional en el CMI de la RBAMB, Costa Rica.

Objetivo estratégico	Indicador	Meta	Verificadores	Plazo
PAC1) Divulgar permanentemente el conocimiento y quehacer científico realizado en el AP	Frecuencia de publicación de resultados	30 posteos por mes en redes sociales sobre resultados de investigación	Publicaciones en medios definidos	2028-2032
PAC2) Incursionar en la implementación de tecnologías de inteligencia artificial, Big Data y Minería de Datos para la conservación y promoción del AP	Cantidad de tecnologías en las que se ha incursionado	Innovación en la implementación de tecnologías de inteligencia artificial dirigidas a la conservación de AP	Propuestas de innovación ejecutadas	2028-2032
PAC3) Gestionar la sistematización permanente del conocimiento generado en el AP	Base de datos actualizada Documentos sistematizados	Base de datos con toda la información del AP	Base de datos con archivos sistematizados	2028-2032
PAC4) Incentivar la ejecución de investigaciones y acciones concretas en tecnologías y resiliencia ecológica para la adaptación al cambio climático	Investigaciones en esta temática	Máxima cantidad de investigaciones en ejecución	Proyectos inscritos	2024-2032

Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar la validez de las estrategias que conforman el ME y el CMI sostenible, estas fueron evaluadas por expertos en manejo y administración de AP y EB. En la *tabla 7* se presentan los resultados de dicha evaluación, incluyendo los valores del coeficiente W de Kendall y el grado de acuerdo alcanzado para cada estrategia, lo que permite identificar cuáles cuentan con mayor consenso entre los especialistas y cuáles requieren ajustes o fortalecimiento.

Tabla 7. Validación de las estrategias propuestas mediante el Coeficiente W de Kendall.

Estrategia	W de Kendall	Grado de acuerdo
Captación de financiamiento	0.374	Aceptable
Modelo de planificación estratégica	0.279	
Facilidad para investigaciones	0.268	
Alianzas estratégicas	0.220	
Atracción de usuarios	0.217	
Posicionamiento institucional	0.216	
Estrategia de divulgación	0.127	Leve
Políticas institucionales	0.068	Pobre

Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 8* se muestran los resultados del proceso de validación de los objetivos propuestos, evaluados mediante el coeficiente W de Kendall, así como el grado de acuerdo alcanzado entre los expertos. Esta información permite identificar el nivel de consenso respecto a cada objetivo.

Tabla 8. Resultados de la validación de los objetivos propuestos mediante el Coeficiente W de Kendall.

Objetivo	W de Kendall	Grado de acuerdo	Objetivo	W de Kendall	Grado de acuerdo
PF5	0.401	Moderado	PPI1	0.197	Leve
PPI3	0.351	Aceptable	PPI4	0.152	
PAC4	0.341		PAC2	0.111	
PF4	0.273		PAC3	0.111	
PF1	0.270		PU1	0.085	Pobre
PPI2	0.237		PF6	0.081	
PAC1	0.222		PF3	0.061	
			PF2	0.019	

Fuente: Elaboración propia.

Los objetivos calificados como moderados y aceptables son prioritarios para alcanzar un desarrollo estratégico sostenible basado en el CMI y ME, no obstante, existente otros de menor calificación que se requieren para complementar las acciones planteadas. La propuesta estratégica ofrece opciones de ejecución basadas en las perspectivas del CMI, asegurando que el funcionamiento del AP cumpla con estándares que favorezcan su mejora continua.

DISCUSIÓN

Las AP y sus instalaciones deben operar bajo un enfoque gerencial que priorice la conservación, asuma retos y transforme estructuras administrativas para alcanzar competitividad y sostenibilidad. En este enfoque se incorporan los aspectos recomendados por Navarro-Álvarez *et al.* (2023), planeación, control, proyección, objetivos, estrategias y rendición de cuentas. El análisis FODA evaluó la competitividad, proporcionando un marco conceptual para un análisis sistemático que alineó amenazas y oportunidades externas con fortalezas y debilidades internas, fortaleciendo su gestión estratégica (Azandi y Wening, 2025; Puyt *et al.*, 2025).

Las condiciones internas de la entidad se evaluaron mediante la MEFI, una herramienta que analiza la capacidad operativa al identificar fortalezas y debilidades a través de variables específicas (Siswanto, 2020). Entre las fortalezas destacan la ubicación estratégica de las instalaciones en medio del bosque, este detalle es resaltado por Sarkar *et al.* (2023), quienes analizan cómo la pandemia por COVID-19 afectó la conservación de la biodiversidad y las redes comunitarias en el Parque Nacional Kibale en Uganda, destacando el papel crucial de las estaciones de campo en la mitigación de estos impactos debido a que desempeñan un papel importante en la conservación, ya que sirven como bases para el monitoreo a largo plazo, proporcionan espacios de encuentro para científicos y ofrecen formas innovadoras de involucrar a la comunidad en la conservación.

Otro aspecto es el respaldo jurídico que garantiza la coadministración, así como la conservación de la biodiversidad y el recurso hídrico. En cuanto a las debilidades, se identificó una carencia en los procesos de planificación, esenciales como herramientas de gestión para la toma de decisiones orientadas a la eficiencia, eficacia y calidad de los servicios ofrecidos, con el objetivo de alcanzar las metas planteadas (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica, 2022), así como la ausencia de una figura institucional que posicione el AP dentro del esquema administrativo de la UCR y la subutilización de sus instalaciones, al respecto, Zeng *et al.* (2025), enfatizan respecto a cómo la falta de intervenciones institucionales puede afectar el desarrollo de políticas orientadas a resultados en AP, destacando la importancia de una estructura organizativa clara para la implementación efectiva de estrategias de conservación.

La MEFE evidenció los elementos circundantes al funcionamiento del AP y la magnitud en que le influyen, permitiendo la evaluación y sistematización de la información relacionada que reconoce las oportunidades y amenazas del sector (Siswanto, 2020). En las oportunidades, prevalece el desarrollo de investigaciones relacionadas con el cambio climático; las APP, entendidas como iniciativas implementadas por los gobiernos para diseñar, ejecutar o financiar diversas fases de distintas actividades (Internacional de la Educación América Latina, 2023), lo que ofrece la oportunidad para que el AP acceda a fondos nacionales e internacionales destinados a fortalecer el funcionamiento. Con lo que se aborda una de las principales amenazas identificadas por los expertos: la reducción del presupuesto estatal en materia ambiental y la afectación por eventos climáticos.

La estructuración se realizó utilizando el CMI, un enfoque sistemático para la identificación, selección y medición de las prioridades organizacionales, con el propósito de orientar esfuerzos y recursos hacia el logro de resultados específicos definidos en su misión y visión. Aunque el CMI no selecciona estrategias, facilita su descripción y evaluación al establecer objetivos estratégicos, acciones clave y resultados esperados. Basado en relaciones causa-efecto, proporciona precisión sobre el alcance y la conducción de la estrategia (Ghiglione, 2021), aspectos requeridos en el AP.

La planificación estratégica incluyó el análisis de la visión del AP, la cual según Pallarés-Renau *et al.* (2022), define el estado futuro y la meta aspiracional de una organización, convirtiéndose en el reflejo del propósito y en un motor que moviliza esfuerzos hacia su cumplimiento. Por su parte, la misión sintetiza las directrices para la toma de decisiones y las acciones necesarias para alcanzar los objetivos organizacionales, respondiendo a la pregunta, qué hace la organización (Capriotti, 2021).

Kaplan y Norton (2004) establecen que el ME es una arquitectura genérica, lógica y completa para describir una estrategia, donde la relación causa-efecto constituye su hipótesis fundamental. Las propuestas de CMI sostenible, ME y servicios prioritarios del AP fueron validadas y priorizadas mediante consulta a expertos en manejo de espacios protegidos. Destacan, con condición aceptable, la “Captación de financiamiento”, fundamentada en el aprovechamiento del prestigio de la UCR y la figura legal del AP para la atracción de apoyo de organizaciones nacionales e internacionales. La UCR, reconocida como la mejor universidad de Centroamérica, ocupa el puesto 19 entre las instituciones de educación superior en América Latina y el 544 a nivel mundial según el ranking QS 2024. Sin embargo, esta universidad enfrenta una reducción significativa en los fondos estatales que recibe, afectando también el financiamiento del AP. Según Barborak (2021), en América Latina existe una enorme brecha entre los costos reales del manejo adecuado de los sistemas de AP y lo que los gobiernos de la región y distintos cooperantes están aportando.

El *Modelo de planificación estratégica* señala que un diseño que promueva el funcionamiento y la autogestión de las instalaciones como espacio para actividades de investigación fortalecerá su posicionamiento como centro para labores científicas innovadoras. La estrategia *Facilidad para investigaciones* destaca el fácil acceso al bosque y los servicios disponibles como elementos clave del valor agregado, definido como una característica o servicio adicional que incrementa el valor percibido de un bien (Mora *et al.*, 2024), se presenta como una oportunidad estratégica para atraer usuarios.

Las propuestas *Alianzas estratégicas*, *Atracción de usuarios* y *Posicionamiento institucional* presentan valoraciones aceptables, por lo que se incorporan como prioritarias. Respecto a la *Estrategia de divulgación*, es considerada como necesaria, pero leve, por lo que su implementación corresponde al largo plazo. La estrategia *Políticas institucionales* y sus objetivos se valoraron como pobre, por lo que fueron excluidos.

La herramienta se empleó en la validación de los objetivos propuestos para la perspectiva financiera, el calificado como moderado, presenta una probabilidad que permite considerar que las acciones enfocadas a la búsqueda de respaldo presupuestario son prioridad y deben estar dentro del modelo de planificación estratégica. Sobre esto, Beck *et al.* (2019) señalan que la mayoría de las estaciones, especialmente en los trópicos, están amenazadas por recortes de financiación y falta de apoyo público, por lo que requieren el fortalecimiento de los vínculos con actores académicos, gubernamentales, comunitarios, así como los privados. Por su parte, los catalogados como aceptables se integran y aportan tanto en la ejecución de investigaciones como en la implementación de criterios de sostenibilidad en el manejo del AP.

En la perspectiva financiera, ámbito institucional se ubica con condición aceptable, el objetivo “establecer una red de apoyo conformada por organizaciones nacionales e internacionales que financien el AP a partir del renombre institucional de la UCR”, es viable para ser incorporado como parte de la estrategia para la captación de financiamiento, tal es el caso del estudio que analizó en Brasil cómo las alianzas transnacionales con instituciones domésticas han potenciado la conservación, en el que se muestra que la capacidad institucional local y su credibilidad ayudan a atraer apoyo externo y financiamiento (Andonova y Piselli, 2022). En cuanto a *fomentar los procesos de educación y valoración ambiental en las comunidades de la zona de amortiguamiento* se considera como aceptable para la perspectiva financiera, ámbito social de la estrategia de divulgación, por lo que es apropiado implementarlo en una segunda etapa de labores. En relación con *ejecutar permanentemente acciones de seguridad para la captación y retención de usuarios mediante la innovación en los servicios ofrecidos y el fácil acceso al bosque para el desarrollo de investigaciones* fue considerado como aceptable para una etapa posterior, misma condición se presenta con *Divulgar de forma permanente el conocimiento y el quehacer científico realizado en el AP* que se ubica en la perspectiva de aprendizaje y crecimiento en el ámbito social de la estrategia de divulgación.

Se identificaron objetivos considerados como leves, los cuales muestran una probabilidad que indica una falta de concordancia plena entre los expertos evaluadores, por lo tanto, no son prioritarios para su ejecución. Entre estos resalta el de Definir una figura administrativa institucional que le posicione en el esquema de funcionamiento de la UCR, para la captación y administración de presupuesto, así como el establecimiento de un modelo de planificación estratégica para el AP y sus instalaciones, al respecto Morales *et al.* (2024) indican que las AP de la UCR no cuentan con una categoría interna de gestión definida, siendo RBAMB la excepción, ya que su clasificación se establece conforme a la ley de creación. Además, en el ámbito interno de la universidad no existe una normativa que defina qué se entiende por AP, lo que agrava la falta de claridad.

Hubo un grupo de objetivos para los que la valoración del W de Kendall arrojó la condición de pobre por lo que no representan un nivel prioritario para la implementación práctica de las acciones señaladas, condición similar a la encontrada por Franceschini y Maisano (2021) en su investigación. Se considera apropiado mantenerlos formando parte del CMI con prioridad baja e incorporados para una ejecución en el largo plazo. Finalmente, por las recomendaciones de los expertos en CMI se elaboró un objetivo, para la estrategia *Facilidad para investigaciones*, que resalta la propuesta de valor agregado que recibe el usuario del AP y que marca la diferencia por la que selecciona este sitio en particular, este es *Brindar las condiciones que garanticen la conservación del AP a través del desarrollo de actividades de investigación, docencia y acción social mientras alberga a los usuarios de manera que se sientan cómodos, seguros y motivados*. En lo que respecta a este tipo de dinámicas posteriores, Rdiouat *et al.* (2021), destacan la importancia de adaptar y agregar criterios de evaluación según las necesidades cambiantes de las partes interesadas, lo que implica la posibilidad de incorporar nuevos objetivos post-validación.

El CMI y el ME constituyen herramientas de gestión fundamentales para fortalecer el manejo adaptativo de las AP, al permitir una alineación coherente entre la visión institucional, los recursos disponibles y los objetivos de conservación. Su aplicación trasciende lo meramente administrativo al integrar dimensiones ambientales, sociales y financieras que optimizan la toma de decisiones en escenarios de alta complejidad ecológica, también posibilitan un enfoque sistémico que conecta acciones de gestión con resultados en biodiversidad, fomentando la resiliencia ecosistémica frente al cambio climático.

Además, contribuyen a la sostenibilidad mediante el diseño de estrategias basadas en evidencia, como alianzas estratégicas y modelos de financiamiento diversificados facilitando la adaptación a restricciones presupuestarias crecientes. La implementación del CMI en contextos de conservación promueve no solo la eficiencia operativa, sino también la creación de valor público a través de la generación de conocimiento, el compromiso comunitario y la protección de servicios ecosistémicos críticos, por ejemplo, el caso presentado por Farwig *et al.* (2025), en el que se adaptó el CMI para analizar programas de conservación en Europa, para la identificación de los factores que contribuyen al éxito o causan fallas. En este sentido, se presenta como una herramienta integral para avanzar hacia una gobernanza ambiental más efectiva, alineada con los retos globales de la sostenibilidad.

CONCLUSIONES

El ME y el CMI sostenible son herramientas clave para la gestión estratégica de AP, de manera que cumplan las acciones planificadas. La ausencia de un enfoque sostenible y sistemático puede acelerar la obsolescencia de modelos tradicionales, evidenciada por la disminución en investigación, biodiversidad, gobernanza y financiamiento.

La gestión de las AP debe alinearse con la planificación para la conservación, incorporando enfoques estratégicos que aseguren recursos financieros y fomenten la investigación e innovación, en particular en un contexto de recortes permanentes de presupuesto y personal. A la vez, estas herramientas representan la posibilidad de optimizar recursos mediante la gestión adaptativa de estándares abiertos, con un enfoque gerencial que va más allá de contar con el plan general de manejo.

La adaptación del ME y el CMI a la administración de una reserva biológica representa un cambio necesario que fortalece la coordinación operativa, promueve la conservación y establece las bases para una gestión eficiente y sostenible.

Asimismo, la propuesta de modificación de la metodología de elaboración del plan general de manejo, complementando el análisis FODA tradicional mediante la incorporación de herramientas como MEFI, MEFE, MAFE y MCPE, permitirá la definición de estrategias más integradas, realistas y orientadas a resultados, en coherencia con los objetivos nacionales e internacionales de conservación y sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andonova, L. y Piselli, D. (2022). Transnational partnerships, domestic institutions, and sustainable development: The case of Brazil and the Amazon Region Protected Areas program. *World Development*, 157, e105809. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105809>
- Azandi, K. y Wening, N. (2025). SWOT analysis in determining performance improvement strategies. *Jurnal Ekuisci*, 5(1), 41-47. <https://doi.org/10.62885/ekuisi.v3i1.842>

- Barborak, J. (2021). 30% para 2030: América Latina y la nueva meta global para sus sistemas de áreas protegidas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 368-378. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.19>
- Beck, P., Quirós, R., Johnson, C. y Wasserman, M. (2019). Biological research stations as central nodes in promoting North–South collaborative networks for teaching and research. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 39, 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.007>
- Capriotti, P. (2021). *DircomMAP: Dirección estratégica de comunicación*. Bidireccional. <https://acortar.link/lyNBaX>
- Cartín-Núñez, M. (2021). Mamíferos terrestres de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Costa Rica, durante el período 2009–2012. *InterSedes*, 22(45), 20-36. <https://doi.org/10.15517/isucr.v22i45.47084>
- Chehimi, M. y Naro, G. (2024). Balanced scorecards for corporate social responsibility strategic alignment: A systematic literature review. *Journal of Environmental Management*, 367, 122000. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122000>
- Eppley, T. M., Reuter, K. E., Sefczek, T. M., Tinsman, J., Santini, L., Hoeks, S., ... Mittermeier, R. A. (2024). Tropical field stations yield high conservation return on investment. *Conservation Letters*, 17(3), e13007. <https://doi.org/10.1111/conl.13007>
- Farwig, N., Sprenger, P., Baur, B., Böhning-Gaese, K., Brandt, A., ... Mosbrugger, V. (2025). Identifying major factors for success and failure of conservation programs in Europe. *Environmental Management*, 75, 425-443. <https://doi.org/10.1007/s00267-024-02086-x>
- Franceschini, F. y Maisano, D. (2021). Aggregating multiple ordinal rankings in engineering design: the best model according to the Kendall's coefficient of concordance. *Research in Engineering Design*, 32, 91–103. <https://doi.org/10.1007/s00163-020-00348-3>
- Ghiglione, F. (2021). El cuadro de mando integral como herramienta de eficiencia en la gestión empresarial. *Ciencias Administrativas: Revista Digital*, 18, 87-93. <https://doi.org/10.24215/23143738e088>
- González-Vega, A., Molina, R., López, A. y López, G. (2022). The qualitative interview as a research technique in the study of organizations. *New Trends in Qualitative Research*, 14, e571. <https://doi.org/10.36367/ntqr.14.2022.e571>
- Internacional de la Educación América Latina. (2023). *Las alianzas público-privadas en educación: Instrumentos ideológicos para un continuum del control privado sobre lo público*. Editorial Internacional de la Educación América Latina. <https://acortar.link/fxuUz5>
- Kaplan, R. y Norton, D. (1996). *Cuadro de mando integral*. Gestión 2000.
- Kaplan, R. y Norton, D. (2004). *Mapas estratégicos: Convirtiendo los activos tangibles en resultados tangibles*. Gestión 2000.
- Kaplan, R. y Norton, D. (2008). *The execution premium: Integrando la estrategia y las operaciones para lograr ventajas competitivas*. Ediciones Deusto.

- Lopezosa, C., Codina, L. y Freixa, P. (2022). *ATLAS.ti para entrevistas semiestructuradas: Guía de uso para un análisis cualitativo eficaz*. DigiDoc Research Group - Pompeu Fabra University. <https://acortar.link/x0lcwp>
- Maskavizan, A., Poco, A. y Calzolari, A. (2023). Aspectos prácticos del uso del coeficiente de concordancia W de Kendall para el jueceo de cuestionarios en enfermería. *Revista Arandu Poty*, 2(2), 23-32. <https://acortar.link/5QNT7S>
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica. (2022). *Plan Estratégico Nacional 2050*. San José, Costa Rica. MIDEPLAN y GeoAdaptive LLC. <https://acortar.link/EOSniu>
- Mora, J., García, E. y Ley, N. (2024). La propuesta de valor, factor clave para el éxito de los emprendimientos. *Revista Faeco Sapiens*, 7(2), 59-72. <https://acortar.link/fOOMOJ>
- Morales, A., Marín, A. y Fernández, M. (2024). Categorías de gestión interna de las áreas protegidas de la Universidad de Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 24(42), 34-44. <https://acortar.link/dEO1nj>
- Navarro-Álvarez, S., Pacheco-Sánchez, C., Navarro-Claro, G. y Cristancho, J. (2023). Enfoque gerencial: Sistemas administrativos, estilos y roles. *Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 11(1), 106-114. <https://acortar.link/jT1skN>
- Pallarés-Renau, M., López-Font, L. y Miquel-Segarra, S. (2022). Misión, visión y valores: Elementos determinantes en la construcción de un propósito diferenciador para las organizaciones del Tercer Sector. *Revista Internacional de Relaciones Públicas*, 12(23), 51-72. <https://acortar.link/BRUS4b>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Puyt, R., Lie, F. y Madsen, D. (2025). From SOFT approach to SWOT analysis: A historical reconstruction. *Journal of Management History*, 31(2), 333-373. <https://doi.org/10.1108/JMH-05-2023-0047>
- Rahman, A. y Muktadir, G. (2021). SPSS: An imperative quantitative data analysis tool for social science research. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, V(X). <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2021.51012>
- Rdiouat, Y., Bahsani, S., Lakhdissi, M. y Semma, A. (2021). Measuring and improving information systems agility through the balanced scorecard approach. *International Journal of Computer Science Issues*, 12(5). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.07281>
- Red Costarricense de Reservas Naturales. (2025). *Quiénes somos*. <https://www.reservasnaturales.org/es/quienes-somos>
- Roux, D., Kingsford R. y Cockburn, J. (2025). Strategic Adaptive Management for Transparency, Accountability and Learning: Insights from More Than a Quarter Century of Practice. *Environmental Management*. 75(10), 2521-2539. <https://doi.org/10.1007/s00267-025-02272-5>
- Sarkar, D., Gogarten, J., Liang, X., Andris, C., Abwa, E., Valenta, K., Kalbitzer, U., Sengupta, R. & Chapman, C. (2023). Impacts of COVID-19 on Biodiversity Conservation and Community Networks

at Kibale National Park, Uganda. *The Professional Geographer*, 76(2), 119–132. <https://doi.org/10.1080/00330124.2023.2250416>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2020). *Volumen II: Actualización del Plan General de Manejo de la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, Área de Conservación Central*. <https://acortar.link/75PAaQ>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2025). *Áreas de conservación*. Ministerio del Ambiente y Energía. <http://www.sinac.go.cr/ES/ac/Paginas/default.aspx>

Siswanto, A. (2020). Forest conservation management using SWOT analysis and QSPM matrix (case study in the Baluran National Park, East Java, Indonesia). In L. Zhang (Ed.), *Advances in forest management under global change* (pp. 1-12). IntechOpen. <https://acortar.link/syOqwv>

Worboys, G. (2019). Introducción. In G. L. Worboys, M. Lockwood, A. Kothari, S. Feary & I. Pulsford (Eds.), *Gobernanza y gestión de áreas protegidas* (pp. 1-8). ANU Press. <https://acortar.link/Ti5zhP>

Zeng, Y., Raymond, J., Brown, C. y Rounsevell, M. (2025). Exploring outcome-driven policymaking on protected areas with an endogenous institutional model. *Journal of Cleaner Production*, 501, e145262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145262>

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER), a la Universidad Internacional Iberoamericana (México), a los paneles de expertos entrevistados y a quienes colaboraron en la validación de la propuesta.



TURISMO SUSTENTABLE

Turismo sustentable en la comuna Chile Chico, Parque Nacional Patagonia, Chile.

Karina Aires Krausse Martínez

Universidad del Bio-Bio, Chile

kkrausse@ubiobio.cl

Sustainable tourism in the comuna of Chile

Chico, Patagonia National Park, Chile.

Artículo científico

Turismo sustentável na comuna de Chile Chico, Parque Nacional da Patagônia, Chile.

Enviado: 18/3/2025

Aprobado: 7/6/2025

Publicado: 29/6/2025

RESUMEN

El turismo es una actividad que lleva siglos en desarrollo. Entre los sitios más frecuentados se encuentran las áreas protegidas, ya sean parques o reservas naturales. Chile Chico es una comuna ubicada en el extremo sur de Chile y próxima al Parque Nacional Patagonia, donde el turismo se ha visto limitado por el desarrollo de la región; por lo que el objetivo de la investigación fue analizar el desarrollo del turismo sustentable de este paraje. Se analizaron los operadores y emprendedores turísticos mediante encuestas de percepción utilizando el modelo de catastro con el fin de obtener una visión clara del desarrollo turístico en el territorio. Un catastro inicial evidenció un alto potencial turístico, junto a desafíos como el acceso y una implementación heterogénea de prácticas sustentables que contribuyen al desarrollo económico local. Se percibió el potencial que posee Chile Chico para fomentar el desarrollo turístico, la visión optimista de los diferentes actores turísticos frente a la adversidad y la necesidad de equilibrar las prioridades de la comunidad, los visitantes y el entorno natural. Comprender esta situación es crucial para diseñar estrategias que armonicen el desarrollo turístico con la conservación de la naturaleza y el beneficio comunitario a largo plazo.

Palabras clave: Aysén, catastro, desarrollo económico, Jeinimeni, manejo turístico, operadores turísticos, políticas ambientales

ABSTRACT

Tourism is an activity that has been developing for centuries. Among the most frequented sites are protected areas, whether parks or nature reserves. Chile Chico is a commune located in the far south of Chile and close to Patagonia National Park, where tourism has been limited by regional development. Therefore, the objective of the research was to analyze the development of sustainable tourism in this area. Tourism operators and entrepreneurs were analyzed through perception surveys using the cadastre model to obtain a clear view of tourism development in the area. An initial cadastre revealed high tourism potential, along with challenges such as access and a heterogeneous implementation of sustainable practices that contribute to local economic development. Chile Chico's potential to foster tourism development was recognized, along with the optimistic outlook of the various tourism stakeholders in the face of adversity, and the need to balance the priorities of the community, visitors, and the natural environment. Understanding this situation is crucial for designing strategies that harmonize tourism development with nature conservation and long-term community benefits.

Keywords: Aysén, census, economic development, environmental policies, Jeinimeni, tour operators, tourist management

RESUMO

O turismo é uma atividade que vem se desenvolvendo há séculos. Entre os locais mais frequentados estão as áreas protegidas, sejam parques ou reservas naturais. Chile Chico é uma comuna localizada no extremo sul do Chile e próxima ao Parque Nacional da Patagônia, onde o turismo tem sido limitado pelo desenvolvimento regional. Portanto, o objetivo da pesquisa foi analisar o desenvolvimento do turismo sustentável nessa área. Operadores e empreendedores de turismo foram analisados por meio de pesquisas de percepção usando o modelo de cadastro para obter uma visão clara do desenvolvimento turístico na área. Um cadastro inicial revelou alto potencial turístico, juntamente com desafios como acesso e uma implementação heterogênea de práticas sustentáveis que contribuem para o desenvolvimento econômico local. O potencial de Chile Chico para promover o desenvolvimento do turismo foi reconhecido, juntamente com a visão otimista dos diversos stakeholders do turismo diante da adversidade e a necessidade de equilibrar as prioridades da comunidade, dos visitantes e do ambiente natural. Compreender essa situação é crucial para o desenvolvimento de estratégias que harmonizem o desenvolvimento do turismo com a conservação da natureza e os benefícios de longo prazo para a comunidade.

Palavras-chave: Aysén, catastro, desenvolvimento econômico, Jeinimeni, manejo turístico, operadores turísticos, políticas ambientais.

INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad es un concepto que tiene una importancia crucial para el desarrollo económico del planeta, que busca cada vez más frenar el impacto ambiental que se ha estado forjando generación tras generación, se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Organización de las Naciones Unidas, 1987).

Las ciudades que se encuentran en las zonas extremas de Chile sufren problemáticas que van desde la conectividad, falta de trabajo, baja calidad, cantidad e infraestructura de hospitales, etc.; por lo que el objetivo de la investigación fue analizar el desarrollo del turismo sustentable en Chile Chico, una comuna de la región de Aysén, en el Sur de Chile, que tiene una superficie de 4000 km² y una población aproximada de 5000 habitantes, (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile ,2023), con el fin de comprender y sugerir cambios para fomentar el desarrollo económico de este territorio.

Chile Chico, conocida como la “Ciudad del Sol”, está ubicada en la Patagonia chilena, en la costa del Lago General Carrera y al Sur de la ciudad Coyhaique, es llamada así debido a que su ubicación geográfica proporciona un microclima, teniendo más días soleados que otras comunas de la región. Gracias a esto los suelos de la comuna permiten el cultivo frutícola, donde la cereza es la especialidad, convirtiéndose en un producto de exportación importante.

En cuanto al turismo, Chile Chico sirve como entrada al sector Sur del Parque Nacional Patagonia. Gracias a esto se ha impulsado el desarrollo de infraestructura turística en la comuna, como restaurantes, alojamientos y servicios de guías turísticos. Sin embargo, el desarrollo está limitado por diversos desafíos, como la marcada estacionalidad y la poca conectividad tanto vial como digital. La llegada de turistas fomenta el intercambio cultural entre los turistas y residentes, enriqueciendo la diversidad cultural, promoviendo el respeto y la comprensión mutua.

Generalmente el turismo se realiza en sectores que tienen bajo nivel de desarrollo, esto agrega relevancia a la localidad, pues se pueden percibir espacios más naturales, en donde se encuentran los recursos naturales y culturales que atraen a los turistas, y que muchas veces no tienen otros usos alternativos. Por lo tanto, el desarrollo del turismo sustentable en esas áreas puede crear empleos e ingresos para la población local, y de modo paralelo proteger y preservar los recursos naturales y culturales, mejorando así sustancialmente la calidad de vida de las comunidades (Meyer, 2002).

La sustentabilidad se estructura en tres dimensiones (pilares) fundamentales que permiten el desarrollo:

- **Ecológica:** Enfocada en la preservación de la biodiversidad, busca que las actividades turísticas no alteren el ecosistema, ejemplos aplicados son: control de la capacidad de carga en los senderos, prohibición de generación de basura, gestión eficiente de recursos, uso de fuentes renovables de energía, gestión sostenible del agua, entre otras.
- **Económica:** Se enfoca en el crecimiento económico y la distribución equitativa de los beneficios del turismo para las comunidades locales. En este caso, podrían ser ejemplos aplicados: la generación de empleos en alojamientos, restaurantes y servicios de guías, además de precios justos y la implementación de programas de infraestructura turística que terminarían beneficiando a las comunidades locales.
- **Social:** Implica involucrar directamente a los habitantes locales en la planificación turística y que reciban directamente los beneficios del desarrollo del turismo en la comunidad, un ejemplo claro es el hecho de realizar catastros para comprender el nivel de desarrollo del turismo en el territorio. También abarca aspectos como la promoción del turismo sustentable a partir de las propias capacidades de la comunidad.

Según Puerta (2022) el desarrollo sustentable se debe asumir como un: “proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones” (p. 5), concepción que cobra especial atención a la hora de considerar cualquier propuesta de desarrollo en la comuna de Chile Chico, dada su interconexión con el Parque Nacional Patagonia, ecosistema con una elevada fragilidad ecológica.

El Parque Nacional Patagonia fue creado en 2018 por un proyecto de redes de parques en el país, surgió de la unión de las reservas nacionales que existían previamente, reuniendo tres sectores y formando un parque nacional, con la finalidad de proteger y restaurar los ecosistemas patagónicos (Explora, 2021).

De la Vega (2020) menciona que en los parques nacionales existen diferentes ecosistemas que albergan diversidad biológica muy representativa de la zona donde se emplazan, y que constituyen parte del patrimonio natural del país. El Parque Nacional Patagonia, fue establecido mediante el Decreto No. 98 de 2018 del Ministerio de Bienes Nacionales, al ser considerado parte del patrimonio natural de la nación, en la cual se busca desarrollar un turismo enfocado en la sustentabilidad.

La creación de esta gran área protegida estuvo marcada por la donación de más de 80 mil hectáreas correspondientes al Valle Chacabuco al Estado chileno, realizada el año 2018 por parte de la Fundación *Rewilding Chile*, (ex *Tompkins Conservation Chile*), entidad fundada por Douglas y Kristine Tompkins, reconocidos empresarios dedicados a la conservación, con el fin de asegurar su recuperación y protección (Ladera Sur, 2023).

Las actividades que se pueden realizar en el Parque Nacional Patagonia incluyen senderismo, camping y observación de la vida silvestre, ideales para quienes llegan por primera vez a la localidad; por ende, brindar servicios de calidad a esos turistas que están de paso por Chile Chico es fundamental para el desarrollo económico del lugar (Corporación Nacional Forestal, 2024).

El Parque Nacional Patagonia constituye un caso ejemplar de implementación de turismo sostenible en Chile. A través de la colaboración entre organismos públicos como la Corporación Nacional Forestal, fundaciones privadas y comunidades locales, se han desarrollado políticas que priorizan la conservación ambiental, infraestructura de bajo impacto y experiencias educativas para visitantes. Esto ha permitido equilibrar el desarrollo turístico con la protección de ecosistemas únicos del sur del país (Fundación Rewilding Chile, 2022).

El alcance que tiene este estudio es relevante para aplicar el mismo análisis a regiones o comunas aledañas, en las cuales el turismo es pilar fundamental de la economía, para medir el impacto y la importancia de las percepciones que tienen los lugareños de sus áreas protegidas. En el caso de Chile Chico, al estar cerca de un parque nacional provoca que el turismo sea el principal nicho por aprovechar, y el que traerá mayor beneficio a la comunidad.

Frente a los desafíos actuales, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la sobreexplotación de recursos naturales, el turismo sostenible se posiciona como una herramienta de mitigación y adaptación, promoviendo prácticas responsables en destinos naturales y culturales. Este análisis es de vital importancia debido al aporte de conocimientos que entregará el instrumento de estudio y que permitirá una oportunidad a otras ciudades dedicadas al turismo para que puedan evaluar sus perspectivas de desarrollo en el ámbito del turismo sustentable, seguido de incorporar o adaptar estrategias que se sugerirán a la comunidad de Chile Chico.

Chile ha sido reconocido como destino turístico importante en el mundo, incluso ha ganado los denominados “Oscar del turismo” galardonado como “Mejor destino verde del mundo”, superando a otros países como Colombia y Noruega (Televisión Nacional de Chile, 2023). Asimismo, ha obtenido premios como “Mejor destino romántico” y “Mejor destino de turismo de aventura a nivel sudamericano”, sumando una lista de 30 premios obtenidos por los *World Travel Awards* desde el 2015.

El turismo sostenible se define como aquel que considera plenamente sus impactos económicos, sociales y ecológicos actuales y futuros, abordando las necesidades de los visitantes, de la industria, del entorno y de las comunidades anfitrionas (Organización Mundial del Turismo, 2004). Actualmente una de las actividades culturales y económicas más importantes con las que puede contar un país es el turismo, del cual se desprende que es toda aquella actividad que tenga que ver con conocer o disfrutar de regiones o zonas en los que uno no reside de manera permanente y acude en forma de recreación o para bien personal.

Aunque actualmente existan estudios en los que se evalúa la calidad del turismo que se está ofreciendo en áreas protegidas, a la fecha no hay indagaciones enfocadas en Chile Chico o el Parque Nacional Patagonia; por lo que es importante que se generen investigaciones que permitan este tipo de diagnósticos, ya que facilita la búsqueda de las fortalezas y debilidades que existen actualmente, así como la implementación de formas que permitan un turismo más sustentable y beneficioso para la localidad. Sin mencionar que la información detallada da la oportunidad a las autoridades y otros actores sociales del lugar para que puedan tomar decisiones para una mejor planificación y gestión del turismo.

Cuando se trata de comunas en zonas extremas como Chile Chico, donde el mero hecho de llegar a la localidad ya es tardío y tedioso, sumado a problemas de conectividad tanto marítima como terrestre, se tiene como resultado que la localidad no se pueda percibir como un lugar atractivo para viajar.

Gracias a esta investigación se podrán identificar los factores que son relevantes para el desarrollo del turismo sustentable en Chile Chico, así como sugerir estrategias de sustentabilidad, con el fin de aportar al desarrollo económico de la comuna e incentivar el turismo sustentable.

La principal hipótesis es que tanto los operadores como emprendedores turísticos de la comuna de Chile Chico, que realizan actividades en el Parque Nacional Patagonia, presentan un nivel de implementación de prácticas de turismo sostenible heterogéneo, determinado por elementos como el acceso a información y formación especializada, la percepción de las ventajas económicas a largo plazo y la presión de las normativas ambientales.

Responder esta incógnita es fundamental para entender la situación actual del turismo sostenible en el territorio y su efecto en el desarrollo económico local. También se podrán formular iniciativas que permitan a los operadores y emprendedores conocer los diferentes niveles de ejecución y los elementos que influyen, uniéndolos de manera eficiente a la conservación de los espacios naturales y produciendo ventajas económicas y sociales para la comunidad de Chile Chico.

Los resultados obtenidos serán de gran ayuda para comprender el estado actual del turismo en la comuna y proporcionar bases para la implementación de estrategias más sustentables. Con esto se podrán tomar diversas acciones como, por ejemplo: talleres y capacitaciones, con el fin de que Chile Chico adopte prácticas consecuentes con los principios de la gestión turística para la sustentabilidad, sin descuidar el desarrollo económico en el proceso.

Se pretende asimismo que la información que resulte de la investigación sea de vital importancia para que las autoridades locales y los mismos habitantes de la comuna comprendan la importancia del turismo sustentable, y así asegurar el crecimiento económico a largo plazo de la mano con el cuidado de los recursos naturales que dispone Chile Chico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó el estado del arte del turismo sustentable en la comuna Chile Chico a través de encuestas de percepción a agentes involucrados en la referida actividad económica, entre ellos operadores y emprendedores turísticos. Las encuestas estuvieron estructuradas en el modelo de escalas de Likert. Este tipo de escala lleva el nombre del psicólogo y sociólogo Rensis Likert, quien desarrolló este método en la década de 1930. Las respuestas que se pueden obtener son una calificación de un número entre 1 y 5, donde 1 significaría "totalmente en desacuerdo" y 5 significando "totalmente de acuerdo", con el número 3 dando una postura neutral. Para los fines de esta investigación, se consideró que una encuesta de este tipo ayuda a obtener una visión clara y concisa del estado del arte del turismo sustentable en el territorio.

Relacionado al catastro, es este un instrumento que modifica variables de modo que un territorio sea un bien administrable, como un ente vivo. Ya que requiere conocimientos y experiencia para hacerlo eficazmente. Desde un catastro es muy posible poner en marcha iniciativas en un periodo de tiempo relativamente corto, porque los hechos están al alcance de la mano, especialmente para las personas que toman las decisiones, como es el caso de funcionarios de alto rango a nivel nacional o municipal.

La Patagonia chilena ha sido estudiada previamente en el ámbito del turismo sustentable. Diversos investigaciones e iniciativas se han acercado a la temática del turismo responsable en la región, pero sin tener un enfoque exclusivo en el Parque Nacional Patagonia, ni en Chile Chico, sino abarcando la región completa o los parques nacionales a nivel de país. Por ejemplo, el “*Sistema de Gestión Turística de las Áreas Silvestres Protegidas Región de Aysén, Patagonia, Chile*” (Aedo et al., 2020), desarrollado por la Universidad Austral de Chile, en el que se presenta una visión general sobre la gestión turística en áreas protegidas de la XI región de Aysén y en el que se abarca de igual manera el Parque Nacional Patagonia. Este estudio proporcionó lineamientos y estrategias que, si bien no son específicos del parque, sientan las bases para un desarrollo turístico compatible con la conservación de la naturaleza en la zona.

Como se mencionó anteriormente, el catastro se realizó en escala de Likert, designado como el instrumento más eficaz, con resultados concretos y de fácil interpretación, se dividió en tres etapas, que van desde la extracción de datos, realización de la encuesta y el análisis de resultados. La primera etapa, relacionada a la extracción de datos relevantes desde el año 2023 hacia atrás, tuvo como principal fuente de información plataformas como el Big Data del Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR), accesibles desde su página web, en ella se pueden obtener datos como cantidad de visitantes clasificados por país de procedencia, así como un desglose total del aproximado de turistas que llegan a alguna región específica de Chile.

Otra investigación focalizada en Chile Chico develó la cantidad de negocios relacionados al turismo clasificados por tipo, así como contactos relevantes para la encuesta: operadores y emprendedores turísticos, esta parte se obtuvo gracias al servicio de información turística territorial.

En la *tabla 1* se presenta la llegada de turistas a la región de Aysén durante el año 2023, clasificados por país de origen. Se aprecia una clara predominancia de los turistas de Argentina, representando el 84,1% de las llegadas, con un total de 799 684 turistas. Los mismos chilenos se posicionan en segundo lugar, aunque con una participación significativamente menor del 6,1% (58 255).

El resto de los países, tienen una presencia muy minoritaria, con porcentajes que no superan el 2% y cantidades considerablemente inferiores a los dos principales países emisores. Esto sugiere que existe una fuerte dependencia del turismo proveniente de Argentina para la región de Aysén. Lo que se apoya con la gran cantidad de pasos fronterizos que existen en la región, permitiendo que argentinos puedan entrar de manera más rápida y cómoda.

Tabla 1. Llegada de turistas por país a la XI región de Aysén.

País	Llegadas de turistas	% Llegadas de turistas
Argentina	799 684	84,1%
Chile	58 255	6,1%
Israel	18 748	2,0%
Francia	10 531	1,1
Alemania	9952	1,0

Fuente: SERNATUR (2023).

En la *tabla 2* se observa cómo han cambiado las llegadas de turistas a nivel nacional entre los años 2019 y 2023. Se presenta una fuerte disminución en las llegadas en los años 2020 y 2021, coincidiendo con la pandemia mundial de COVID-19, con importantes variaciones interanuales negativas (-75,2% y -83,0% respectivamente). No obstante, se evidencia una recuperación significativa en los años

siguientes, con un aumento espectacular del 968,5% en 2022 y un crecimiento continuo del 83,7% en 2023. A pesar de esta recuperación, las visitas de turistas en 2023 (3.730.507) todavía no igualan los niveles anteriores a la pandemia de 2019 (4.517.962).

Tabla 2. *Llegada de turistas a nivel nacional.*

Año	Llegada de turistas	Variación Interanual
2023	3.730.507	83,7%
2022	2.030.479	968,5%
2021	190.022	-83,0%
2020	1.119.094	-75,2%
2019	4.517.962	-21,1%

Fuente: SERNATUR (2023).

En la *tabla 3*, similar a la anterior, se muestra la llegada de turistas a la región de Aysén, observándose una caída en las llegadas durante los años de la pandemia (2020 y 2021). Luego, se observa una recuperación significativa en 2022 (20935,9%), aunque partiendo de una base muy baja. En 2023, el aumento sigue siendo considerable (120,1%), logrando las 72.213 llegadas. No obstante, al contrastar con los datos de 2019 (93.936), se puede deducir que la zona de Aysén todavía no ha restablecido por completo los niveles de turismo anteriores a la pandemia.

Tabla 3. *Llegada de turistas a la región de Aysén.*

Año	Llegada de turistas	Variación Interanual
2023	72.213	120,1%
2022	32.816	20.935,9%
2021	156	-99,5%
2020	32.855	-65,0%
2019	93.936	-34,1%

Fuente: SERNATUR (2023).

En la *tabla 4* se presenta una comparación del número total de viajes acumulados a la región de Aysén hasta junio de 2023 (147 563 viajes) con la cifra correspondiente al mismo periodo de 2022 (162 608 viajes). Se nota una reducción del 9,3% en la variación anual. Esto sugiere que, aunque se ha notado una recuperación global del turismo en las *tablas 2 y 3*, el número de viajes hacia la región de Aysén ha tenido un descenso en el periodo analizado 2022-2023. Es relevante señalar que esta tabla toma en cuenta el total de viajes, lo que podría abarcar turistas tanto nacionales como internacionales.

Tabla 4. *Cantidad de viajes totales hacia a la región de Aysén.*

Viajes acumulados	Valor
Viajes acumulados a Junio de 2023	147.563
Viajes acumulados a Junio de 2022	162.608
Variación acumulada interanual	-9,3%

Fuente: SERNATUR (2023).

Para la segunda etapa, relacionada a la aplicación del instrumento se crearon dos encuestas, destinadas a los grupos de interés mencionados con anterioridad: operadores y emprendedores turísticos. El cual tenía el siguiente texto de introducción, seguido de las 10 preguntas.

“Por favor, responda cada pregunta marcando el número que mejor refleje su opinión, donde 1 significa "Totalmente en desacuerdo" y 5 significa "Totalmente de acuerdo" Esta encuesta es anónima y será utilizada para fines investigativos relacionados con el Parque Nacional Patagonia”.

Tabla 5. *Encuesta a emprendedores turísticos (encargados de alojamientos).*

Pregunta	Escala				
	1	2	3	4	5
Voy seguido al Parque Nacional Patagonia (Ya sea por trabajo u Ocio)					
Este año han venido más turistas a Chile Chico, que el año anterior					
Este año existe más competencia que el año anterior					
Los turistas demuestran un interés por querer ir al Parque Nacional Patagonia					
Recomiendo a los turistas visitar el Parque					
Existen diversidad de opciones de tours para los turistas, al momento de querer ir al Parque Nacional Patagonia					
La información turística proporcionada a los visitantes es clara y completa					
Existen Problemas de comunicación cuando atiendes a turistas					
La accesibilidad al Parque Nacional Patagonia es adecuada para el desarrollo de actividades turísticas					
La promoción turística del Parque Nacional Patagonia es suficiente y efectiva					
Total					

Fuente: *Elaborada por la autora.*

Por último, durante la tercera etapa, relacionada con el análisis de resultados se aplicó la encuesta durante el verano (enero-febrero) de 2024 a un total de 20 operadores turísticos y 20 emprendedores de Chile Chico, es decir un total de 40 encuestados. Mencionar la existencia de problemas relacionados a la difusión de la encuesta, esto debido a la poca adaptabilidad para algunas personas de la localidad en cuanto a redes sociales y computadoras. Se probó primero mediante correo electrónico, con encuestas en *Google Forms*, pero las respuestas fueron nulas, después se contactó personalmente por *Facebook* o *WhatsApp*, gracias a la información turística recogida previamente. Finalmente, para obtener más respuestas se optó por hacer visitas presenciales a los encuestados, esto resultando como último recurso.

Debido a que Chile Chico está en una zona extrema, llegar desde Concepción, conlleva a:

- Tomar un bus a Puerto Montt o Santiago.
- Realizar un viaje en avión Santiago a Balmaceda.
- Tomar un Transfer que lleve del aeropuerto de Balmaceda a puerto ingeniero Ibáñez.
- Subirse a la barcaza que lleva desde Ibáñez a Chile Chico.

Tabla 6. Encuesta a Operadores turísticos (Encargados de tours hacia el Parque Nacional Patagonia).

Pregunta	Escala				
	1	2	3	4	5
La satisfacción general de los turistas que visitan el Parque Nacional Patagonia es buena					
Existe una diversidad suficiente de actividades turísticas en el Parque Nacional Patagonia					
Existen problemas de comunicación cuando trabajas con turistas					
El camino hacia el Parque Nacional Patagonia es adecuado					
Los espacios están limpios y bien cuidados					
Los turistas están al tanto de las precauciones que deben tomar					
Realizo viajes seguidos al Parque Nacional Patagonia					
Tengo más competencia que el año anterior					
Recomiendo el Parque Nacional Patagonia tal como está actualmente					
Los tours al Parque Nacional Patagonia son rentables					
Total					

Fuente: *Elaborada por la autora.*

Considerando que existen otras opciones como caminos por la carretera austral, atravesando aduanas argentinas para acceder a zonas donde no hay camino en Chile, el método mencionado anteriormente es más rápido, pero más costoso, y considerando también que para volver se tiene que tomar ese mismo itinerario, el viaje se hace dificultoso, por motivos que varían desde que se debe coordinar absolutamente todos los transportes para que puedas llegar a tiempo al siguiente, y también que hay temporadas donde el viento en el Lago General Carrera provoca que la barcaza no salga, arruinando todo el viaje y generando costos extras al tener que esperar al día siguiente para poder volver a intentar tomar la barcaza.

También el hecho de que los aviones y barcasas tienen horarios fijos por semana, por ejemplo, que viajen solo lunes, miércoles, viernes, o que la barcaza solo zarpe una vez por día, tiene como consecuencia que no es tan fácil llegar a la localidad. Pero de igual forma se consiguió llegar y realizar encuestas presenciales.

El estudio se consideró exploratorio, debido al exhaustivo análisis conceptual que se requirió, además de la investigación y revisión de estudios previos. Se apreció que el tema explorado con anterioridad bajo el contexto del parque nacional no fue previamente investigado, por ende, la exploración del tema fue compleja, pero no imposible. Por otro lado, se observó un estudio de carácter descriptivo, debido a que se buscó proporcionar explicaciones a una hipótesis descriptiva, con un enfoque en el análisis y la investigación de la situación actual del Parque Nacional Patagonia.

La duración de la investigación fue desde septiembre de 2023, donde se realizó todo lo relacionado con el marco teórico, hasta diciembre de 2023, durante el verano del 2024 se realizaron las encuestas, con el viaje a la localidad y las visitas presenciales. Por último, se prepararon los resultados y las conclusiones para marzo del mismo año.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a los resultados obtenidos, las respuestas se reunieron en tablas según el grupo encuestado, dentro de la muestra se puede mencionar que son 20 operadores y 20 emprendedores relacionados al turismo.

Como se mencionó, hubo complicaciones en cuanto al contacto con los encuestados, debido a que era incómodo para ellos responder una encuesta de manera online al no saber cómo funcionan las redes, teniendo como consecuencia el viaje realizado a la localidad para aplicar de manera presencial el instrumento diseñado.

La mayoría de emprendedores indicó un nivel muy bajo de visitas frecuentes al Parque Nacional Patagonia (por ejemplo, 10 de 20 en “total desacuerdo” y seis en “desacuerdo” en la pregunta 1. Esto revela un claro desinterés local en recorrer el parque personalmente. A pesar de ello, los emprendedores reconocen la atracción del parque; más de dos tercios (18 de 20) se sitúan en niveles positivos (“de acuerdo” o “total acuerdo”) al afirmar que los turistas están interesados en ir al Parque Nacional Patagonia (pregunta 4) y al recomendar visitar el parque (pregunta 5). La mayoría (12 de 20) está de acuerdo en que vinieron más turistas este año. La promoción (pregunta 10) es vista mayoritariamente como insuficiente o neutral (12/20) entre “total desacuerdo” y “neutral”, sin respuestas extremas positivas.

Tabla 7. Resultados de encuesta a emprendedores turísticos.

Pregunta	Escala				
	1	2	3	4	5
1.-Voy seguido al Parque Nacional Patagonia (Ya sea por trabajo u Ocio)	10	6	2	2	0
2.-Este año han venido más turistas a Chile Chico, que el año anterior	0	3	5	10	2
3.-Este año existe más competencia que el año anterior	0	2	4	14	0
4.-Los turistas demuestran un interés por querer ir al Parque Nacional Patagonia	0	0	2	6	12
5.-Recomiendo a los turistas visitar el Parque	0	4	4	2	10
6.-Existen diversidad de opciones de tours para los turistas, al momento de querer ir al Parque Nacional Patagonia	4	0	6	10	0
7.-La información turística proporcionada a los visitantes es clara y completa	0	7	4	8	1
8.-Existen Problemas de comunicación cuando atiendes a turistas	0	4	6	6	4
9.-La accesibilidad al Parque Nacional Patagonia es adecuada para el desarrollo de actividades turísticas	8	6	4	2	0
10.-La promoción turística del Parque Nacional Patagonia es suficiente y efectiva	2	2	10	6	0

Fuente: Elaborada por la autora.

Casi la totalidad de los operadores (19/20) considera que la satisfacción general de los turistas es buena (15 “total acuerdo” y cinco “de acuerdo” en Q1). El promedio muy alto (≈ 4.65) indica unanimidad en percepciones positivas de la experiencia turística, agregando que los operadores consideran que los espacios del parque están mayormente limpios y cuidados (12/20 en niveles 4-5, Q5 promedio ≈ 3.6).

La mayoría (15/20) realiza viajes frecuentes al parque (Q7, promedio ≈ 3.8), lo que indica que usan activamente el recurso en su trabajo, además, 16/20 perciben mayor competencia este año (Q8, promedio ≈ 4.0), reflejando la misma tendencia de crecimiento. Doce, de los 20 encuestados están de

acuerdo en recomendar el Parque Nacional Patagonia (Q9, ≈ 3.4) y 18/20 creen que los tours son rentables (Q10, ≈ 3.9); esto muestra confianza en el negocio y en la satisfacción del cliente.

Tabla 8. Resultados de encuesta a operadores Turísticos.

Pregunta	Escala				
	1	2	3	4	5
1.-La satisfacción general de los turistas que visitan el Parque Nacional Patagonia es buena	0	0	1	5	14
2.-Existe una diversidad suficiente de actividades turísticas en el Parque Nacional Patagonia	1	3	5	10	1
3.-Existen problemas de comunicación cuando trabajas con turistas	1	7	10	1	1
4.-El camino hacia el Parque Nacional Patagonia es adecuado	15	3	1	1	0
5.-Los espacios están limpios y bien cuidados	1	2	5	8	4
6.-Los turistas están al tanto de las precauciones que deben tomar	0	2	2	13	3
7.-Realizo viajes seguidos al Parque Nacional Patagonia	0	0	5	14	1
8.-Tengo más competencia que el año anterior	0	3	10	6	1
9.-Recomiendo el Parque Nacional Patagonia, tal como está actualmente	1	3	4	11	1
10.-Los tours al Parque Nacional Patagonia son rentables	0	1	1	17	1

Fuente: Elaborada por la autora.

Es un hecho que el turismo ha aumentado a lo largo de los años, también aumentó la competencia entre los emprendedores locales, esto al poder identificar las oportunidades de negocio que son cada vez más latentes en la ciudad.

Como parte de los problemas que afectan las experiencias de los turistas, se puede identificar una clara falta de información, además de problemas de comunicación y las malas condiciones del camino al parque, lo que afecta la satisfacción y la recomendación futura. De los 40 encuestados 32 declararon que el acceso no está bueno. De estos más del 50% asegura que el acceso al parque está definitivamente malo.

Agregar que a pesar de que existen claros problemas que afectan gravemente la experiencia de los turistas que visitan el Parque Nacional Patagonia, siguen siendo problemas que tienen soluciones a largo plazo, lo que implica que si existen oportunidades que se deben tomar en consideración para mejorar la percepción del parque.

El Parque Nacional Patagonia tiene mucho potencial para el desarrollo de un turismo enfocado en la sustentabilidad, sin embargo, es necesario implementar medidas para que la conservación de los ecosistemas sea garantizada y homogénea.

Aspectos como el camino y la información deben ser temas por trabajar, ya que el turismo sustentable tiene un impacto positivo en la comunidad local, generando oportunidades económicas para los mismos. Crear negocios relacionados al turismo sustentable, como por ejemplo guías, dedicarse al alojamiento o a la alimentación, mejora significativamente la calidad de vida de los Chilechiquenses.

El turismo sustentable es importante porque fomenta la preservación del patrimonio cultural local, porque los turistas se van a interesar por la historia y las tradiciones de ese lugar, es por esto por lo que la participación de la misma comunidad también tiene relevancia, por las gestiones turísticas que pueden brindar beneficios económicos.

Considerar además la creación de campañas de concientización local, que pueden ser un buen agregado debido a que los programas educativos para las personas de Chile Chico les permitirá apreciar el valor que el Parque Nacional Patagonia aporta, como recurso tanto recreativo como económico.

En ese sentido, las estrategias de información turística deben ser mejoradas, enfocándose en la creación y distribución de materiales físicos y digitales sobre el parque nacional, y los puntos de información dentro y fuera del mismo para que los turistas tengan una facilidad en la planificación de sus visitas.

Fomentar el emprendimiento local a través de programas de capacitación, ya sean charlas o cursos en la localidad, permitirá fortalecer la oferta de los servicios y mejorar la calidad de los ya existentes.

Por último, mejoras en la comunicación son relevantes para que los turistas se informen de mejor manera, reduciendo las quejas respecto a esa problemática, por falta de información o limitantes respecto al lenguaje, prestando especial atención a las plataformas digitales y redes sociales.

Mejoras en la infraestructura vial facilitarían la llegada de futuros turistas, mejorando la experiencia general, priorizando las carreteras y el acceso al parque.

Los resultados de la investigación dan cuenta de lo importante que es implementar estrategias de turismo sustentable en Chile Chico, es por esto por lo que adoptar medidas concretas que apoyen esta iniciativa son una prioridad para que exista un desarrollo económico óptimo y amigable con el entorno.

A continuación, se presentan aspectos que son clave para que esta meta se cumpla, comparándose según su grupo de análisis y sus puntos de coincidencia, asegurando su viabilidad a largo plazo.

Tabla 9. Aspectos relevantes y sus puntos de coincidencia.

Aspecto	Emprendedores Turísticos	Operadores Turísticos	Puntos de Coincidencia
Percepción del Parque	Recomiendan el parque a los turistas, a pesar de la poca importancia que le otorgan los locales.	Enfocados en la satisfacción de los turistas; destacan la diversidad de actividades y seguridad.	Ambos reconocen el valor turístico del Parque Nacional Patagonia y su atractivo para los turistas.
Crecimiento del turismo	Aumento de la competencia entre emprendedores locales debido al crecimiento del turismo.	Consideran rentable invertir en tours hacia el parque y continúan recomendándolo.	Ambos perciben que el turismo está creciendo y que existe potencial económico en el parque.
Problemas con el acceso	Mal estado del camino al parque afecta la experiencia del visitante y su recomendación futura.	El mal estado del camino es un problema recurrente, pero no impide la recomendación del destino.	Coinciden en que el mal estado de las vías es un problema que afecta la experiencia del turista.
Percepción de la experiencia del turista	La experiencia del visitante es negativa por la falta de información turística y problemas de comunicación.	Valoran la satisfacción de los turistas por la seguridad y la diversidad de actividades, pero reconocen los problemas de acceso.	Ambos reconocen que mejorar la experiencia del turista es clave para el éxito futuro.
Visión a largo plazo	Los problemas identificados (falta de información, mal estado de vías) son solucionables a largo plazo.	Siguen optimistas sobre el parque y creen que “el destino vale la pena”, pese a las dificultades actuales.	Ambos son optimistas sobre el futuro y creen que las soluciones a los problemas actuales son posibles.

Fuente: Elaborada por la autora.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en el Parque Nacional Patagonia evidenció que existe una visión similar entre emprendedores y operadores turísticos sobre el parque y lo importante que es para el crecimiento económico de Chile Chico. Si bien la visión es positiva, ambos grupos de encuestados logran identificar las falencias que existen, como por ejemplo el acceso al parque, donde ambos grupos destacan que el camino está en mal estado y que esto afecta negativamente en la experiencia del turista, ya que el hecho de poder ir al parque recae en cómo “esté el camino esa temporada”. Esta coincidencia destaca la necesidad de resolver las limitaciones de infraestructura para fortalecer el destino.

Aunque existen variaciones en la percepción de otros factores, como la poca información turística disponible y los problemas de idioma señalados principalmente por los emprendedores, a largo plazo la visión es optimista. Los emprendedores y operadores presentan gran confianza para superar los

desafíos que existen en la actualidad, para finalmente mejorar la experiencia del turista, considerándolo esencial para garantizar la sostenibilidad y el éxito futuro del turismo en el Parque Nacional Patagonia. Este optimismo, a pesar de las dificultades actuales, demuestra que existe una base firme para la ejecución de estrategias de turismo sustentable a mediano plazo en la comuna Chile Chico.

Se puede apreciar que existen orientaciones hacia el turismo sostenible, pero las mismas están en su etapa inicial, se respaldan por la valoración del potencial que tiene como destino turístico y la preocupación por mejorar la calidad de la experiencia del visitante, elementos que son fundamentales para la sustentabilidad a largo plazo. La existencia de estrategias regionales y nacionales proporcionan las herramientas necesarias para avanzar en esta dirección.

Lamentablemente, el catastro realizado revela una posible heterogeneidad en la adopción de prácticas sustentables entre los operadores locales, esto significa que la implementación efectiva se está desarrollando. Si bien, se pueden identificar el interés de los actores y una conciencia creciente sobre la importancia del turismo sustentable en el Parque Nacional Patagonia su desarrollo no es uniforme ni completamente robusto.

La situación actual en el Parque Nacional Patagonia y Chile Chico se caracteriza por una transición hacia prácticas más responsables, que requieren un mayor impulso, apoyo específico y la superación de desafíos como las limitaciones de infraestructura para lograr un turismo plenamente sustentable en la comuna de Chile Chico y el parque nacional.

El turismo sustentable es una herramienta clave que sirve para impulsar el desarrollo local, a la vez que se protege el entorno natural y cultural de Chile Chico y el Parque Nacional Patagonia; para lograrlo es fundamental que exista un equilibrio entre las necesidades de la comunidad, los turistas y la naturaleza; asegurando así que el crecimiento turístico no afecte los recursos naturales que hacen del parque un lugar atractivo para visitar. Por un lado, la planificación y gestión de estos temas permitirán maximizar los beneficios económicos y sociales y por otro minimizarán los impactos negativos. La colaboración entre los actores, como emprendedores, autoridades y la misma comunidad, es esencial para que el modelo de turismo sustentable aporte bienestar a largo plazo y una mejor visión e identidad de la localidad y la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aedo, E., Rovira, A., Boldt, J., Inostroza, G., Pacheco, G., Szmulewicz, P., Szmulewicz, E., Arriagada, A., Malla, A. y Quintana, D. (2020). *Turismo sustentable y Áreas Silvestres Protegidas en Patagonia, Chile. Sistema de Gestión Turística de las Áreas Silvestres Protegidas Región de Aysén, Patagonia, Chile*. Universidad Austral de Chile. <https://acortar.link/Wvv4wL>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2023). *Reportes Estadísticos 2023 de Chile Chico*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://acortar.link/qsCDH3>
- Corporación Nacional Forestal (2024). *Parque nacional Patagonia*. <https://acortar.link/pz9JLI>
- De la Vega, F. (2020). *El valor de los Parques Nacionales como un espacio para la educación y la investigación*. Universidad de Chile. <https://acortar.link/eK45qm>
- Fundación Rewilding Chile (2022). *Parque Nacional Patagonia: Conservación y turismo sustentable*. <https://acortar.link/vyICAM>

- Ladera Sur. (2023). *La historia de un sueño: la creación del Parque Nacional Patagonia y el importante legado de conservación de Douglas y Kristine Tompkins*. Explora. <https://acortar.link/7rVbUL>
- Meyer (2002). El turismo y el desarrollo sostenible. En D. Meyer, *Turismo y desarrollo sostenible* (pp. 11-14). Universidad Externado de Colombia.
- Organización de Naciones Unidas. (1987). *Nuestro futuro común*. <https://acortar.link/KDZLFt>
- Organización Mundial del Turismo. (2004). *Indicadores de desarrollo sostenible para el turismo en destinos*. <https://acortar.link/cw2xvp>
- Puerta, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Servicio Nacional de Turismo. (2021). *Historia Parque Nacional Patagonia: donación de Tompkins. Historia*. Explora.com. <https://www.explora.com/es/historia-parque-nacional-patagonia>
- Servicio Nacional de Turismo. (2023). *Big data para el turismo interno*. Servicio Nacional de Turismo. <https://acortar.link/eYk4NM>
- Televisión Nacional de Chile. (2023). *Por segundo año consecutivo: Chile gana el “Oscar del Turismo” como el Mejor Destino Verde del Mundo*. <https://acortar.link/Dp72jF>



BASES DE DATOS, PERCEPCIÓN REMOTA Y SIG APLICADOS A LA GESTIÓN AMBIENTAL

Mapping of great erosion in cities of Kinshasa and Brazzaville, Equatorial Africa.

Alyson Bueno Francisco

Universidade Estadual Paulista, Brasil

alysonbueno@gmail.com

Mapeo de la erosión a gran escala en las ciudades de Kinshasa y Brazzaville, África Ecuatorial.

Estudio de caso

Mapeamento de erosões de grande porte nas cidades de Kinshasa e Brazzaville, África Equatorial.

Recibido: 21/5/2024

Aceptado: 10/10/2024

Publicado: 21/1/2025

ABSTRACT

Since the 1980s, gullies have been a problem for the cities of Kinshasa and Brazzaville, whose research presents the case of 3 gullies located in the Congo River Basin in urban and peri-urban areas. The objective of the research was to present a digital model of elevation of urban gullies, with topographic data used in engineering projects for future recovery. The acquisition of topographic data was carried out through the Google Earth Pro software and the QGIS geographic information system, with data processing for visualization in the Golden Surfer software. The Laloux gully located in Kinshasa is one of the largest in the world, with a length of 1,100 m and a 3-way format. The mouth of the city of Brazzaville has a width of less than 40 m, but is more than 900 m long, in a densely populated area. The Buma gully in Kinshasa is an example of the development of the erosive process in a peri-urban area, with the expansion of one of the largest cities on the African continent, being induced by the existence of a road on a slope.

Keywords: gully, road, slope, topography

RESUMEN

Desde la década de 1980, los barrancos han sido un problema para las ciudades de Kinshasa y Brazzaville, cuya investigación presenta el caso de tres cárcavas ubicadas en la cuenca del río Congo en áreas urbanas y periurbanas. El objetivo de la investigación fue presentar un modelo digital de elevación de cárcavas urbanas, con datos topográficos utilizados en proyectos de ingeniería para su futura recuperación. La adquisición de datos topográficos se realizó a través del software Google Earth Pro y el sistema de información geográfica QGIS, con procesamiento de datos para su visualización en el software Golden Surfer. El barranco de Laloux, situado en Kinshasa, es uno de los más grandes del mundo, con una longitud de 1.100 m y un formato de tres vías. La desembocadura de la ciudad de Brazzaville tiene una anchura de menos de 40 m, pero tiene más de 900 m de largo, en una zona densamente poblada. El barranco de Buma, en Kinshasa, es un ejemplo del desarrollo del proceso erosivo en una zona periurbana, con la expansión de una de las ciudades más grandes del continente africano, siendo inducida por la existencia de una carretera en pendiente.

Palabras clave: cárcavas, carretera, talud, topografía

RESUMO

Desde a década de 1980, as boçorocas representam um problema para as cidades de Kinshasa e Brazzaville, cuja pesquisa apresenta o caso de 3 boçorocas localizadas na Bacia do Rio Congo nas áreas urbanas e periurbanas. O objetivo da pesquisa foi apresentar um modelo digital de elevação das boçorocas urbanas, com dados topográficos utilizados em projetos de engenharia para futura recuperação. A aquisição dos dados topográficos foi realizada através do software Google Earth Pro e do sistema de informação geográfica QGIS, com tratamento dos dados para visualização no software Golden Surfer. A boçoroca Laloux localizada em Kinshasa é uma das maiores do mundo, com uma extensão de 1.100 m e um formato de 3 direções. A boçoroca da cidade de Brazzaville apresenta largura menor que 40 m, mas possui extensão de mais de 900 m, em uma área densamente povoada. A boçoroca Buma em Kinshasa é um exemplo de desenvolvimento do processo erosivo em área periurbana, com expansão de uma das maiores cidades do continente africano, sendo induzida pela existência de estrada em declividade de encosta.

Palavras chave: boçoroca, encosta, estrada, topografia

INTRODUCTION

Soil erosion has become a major problem in equatorial and tropical areas after decades of deforestation and changes in land cover. Despite being a natural phenomenon, due to the seasonal rainfall, the intensity of soil losses is worrisome, since they can generate direct problems, such as: silting of rivers, damage to infrastructures and devaluation of real estate; and indirect problems, such as: reduced food production and expenditure of public resources.

In the field, soil losses are mainly notable with laminar erosion and loss of soil fertility, with the formation of small incisions called furrows on the slopes. In the city, soil losses are related to large-scale linear erosion, due to a higher concentration of rainwater in drainage channels present in public roads (roads and avenues, mainly). If urban erosion develops in a degraded area of a spring, the action of surface and subsurface waters leads to the formation of the most worrisome erosive form: the gully (Ionita et al., 2015).

As the gullies are linear erosive forms, modifying the terrain, mapping studies need to adopt the topographic scale in order to generate data for future urban erosion control projects and academic investigations to analyze the evolution of the phenomenon. From the topographic data of the area degraded by the gully, it is possible to generate models in geographic information systems for topographic scale mapping (Barrio et al., 2018).

Based on technological resources, with remote sensing images of high spatial resolution and the existence of geodetic equipment linked to the data of the global positioning system by satellite, the surfaces of the gullies can be represented in digital bases of geographic information systems, for the generation of models. Through models with high topographic scale resolution, analysis with topographic and cross-sectional profiles can be carried out, with data associated with information about soil and sediments (Walker et al., 2021).

Since the 1960s, soil erosion in geological formations dating back to the Quaternary in the Congo River Basin has been studied by De Ploey (1965 apud Lateef et al., 2010).

Imwangana et al. (2014) present the topographic data and morphometric analysis on the large linear erosions that were induced by urban roads in Kinshasa. With aerial photographs from 1977, 13 km of linear erosion perimeter were identified in Kinshasa. From the analysis of high-resolution remote

sensing images, 334 linear erosions (ravines and gullies) were identified, with a total perimeter of 102 km, in the urban area of Kinshasa.

In relation to the containment measures of the gullies in Kinshasa, the Laloux Gully presented problems of upstream erosion in 2009, with the destruction of the urban macro drainage systems; and the head of the gully was controlled with a work in 2012 (Imwangana et al., 2014).

Based on theoretical considerations, this work aims to present an updated analysis of the Laloux Gully in Kinshasa, and another gully located in the peri-urban area, with the inclusion of a third example of one of the largest gully in Brazzaville city.

Characterization of area

The Congo River Basin presents factors related to the trend of processes for soil losses, such as: precipitation in the equatorial climate with annual averages of 2,300 mm, geological substrate with sedimentary rocks dated to the Cenozoic and Quaternary; sandy and deep and homogeneous soils; deforestation since the nineteenth century with expansion of urbanized areas since the 1980s (Mushi et al., 2019).

Regarding the Physical Geography related to the development of gullies in Kinshasa, capital of the Democratic Republic of Congo, the characterization of Geology and the relations with the development of large-scale linear erosions, the Laloux and Buma gullies, from the city of Kinshasa, are located in sandstones of the Tendre Formation of the Inkissi Group, dated from the Cretaceous period. The sandstones of the Tendre Formation behave as unconfined aquifers, with the water table present at a depth of 8 m from the ground. The presence of subsurface waters of the unconfined aquifer favors the development of the gullies due to the action of internal tubular erosion (Lateef et al., 2010).

Regarding the urban expansion in Kinshasa, the rural exodus and the high fertility rate favor the increase of the urban fabric, whose metropolis exceeds 17 million inhabitants, with an area of approximately 500 km². The urban morphology in Kinshasa, since the time of colonization in the nineteenth century, has an orthogonal format with the existence of rectilinear avenues in the direction parallel to the slopes. Most of the urban roads on the outskirts of Kinshasa do not have asphalt and rainwater drainage (Wouters & Wolff, 2010).

About Physical Geography in the Republic of Congo, in the city of Brazzaville, the geological substrate is formed by sandstones of the Bateké Formation of the Inkissi Group. The geomorphology of the city of Brazzaville is formed predominantly by terraces dating from the Quaternary, with the formation of medium and small linear erosions. As a result of the slopes in watersheds and urban drainage due to the expansion of the city of Brazzaville, there is the development of gullies with approximately 300 m of extension on the slopes, with a very friable geological substrate dating from the Quaternary (Malanda et al., 2023).

The relief of the analyzed area is formed by the plateau of the Lower Congo River Basin with terraces composed of terrain susceptible to erosive processes, dating from the Quaternary and the Cenozoic (Mushi et al., 2019).

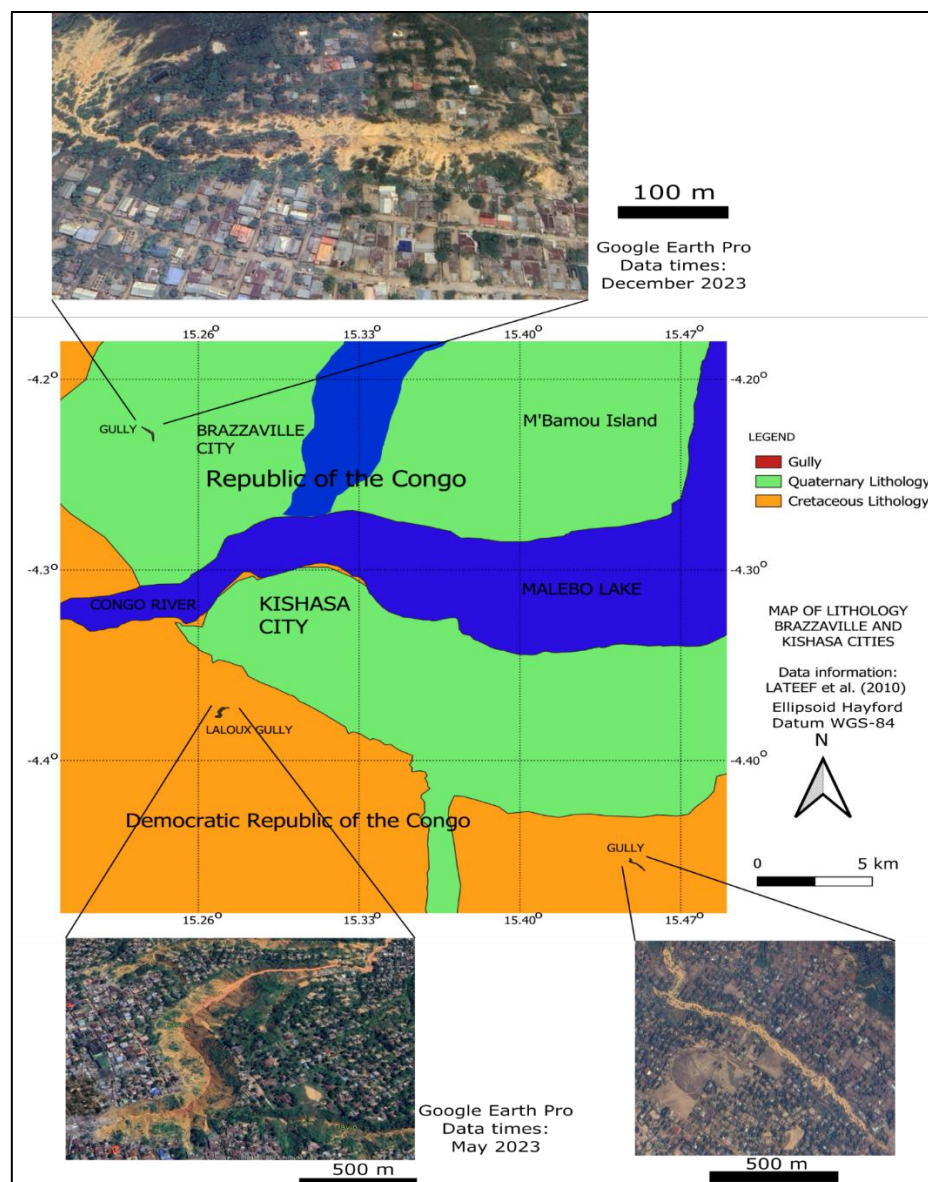
Regarding the susceptibility to erosion of the terrain of the urban site of Brazzaville, Kempena et al. (2016) highlighted that 4% of the soil is at high risk of loss, when considering erodibility. From the analysis of land cover conditions and the other factors of the Universal Soil Loss Equation, it was

found that 8% of the urban site of Brazzaville has a high potential for water erosion (Kempena et al., 2016).

Malanda et al. (2023) presented the risk of developing a bulge called Ngamakosso Erosion, with serious damage to the infrastructure of the Talangai neighborhood, northeast of the city of Brazzaville.

The map in Figure 1 shows the location of 3 major urban erosions studied, with their distribution in geological formations dated to the Quaternary and Cenozoic.

Figure 1. Gullies in Brazzaville and Kinshasa with highlights in Geology Formation.



Source: Elaboration of author.

The city of Brazzaville is located in a terrain with Quaternary sedimentary formations, highly friable with the presence of cliffs and dunes, with erosions of 400 m in length on average.

MATERIAL AND METHODS

The applied methodologies were derived from Geoprocessing, with the use of a geographic information system, software for image editing and acquisition of geographic data based on the Web.

In the acquisition of remote sensing images, Google Earth Pro was used, where the features were vectorized to generate files of the polygons of the mapped gullies.

To obtain the elevation dimensions, the terrain was activated in the Google Earth Pro view, with the annotation of the UTM coordinates and dimensions in a spreadsheet of rows and columns. In the Golden Surfer application, topographic maps of the gullies were generated, with the cartographic conventions of legends in hypsometry. To generate model terrain of gullies in software Golden Surfer used triangulation and linear interpolation method in spatial analysis.

Based on the geological map presented by Lateef et al. (2010), the geological formations were vectorized in the database of the geographic information system QGIS. In QGIS it was possible to define the datum and cartographic conventions, as well as the graphical scales.

When considering the topographic data of the urban basins, the rational method of maximum flow proposed by Pal & Pani (2016) was applied to estimate the flow in the gullies during voluminous rainfall of 30 mm.

In the Inkscape application, the editions of the cards were carried out with the insertion of images and symbology to represent the locations.

RESULTS

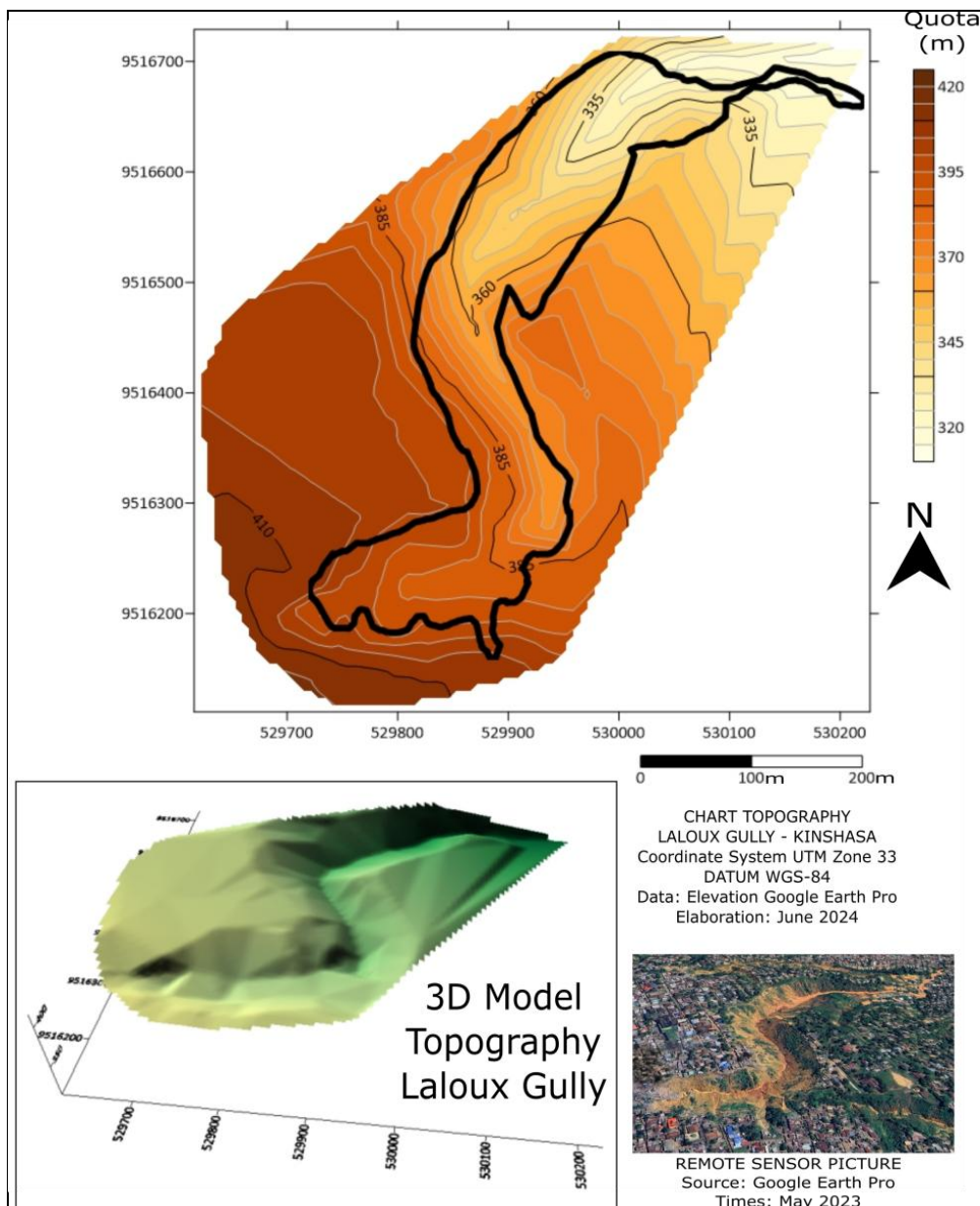
Urban erosion in Kinshasa

Probably, the Laloux gully is one of the largest in the world in urban areas. This erosive shape impresses with its shape and dimensions. Its format took 3 directions: first downstream with the bed of the watercourse, the second in the direction of the slope, and the third in the same direction as the Bolikango Avenue. According to remote sensing data, in 2004 the Laloux Gully had 850 m of long.

Currently, Laloux Gully is 1,100 m long, located downstream of Bolikango Avenue, located about 9 kilometers from the city center of Kinshasa. The area of the Laloux gully has approximately 10 hectares. The maximum width reaches 150 m, with an average width of 100 m.

The Laloux gully not only impresses with its dimensions but also stands out for its longitudinal shape in the letter S, with 3 directions of its bed. The head of the gully is located at an elevation of 420 m, exactly on the same bed as Bolikango Avenue, with a ramp at a maximum level of 447 m, 1,042 m long (slope of 3.5%). Figure 2 shows topography in area of Laloux gully, with levels of relief between 420 and 320 meters.

Figure 2. Topographic chart of Laloux Gully.



Source: *Elaboration of author.*

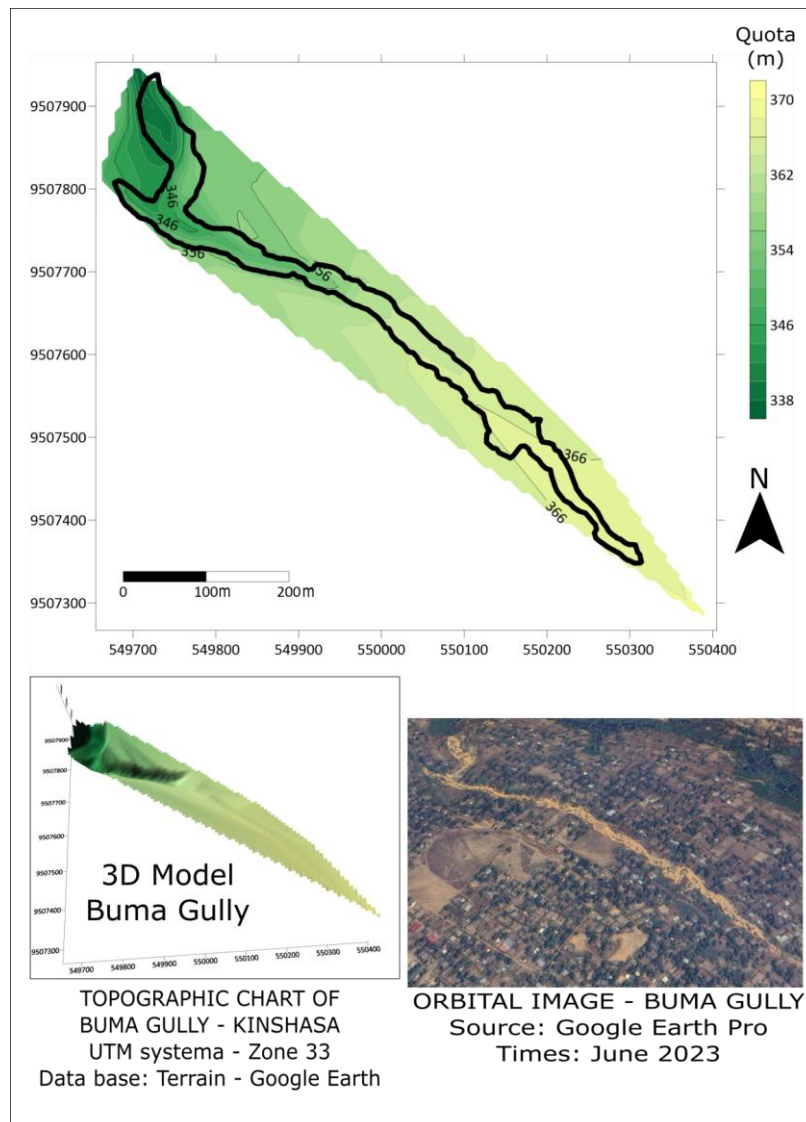
The contribution basin of the Laloux gully has an area of approximately 2.5 km, in urban density in the form of land use. Was estimated a maximum flow of 14.6 m³/s in contribution basin's Laloux gully.

The gully of Buma district is located 22 km from the center of Kinshasa, being a peri-urban erosion. It is from a headwater of the tributary of the Ntshuenge River, one of the main urban tributaries of the Congo River. This urban erosion is 1,070 meters long, with an average width of 40 m.

About the genesis of this peri-urban erosion, in 2014 the gully was only 200 m long, arising from an upstream erosion of the headwaters of the Ntshuenge River. From 2016 onwards, the gully developed on the same bed of a public road that connects to a road, in the Buma neighborhood of the city of Kinshasa. In 2016, the gully was 500 m long. In 2018, in just 2 years, the gully expanded 375 m, reaching 875 m in length. In 2021 the peri-urban erosion reached its maximum length with

1075 m, with the development of its depth. Between 2018 and 2023, the gully expanded by only 135 m. The contribution basin of this erosion has an area of 550,000 m². Buma road, upstream of gully is 4.4 km long with an elevation between 432 and 380 m, with an average slope of 11.8%. Downstream and northwest, a branch of the Boma gully began in the same direction as the road. Figure 3 shows topographic conditions of terrain in area of Buma's Gully in Kinshasa.

Figure 3. Topographic chart of Buma Gully.



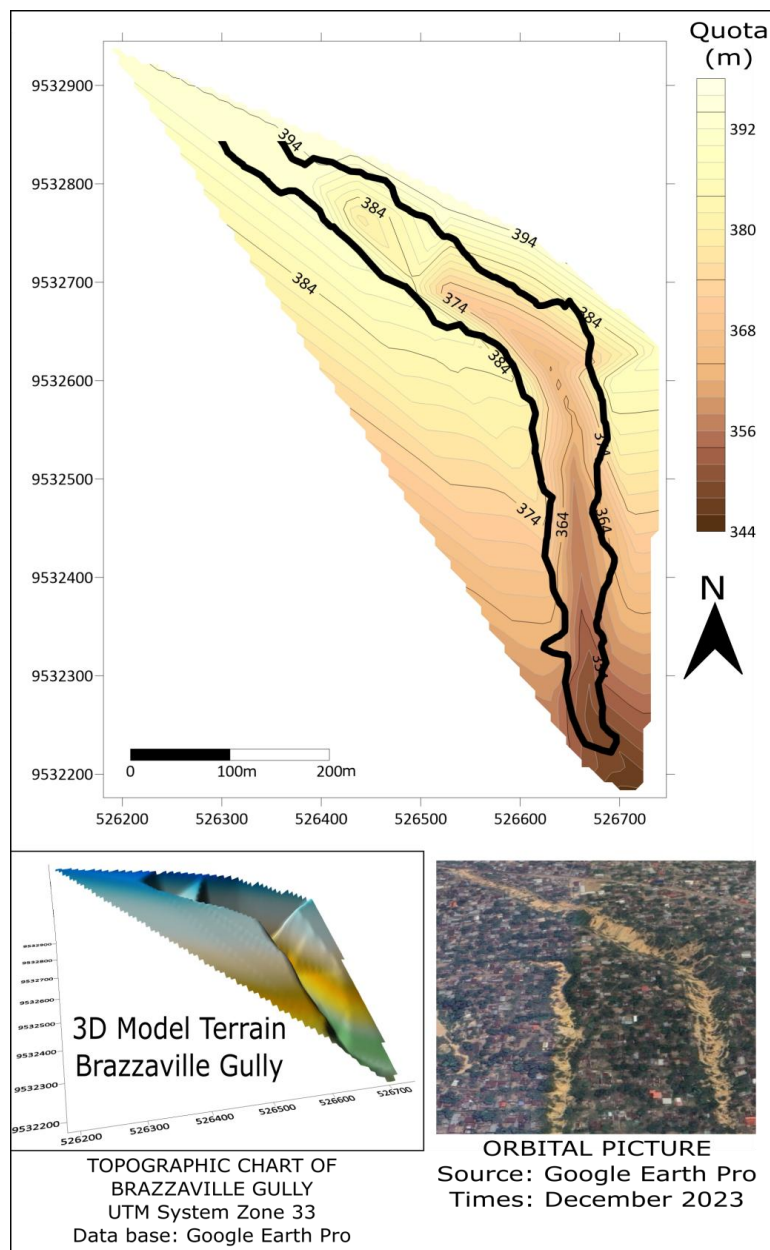
Source: Elaboration of author.

Urban Erosion in Brazzaville

The gully of P20 road in city of Brazzaville, in this text called Brazzaville Gully, has an area of 6 hectares with approximately 900 m of extension.

Despite having a shallower depth and width than the Kinshasa's gullies, the Brazzaville Gully has a large extension with 2 senses. Figure 4 shows the topography conditions in the degraded area of Brazzaville Gully.

Figure 4. Topographic chart of Brazzaville Gully.



Source: Elaboration of author.

The contribution basin of the Brazzaville Gully has an area of approximately 0.75 km, in urban density in the form of land use. Was estimated maximum flow of 3.7 m³/s in contribution basin's Brazzaville gully.

The city of Brazzaville is located in a terrain with Quaternary sedimentary formations, highly friable with the presence of cliffs and dunes, with erosions of 400 m in length on average.

DISCUSSION

In summary, each gully analyzed in this research has its autochthonous characteristics.

The Laloux Gully, having several decades, has large dimensions in width, extension and depth, with a rear-stream erosion due to the bed of the Boukingo Avenue. Another aspect that hinders the control of urban erosion in the Laloux Gully is the absence of vegetation cover for stability, which is common in gullies over 20 years old. According to Imwangana et al. (2014), the government of the Democratic Republic of the Congo has implemented 2 macro-drainage builds to control the Laloux Gully, but the upstream erosion activity destroys the macro-drainage galleries. The conditions of precipitation concentrated in the equatorial climate and the implementation of asphalt in the urban roads of the city of Kinshasa were factors that maintained the upstream erosion at the head of the Laloux Gully. The densely populated area of one of Africa's largest cities makes it difficult to control urban erosion, due to the deposition of solid waste and rubble in the headwaters of the Laloux Gully.

The gully of the Boma neighborhood in Kinshasa is a classic example of peri-urban erosion that developed on the same roadbed. The morphology of the urban roads in the Boma neighborhood depends on the road located 20 km from the center, but the circulation road itself was destroyed by the action of soil degradation. The gully of the Boma was not extended only because the local topography reached a lower level of a lap of a headwater. Although the average width of the gully is 35 m, the most downstream part is more than 50 m wide with a depth that exposes the deep sandy and homogeneous soil, being easily eroded during the rains.

Brazzaville's Gully developed in a Quaternary substrate terrain, with high fragility. In addition to this natural susceptibility factor, the gully arose in an area that was landfilled for the urban expansion of an area close to the airport. In this case, the gully wasn't specifically developed due to induction by runoff through a public road (road, ex.), but by the drainage itself in an embankment area. In view of these aspects, Brazzaville's gully is hard to control due to the drainage of an old, grounded watercourse and a terrain highly susceptible to erosion. The only advantage from a perspective of gully's control is the existence of vegetation that has regenerated, unlike the other 2 examples.

In common, the 3 examples of the gullies analyzed, it is possible to notice the presence of a deep and homogeneous soil, of light color by the remote sensing images, with a tendency of high erodibility.

Regarding the morphology of the gullies, one direction in the valley of the Boma's Gully, 2 directions in the Brazzaville's Gully, and 3 directions in the Laloux Gully were highlighted in the geomorphological conditions; in which it would be interesting to study the characteristics of soil granulometry with local plots.

CONCLUSIONS

Soil erosion is a phenomenon, which in the case of gullies leaves marks on the landscape, with risks mainly in urban areas. Faced with this problem that affects poor regions in equatorial and tropical climates, the very important measure is to quantify and delimit the degraded area. Therefore, mapping on a local scale, with topographic data, is important for future projects to control urban erosion and possibly solve the problem.

The water erosion in urban and peri-urban areas needs to have studies on the conditions of land use and occupation in micro watersheds, in order to ensure the correct direction of rainwater and adequate works for urban erosion.

Recent technologies for the acquisition of geographic data with Geoprocessing contribute to the existence of maps and information for technical professionals in the elaboration of projects for urban erosion control and city planning. In the case of the African continent, the action of projects depends on external resources, with the importance of reports and articles to justify the erosion control proposal. Universities can produce knowledge through dialogue with technical professionals in the extension of activities in favor of society and the environment.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Barrio, P.O., Campo-Bescós, M.A., Giménez, R. & Casali-Salasíbar, J. (2018) Assessment of soil factors controlling ephemeral gully erosion on agricultural fields. *Earth Surface Process and Landforms*, 43(9), 1993-2008. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.4347>
- Imwangana, F.M., Dewitte, O., Ntombi, M. & Moeyersons, J. (2014) Topographic and road control of mega-gullies in Kinshasa (DR Congo). *Geomorphology*, 217, 131-139 <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.021>
- Ionita, I., Fullen, M.A., Zglobicki, W. & Poesen, J. (2015) Gully erosion as a natural and human-induced hazard. *Natural Hazards*, 79(Suppl 1). <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-015-1935-z>
- Kempena, A., Guardado, R.L. & Bilembi, D. (2016). Estimating soil loss by water erosion in the microwatersheds of Brazzaville city. *International Journal of Science and Research*, 12(5), 1623-1626. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2460>
- Lateef, A.S.A., Fernandez-Alonso, M., Tack, L. & Delvaux, D. (2010) Geological constraints on urban sustainability, Kinshasa City, Democratic Republic of Congo. *Environmental Geosciences*, 17(1), 17-35. <https://archives.datapages.com/data/deg/2010/EG0110/EG08007/EG08007.HTM>
- Malanda, N., Madiela, B. D., Mbaki, V.R., Bidimbou, S.P.K., Nsongo, T. & Louzolo-Kimbele, P. (2023). Diagnosis and Qualitative Estimation of the Hydric Erosion in Watershed of Talangaï (Brazzaville) by the Application of Geographical Information System (GIS). *American Journal of Environmental Protection*, 12(2), 40-57. <http://www.amjep.org/article/10.11648/j.ajep.20231202.12>
- Mushi, C.A., Ndomba, P.M., Trigg, M.A., Tshimanga, R.M. & Mtalo, F. (2019). Assessment of basin-scale soil erosion within the Congo River Basin. *Catena*, 178(2), 64-76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816219300803>
- Pal, R. & Pani, P. (2016) Seasonality barrage regulated hydrology and flood scenarios of Ganga River: a study based on MNDWI and simple Gumbel model. *Model Earth System Environmental*, (2)57 <https://link.springer.com/article/10.1007/s40808-016-0114-x>
- Walker, S.J., Dijk, A.I.J.M., Wilkinson, S.N. & Hairsine, P.B. (2021) A comparison of hillslope drainage area estimation methods using high-resolution DEMs with implications for topographic studies of gullies. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(11), 2229-2247. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.5171>
- Wouters, T. & Wolff, E. (2010) Contribution à l'analyse de l'érosion intra-urbaine à Kinshasa. *Belgian Journal of Geography*, 3(1), 293-314. <https://journals.openedition.org/belgeo/6477>



GESTIÓN SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

**Estrategias y retos en el manejo de residuos:
una visión global desde los rankings
universitarios.**

Trinidad Esmeralda Vilchis-Pérez
Instituto de Ecología, A.C., México
trinidad.vilchis@inecol.mx

*Waste management strategies and challenges:
a global view from university rankings.*

Nancy Merary Jiménez-Martínez,
Ricardo Herrera-Navarrete

*Estratégias e desafios na gestão de resíduos:
uma visão global dos rankings universitários.*

Artículo científico

Enviado: 11/2/2025
Aprobado: 24/5/2025
Publicado: 26/5/2025

RESUMEN

Las universidades tienen un papel importante en la generación y transmisión de conocimientos para avanzar hacia la sustentabilidad; esta investigación abordó las contribuciones universitarias en el rubro “residuos” a partir de los rankings universitarios. El objetivo fue comparar estrategias y retos en materia de residuos mediante el análisis de dos rankings de alto reconocimiento. Para este fin, se llevó a cabo un diseño transversal descriptivo en tres fases. Se eligieron a los rankings *Universitas Indonesia GreenMetric* y *Times Higher Education-Impact Rankings* y se estudiaron las 40 universidades mejor evaluadas en el manejo de residuos en 2022. Los resultados revelaron que las universidades establecidas en países con un Índice de Desarrollo Humano alto tienen una mejor gestión de sus residuos, 80% se ubicaron en Europa y 20% en América. Una tendencia similar se encontró en México, donde en el norte y centro tienen mejores condiciones de desarrollo y manejo. Se identificaron y compararon campañas de minimización, categorías de separación, acopio, disposición, investigación y publicaciones sobre el tema. Se concluyó que es necesario impulsar en México emprendimientos que diseñen, apliquen y gestionen procesos de transformación de los residuos para lograr su máximo aprovechamiento y la reducción en la disposición final.

Palabras clave: ambiente, contaminación, educación superior, gestión, sustentabilidad

ABSTRACT

Universities play an important role in the generation and transmission of knowledge to advance towards sustainability; this research addressed university contributions in the area of “waste” based on university rankings. The objective was to compare strategies and challenges in the area of waste by analyzing two highly recognized rankings. For this purpose, a descriptive cross-sectional design was carried out in three phases. *Universitas Indonesia GreenMetric* and *Times Higher Education-Impact Rankings* were chosen, the 40 best evaluated universities in waste management in 2022 were studied. The results revealed that universities established in countries with a high Human Development Index have better waste management, 80% were located in Europe and 20% in the Americas. A similar trend was found in Mexico, where the north and center have better development and management conditions. Minimization campaigns, separation categories, collection, disposal, research and publications on the subject were identified and compared. It was concluded that there

is a need to promote in Mexico projects that design, apply and manage waste transformation processes to achieve maximum utilization and a reduction in final disposal.

Keywords: environment, higher education, management, pollution, sustainability

RESUMO

As universidades têm um papel importante na geração e transmissão de conhecimento para avançar em direção à sustentabilidade. Esta pesquisa abordou as contribuições universitárias na categoria “resíduos” com base em classificações universitárias. O objetivo foi comparar estratégias e desafios relacionados à gestão de resíduos, analisando dois rankings altamente reconhecidos. Para tanto, foi realizado um delineamento transversal descritivo em três fases. Os rankings Universitas Indonesia GreenMetric e Times Higher Education-Impact foram selecionados, e as 40 universidades com as maiores pontuações em gestão de resíduos em 2022 foram estudadas. Os resultados revelaram que as universidades localizadas em países com alto Índice de Desenvolvimento Humano têm melhor gestão de resíduos, com 80% localizadas na Europa e 20% nas Américas. Uma tendência semelhante foi encontrada no México, onde o Norte e o centro têm melhores condições de desenvolvimento e gestão. Foram identificadas e comparadas campanhas de minimização, categorias de separação, coleta, descarte, pesquisas e publicações sobre o tema. Concluiu-se necessário promover iniciativas no México que projetem, implementem e gerenciem processos de transformação de resíduos para obter o máximo aproveitamento e reduzir o descarte final.

Palavras-chave: ambiente, ensino superior, gestão, poluição, sustentabilidade

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas advierte que conforme avanza el siglo XXI la problemática ambiental se agudiza, por lo que es necesario actuar urgentemente para garantizar la protección de la naturaleza y la supervivencia humana en el planeta (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2024). Esta crisis civilizatoria, más que geológica o ecológica, demanda un cambio en las relaciones económicas, sociales y políticas, además del surgimiento de un nuevo paradigma que reconfigure el pensar, sentir y estar del ser humano en su entorno (Giraldo y Toro, 2020; Leff, 2021). En esta tarea, las universidades tienen un papel fundamental como entidades generadoras y transmisoras de conocimiento (Alarcón *et al.*, 2021; Bautista-Puig *et al.*, 2022).

La literatura reporta que las universidades sustentables asumen en sus políticas la responsabilidad de las prácticas con el entorno, proponen acciones e implantan sistemas de gestión ambiental (Anthony, 2021; Amaral *et al.*, 2020), que las impelen a diseñar estrategias para impulsar la sustentabilidad desde lo ambiental y lo educativo, además de desarrollar actitudes entre los estudiantes que favorezcan la intención de emprender para la sustentabilidad (Fanea-Ivanovici y Baber, 2022). Para evaluar estas tareas surgieron los rankings ambientales con procesos de clasificación ordenada que otorgan prestigio internacional a las universidades más comprometidas con la sustentabilidad (Sonetti *et al.*, 2016; Suwartha y Sari, 2013; Villaseñor *et al.*, 2015). No obstante, la difusión científica de sus resultados es escasa (Morrow y Rondinelli, 2002).

Esta investigación se propuso revisar los resultados del área de residuos de dos rankings reconocidos mundialmente. La importancia del estudio radica en el análisis de los procesos para el manejo de residuos en las universidades, ya que las consecuencias derivadas de su gestión inadecuada repercuten en la salud de la comunidad y del entorno natural (Owojori *et al.*, 2022; Vargas-Restrepo *et al.*, 2021). La relación entre la universidad y los residuos no es nueva; Boggiano-Burga y Vargas-Navarro (2023) documentan la necesidad de una aproximación interdisciplinaria a la producción de

residuos; Murcia y Esquiaqui (2021) profundizan en la Química Verde aplicada en la gestión de residuos químicos de laboratorios universitarios; Owojori *et al.* (2022) estudian el conocimiento, actitud y percepción de los estudiantes sobre la gestión de residuos sólidos; y autores como Ardali y Köksal (2022) y Savenkova y Redina (2023) abordan la relación entre residuos sólidos y cambio climático.

Otras aproximaciones muestran los resultados de actividades encaminadas a disminuir la producción de residuos en los campus universitarios con programas de gestión ambiental cuyos resultados se han evaluado positivamente (Jiménez-Martínez, 2021; Rodríguez *et al.*, 2022; Vargas-Restrepo *et al.*, 2021). No obstante, los avances de las universidades mexicanas en materia de gestión de residuos aún no se ubican en lugares destacados dentro de los rankings internacionales, por lo que la presente investigación busca atender los siguientes cuestionamientos ¿Cuáles son las universidades en los primeros lugares en los rankings universitarios? ¿Qué estrategias desarrollan en el ámbito de residuos? ¿Qué retos enfrentan? ¿Cuál es el posicionamiento de las universidades mexicanas y sus avances en este rubro?

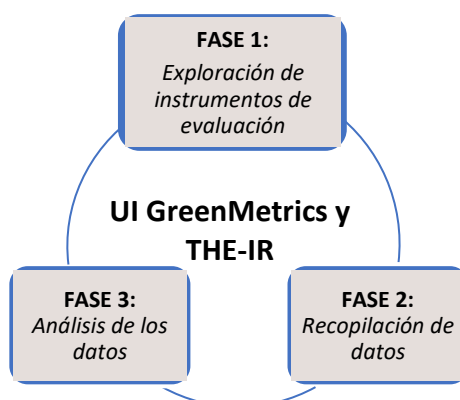
Se espera que, al exponer los resultados obtenidos por universidades sustentables exitosas, constituya un referente para aquellas instituciones interesadas en mejorar sus sistemas de gestión de residuos para alcanzar altos estándares de sustentabilidad y con ello contribuir a la mitigación del problema desde aspectos técnicos, metodológicos y formativos. Hasta el momento en que se elaboró este documento, no existen estudios que aborden el manejo de los residuos por medio de rankings universitarios. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar estrategias y retos en materia de residuos de diversas universidades del mundo con universidades mexicanas, a partir de datos en rankings de alto reconocimiento a nivel global.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue descriptiva con un diseño transversal. Se utilizaron datos de los rankings mundiales *UI GreenMetric* y *Times Higher Education-Impact Ranking* (THE-IR) del 2022, publicados en 2023; se llevó a cabo un análisis estadístico de tipo descriptivo que identificó las estrategias y retos en los programas de manejo de residuos que desarrollan las universidades para impulsar la sustentabilidad, localizables en sus sitios web.

Procedimiento metodológico

Figura 1. Procedimiento metodológico desarrollado en tres fases.



Fuente: Elaboración propia.

Primera fase. Exploración de instrumentos de evaluación

Para este estudio se revisaron los instrumentos de evaluación de rankings, que consisten en cuestionarios que las instituciones participantes responden y envían con las evidencias requeridas. Hay varios rankings ambientales que evalúan a las instituciones académicas en distintos rubros. En esta investigación, la elección de los rankings se determinó por los siguientes criterios:

- a) La orientación a la sustentabilidad universitaria.
- b) La inclusión de la gestión de residuos en el sistema de evaluación.
- c) La aceptación y reconocimiento.
- d) El número de instituciones que participan anualmente.

Para el desarrollo del análisis se consideraron dos rankings, los cuales cubren los criterios anteriores y se describen en la *tabla* que sigue a continuación.

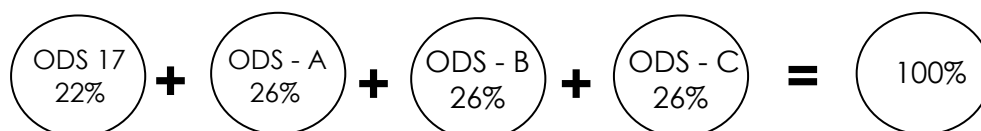
Tabla 1. Descripción de los rankings *UI GreenMetric* y *THE-IR*.

Ranking	Métricas	Indicadores	Dimensiones	Características
<i>UI GreenMetric</i>	6	51	Ambiental, conservación del entorno y gestión de la contaminación; social, salud, educación y equidad; económica, inversión y beneficios del enverdecimiento del campus.	Surgido en 2010 en Indonesia, sus indicadores están orientado hacia la sustentabilidad, aunque permite crear nuevos índices a partir de sus variables (Ragazzi y Ghidini, 2017). Abre la participación a países desarrollados y en vías de desarrollo (Suwartha y Sari, 2013). Su metodología simplificada, representa un reto con los datos recopilados para que estos puedan generar un criterio global apegado a la realidad (Galleli <i>et al.</i> , 2022; Lauder <i>et al.</i> , 2015). Se asigna un puntaje numérico a las respuestas y a las evidencias.
<i>Times Higher Education-Impact Ranking (THE-IR)</i>	75	211	Investigación, enseñanza, administración y extensión.	Primer Ranking Mundial Universitario que surgió en 2004, este ranking tiene un enfoque en los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para demostrar el impacto de las universidades en el desarrollo sustentable (Baty, 2014; Bautista-Puig <i>et al.</i> , 2022; Torabian, 2019). Sin embargo, Ordorika y Rodríguez (2010) afirman que este ranking responde principalmente a fines comerciales.

	Así también evalúa niveles macro y micro, el macro es para la clasificación general y considera cuatro ODS; el micro integra métricas e indicadores distintos para cada ODS.
--	--

Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 2. *Proporción para calcular la puntuación de la clasificación general.*



Fuente: *THE-IR (2022).*

La revisión del cuestionario se centró en la sección de residuos. En el instrumento de *UI GreenMetric*, se evalúan los avances en materia de reciclaje, manejo de los residuos orgánicos, inorgánicos, tóxicos y el tratamiento de las aguas residuales. Está compuesta por 12 criterios de evaluación y sus indicadores de desempeño. En la sección se pueden obtener hasta 1,800 puntos, que representa el 18% de la evaluación general (*tabla 2*).

Tabla 2. *Cuestionario UI GreenMetric categoría de residuos.*

No.	Criterio	Medida indicativa de desempeño	Puntos	Evidencia
3.1	WS1 Programa 3R (Reducir, Reutilizar, Reciclar) para los residuos universitarios.	[1] Ninguna. [2] Programa 3R en preparación. [3] Programa 3R 1-50% implementado. [4] Programa 3R > 50-75% implementado. [5] Programa 3R > 75% implementado.	300	Requerida
3.2	Programa para reducir el uso de papel y plástico en el campus.	[1] Ninguno. [2] 1 programa. [3] 2 programas. [4] 3 programas. [5] Más de tres programas.		Requerida
3.3	WS2 Volumen total de residuos orgánicos producidos.	Proporcione el número.	300	Requerida
3.4	Volumen total de residuos orgánicos tratados.	Proporcione el número.		Requerida
3.5	WS3 Tratamiento de residuos orgánicos	[1] Vertedero a cielo abierto. [2] Parcial (1 - 25% tratado). [3] Parcial (> 25 - 50 % tratado) [4] Parcial (> 50 - 75% tratado). [5] Extensivo (> 75% tratado).	300	Requerida

No.		Criterio	Medida indicativa de desempeño	Puntos	Evidencia
3.6		Volumen total de residuos inorgánicos producidos.	Proporcione el número.		Requerida
3.7		Volumen total de residuos inorgánicos tratados.	Proporcione el número.		Requerida
3.8		Tratamiento de residuos inorgánicos.	[1] Quemado al aire libre. [2] Parcial (1 - 25% tratado). [3] Parcial (> 25 - 50% tratado). [4] Parcial (> 50 - 75% tratado). [5] Extensivo (> 75% tratado).		Requerida
3.9	WS4	Volumen total de residuos tóxicos producidos.	Proporcione el número.	300	Requerida
3.10		Volumen total de residuos tóxicos tratados.	Proporcione el número.		Requerida
3.11	WS5	Tratamiento de residuos tóxicos (baterías, lámparas fluorescentes, residuos químicos).	[1] Sin manejo. [2] Parcial (1 - 25% tratado). [3] Parcial (> 25 - 50% tratado). [4] Parcial (> 50 - 75% tratado). [5] Extensivo (> 75% tratado) o el campus produce una cantidad mínima de residuos tóxicos.	300	Requerida
3.12	W6	Eliminación de aguas residuales	[1] Sin tratar. [2] Tratamiento preliminar. [3] Tratamiento primario. [4] Tratamiento secundario [5] Tratamiento terciario	300	Requerida

Fuente: *UI-GreenMetric (2023).*

En el THE-IR, el manejo de residuos se localiza en el ODS 12, *Producción y consumo responsables*. Se valora la producción científica de alto nivel en el tema; se solicita información de las medidas para minimizar el consumo del plástico y materiales desechables, afianzar el manejo integral de residuos y establecer políticas de abastecimiento éticas extendidas a proveedores; así como contar con un informe de sustentabilidad anual que divulgue los logros. Alcanzar la puntuación máxima representa un valor de 100% para el ODS 12 y 26% en la puntuación global (*tabla 3*).

Tabla 3. Cuestionario THE-IR correspondiente al ODS 12 (Consumo responsable y producción).

Métricas	Indicadores	% Individual	% Global
12.1 Investigación sobre consumo y producción responsables.		27,0	7,07
12.1.1 Consumo y producción responsables: Cite Score.	Proporción de publicaciones en el 10% superior de las revistas según la métrica Cite Score.	10,0	2,60
12.1.2 Consumo y producción responsables: FWCI.	Calidad de producción en investigación sobre producción y consumo responsable, a partir del número de citas.	10,0	2,60
12.1.3 Producción y consumo Responsable: publicaciones.	Número de publicaciones sobre consumo y producción responsables.	7,0	1,82
12.2 Medidas operativas.		26,7	6,94
12.2.1 Política de abastecimiento ético.	Política sobre abastecimiento ético de alimentos y suministros.	4,8	1,25
12.2.3 Política de eliminación de residuos-materiales peligrosos.	Política, proceso o práctica sobre eliminación de residuos: que cubra materiales peligrosos.	4,8	1,25
12.2.4 Política de eliminación de residuos-política de vertederos.	Política sobre eliminación de residuos para medir la cantidad de residuos reciclados y enviados a vertederos.	4,8	1,25
12.2.5 Política de minimización del uso de plástico.	Tener políticas sobre la minimización del uso del plástico.	4,8	1,25
12.2.6 Política de minimización de artículos desechables.	Políticas sobre la minimización del uso de artículos desechables.	4,8	1,25
12.2.7 Política de materiales de un solo uso: extensiones a los servicios.	Garantizar que estas políticas se extiendan a los servicios subcontratados y a la cadena de suministro.	1,35	0,35
12.2.8 Políticas de minimización extendidas a proveedores.	Garantizar que estas políticas se extiendan a los proveedores subcontratados y a la cadena de suministro (proveedores de equipos, papelería y contratos de construcción)	1,35	0,35
12.3 Proporción de residuos reciclados.		27,0	7,02
12.3.1 Seguimiento de residuos	Cantidad de residuos generados y reciclados en toda la universidad.	13,5	3,51
12.3.2 Proporción de residuos reciclados	Cantidad de residuos generados, cantidad de residuos reciclados, cantidad de residuos enviados al vertedero.	13,5	3,51
12.4 Publicación de un informe de sostenibilidad.	Publicación de un informe de sostenibilidad.	19,30	5,02
Total		100	26

Fuente: Elaboración propia basada en THE-IR (2022).

Segunda fase: recopilación de datos

En el año 2023 participaron en *UI GreenMetric* 1,885 universidades de 84 países y en THE-IR 1,705 universidades de 115 países. La muestra fue el *top ten* de las mejores universidades a nivel mundial y el *top ten* de las mejores universidades mexicanas reconocidas por su manejo de residuos. Se conformó un grupo de 40 instituciones. De acuerdo con el *Cambridge Academic Content Dictionary*, el término *top ten* se refiere a los diez elementos más destacados en un grupo similar (Cambridge, 2025). En esta investigación, se refiere a las universidades con los puntajes más altos en los rankings; se tomó como referencia el estudio de Pedroza (2022).

Esta técnica permite conocer datos sobre las instituciones, el país de origen y los aspectos de sustentabilidad, así como la tendencia hacia los ODS de mayor puntuación. A esta selección, se aplicó una búsqueda detallada en sus páginas web oficiales para identificar las estrategias y acciones en materia de residuos, usando palabras clave como: *manejo de residuos, basura, reciclaje, sustentabilidad, agua, separación, residuos peligrosos, residuos de manejo especial, jardinería y almacenamiento de residuos*, cuando no se obtuvieron resultados, se optó por una búsqueda más específica en Google con el nombre de la universidad.

Tercera fase: análisis de los datos

Con los datos se elaboraron tablas comparativas, con los nombres de las universidades, el país de procedencia y los resultados a nivel general y en manejo de residuos. Se integró una matriz de datos en MS-Excel versión 2019, software accesible para atender las necesidades estadísticas básicas de investigación (Pérez, 2006). Se registró la frecuencia y patrones de las estrategias y se identificaron coincidencias y tendencias.

RESULTADOS

Desde una perspectiva geográfica, las universidades mejor posicionadas en materia de residuos en *UI GreenMetric*, pertenecen a países un con Índice de Desarrollo Humano (IDH) muy alto y alto, entre 0,945 y 0,754 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2022a); 80 % se ubican en Europa y 20 % en América; ocho se encuentran en el *top ten* general y las otras dos en los lugares 11 y 12.

En el caso de las universidades mexicanas, las entidades federativas con mejor calificación en el manejo de residuos tienen un IDH muy alto y alto, entre 0,817 y 0,712 (PNUD, 2022b); 30% se ubican en el norte del país, 60% en el centro y 10% en el sureste. Ocho se encuentran en el *top ten* de universidades mexicanas y las otras dos en los lugares 13 y 21 (*tabla 4*).

Tabla 4. *Top ten: Universidades alto puntaje en la categoría de residuos GreenMetric.*

Clasificación internacional					Clasificación México				
Ranking	Universidad	País	IDH	Puntuación	Ranking	Universidad	Estado	IDH	Puntuación
1	Wageningen University & Research	Países Bajos	0,941	1800	13	Universidad Autónoma de Nuevo León	Nuevo León	0,803	1800
2	Nottingham Trent University	Reino Unido	0,929	1800	31	ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara	Jalisco	0,773	1800
3	Umwelt-campus Birkenfeld (trier University of Applied Sciences)	Alemania	0,942	1800	56	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Puebla	0,712	1725
4	University of Groningen	Países Bajos	0,941	1800	84	Universidad Nacional Autónoma de México	CDMX	0,817	1650
5	University of California, Davis	USA	0,921	1800	178	Instituto Tecnológico de Durango*	Durango	0,749	1575
6	University College Cork	Irlanda	0,945	1800	195	Universidad Iberoamericana Torreón*	Coahuila	0,789	1500
7	University of Nottingham	Reino Unido	0,929	1800	203	Universidad Autónoma Metropolitana	CDMX	0,817	1500
8	Universidade De Sao Paulo Usp	Brasil	0,754	1800	209	Universidad Iberoamericana Ciudad de México*	CDMX	0,817	1500
11	Dublín City University*	Irlanda	0,945	1800	233	Universidad Autónoma de Yucatán	Yucatán	0,751	1425
12	Universita di Bologna*	Italia	0,895	1800	245	Universidad Iberoamericana Puebla	Puebla	0,712	1425

Nota: Las universidades marcadas (*) no se encuentran dentro del *top ten* de universidades más sustentables, pero sí obtuvieron mejores puntajes en la categoría de residuos. IDH = Índice de Desarrollo Humano.

Fuente: *Elaboración propia.*

En el *THE-IR*, las universidades del *top ten* del ODS 12 son de países con IDH muy alto, entre 0,951 y 0,925 (PNUD, 2022a); 70% se sitúan en Europa, 10% en Asia, 10% en Oceanía y 10% en América; dos se encuentran en el *top ten* general y las otras ocho en el rango 14-85. Las puntuaciones registradas fueron entre 90,7 y 93,4 de 100 puntos asignados al ODS 12.

Las universidades mexicanas destacadas en este ODS son de estados con un IDH muy alto, entre 0,817 y 0,727 (PNUD, 2022b); 30% el norte y 70% del centro del país. Ocho se encuentran en el *top ten* de universidades mexicanas y las otras tres en los lugares 13 y 15. El puntaje obtenido en la categoría de residuos oscila en el rango de 26,1 y 81,9 puntos (*tabla 5*).

Tabla 5. Universidades con mayores puntajes en *THE-IR* en el ODS 12.

Clasificación internacional					Clasificación México				
Ranking	Universidad	País	IDH	Puntuación	Ranking	Universidad	Estado	IDH	Puntuación
1	Western Sidney University	Australia	0,951	93,4	92	Instituto Tecnológico de Monterrey	Nuevo León	0,803	81,9
61	University of Reading*	Reino Unido	0,929	93,0	201 - 300	Universidad de Guadalajara	Jalisco	0,773	58,7-66,7
2	University of Manchester	Reino Unido	0,929	92,9	32	Universidad Nacional Autónoma de México	CDMX	0,817	58,7-66,7
66	Manchester Metropolitan University*	Reino Unido	0,929	92,9	401-600	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	Hidalgo	0,753	49,9-58,6
34	University of Galway*	Irlanda	0,945	92,1	601-800	Universidad Autónoma del Estado de México	Estado de México	0,754	49,9-58,6
29	Bournemouth University*	Reino Unido	0,929	91,5	801-1000	Universidad Autónoma de Nuevo León	Nuevo León	0,803	49,4-58,6
85	Queen’s University Belfast*	Reino Unido	0,929	91,1	1001 +	Universidad Autónoma de Baja California*	Baja California	0,793	26,1-49,1
14	Yonsei University (Seoul campus) *	Corea del Sur	0,925	91,0	1001	Universidad de Celaya*	Guanajuato	0,727	26,1-49,1

14	Université Laval*	Canadá	0,936	90,7	801-1000	ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara	Jalisco	0,773	26,1-49,1
42	University of Sheffield*	Reino Unido	0,929	90,7	301-400	Universidad Autónoma Metropolitana	CDMX	0,817	26,1-49,1

Nota: Las universidades marcadas (*) no se encuentran dentro del *top ten* de universidades más sustentables, pero sí obtuvieron mejores puntajes en la categoría de residuos. IDH = Índice de Desarrollo Humano.

Fuente: *Elaboración propia.*

Las principales estrategias para el manejo de residuos que se identificaron fueron la separación selectiva y el aprovechamiento de sus subproductos; se diseñó una matriz para registrarlos, se encontraron 26 tipos, y se agruparon en cuatro categorías: residuos orgánicos, residuos valorizables (que se pueden enviar a reciclaje), residuos de manejo especial y residuos peligrosos. También se consideró la existencia de centros de acopio con separación diferenciada, campañas de minimización, investigación e informes de sostenibilidad con un apartado dedicado a residuos. Se trabajaron cuatro matrices, dos para *GreenMetric* (internacional y México) y dos del mismo tipo para THE-IR; no obstante, los resultados se presentan por clasificación internacional y México, debido a que no hay diferencias considerables en los datos obtenidos para cada ranking.

a) Clasificación internacional

Los resultados de la separación selectiva en las universidades clasificadas del *top ten* internacional mostraron que los residuos orgánicos son aprovechados para hacer composta; los materiales valorizables separados con mayor frecuencia fueron papel, cartón, plástico (PET y HDPE principalmente), latas y vidrio. Algunas universidades (35%) dan un tratamiento especial a los documentos confidenciales. Se identificó que algunas universidades valorizan materiales específicos como envolturas crujientes (University College Cork) y unicele (Western Sydney University y The University of Manchester). Los residuos de manejo especial que gestionan son electrónicos, cartuchos de tóner y textiles, mientras que los residuos peligrosos con mayor mención fueron los clínicos, de laboratorio y baterías (*tabla 6*).

Tabla 6. *Frecuencia de residuos para la clasificación a nivel internacional.*

<i>Tipo de residuo</i>	<i>F</i>	<i>Tipo de residuo</i>	<i>F</i>
Papel	20	Textiles / Muebles	11
Plástico	20	Metales / Refrigeradores	11
Cartón / Baterías	19	Vasos-papel	10
Orgánicos compostables	19	Tetrapak	9
Latas / Vidrio	18	Aceites	8
Laboratorio	16	Documentos confidenciales	7
Clínicos	16	Madera	7
Jardinería	15	Artículos de oficina / Sanitarios	4
Lámparas fluorescentes	14	Unicele	2
Tóner / Electrónicos	13	Envolturas crujientes	1

Nota: **F**= Frecuencia

Fuente: *Elaboración propia.*

Los resultados en materia de residuos a escala internacional indican que, en algunas instituciones, los residuos orgánicos se compostan *in situ* (30%) y en otras, se entregan a empresas dedicadas a la producción de fertilizantes orgánicos y biogás (70%). La separación de residuos está relacionada con la recolección externa diferenciada, las universidades contratan empresas especializadas para este fin. La separación diferenciada se mantiene desde la fuente hasta la recolección externa, las empresas colocan contenedores específicos para almacenamiento, cuya frecuencia de recolección depende del volumen producido. Algunas universidades tienen centros de acopio propios (45%).

El personal encargado de la recolección recibe capacitación y cuenta con recursos para realizar el trabajo de forma eficiente y segura; en algunas instituciones son empleados universitarios y en otras pertenecen a empresas contratadas. Para la recolección interna de los residuos de manejo especial y peligrosos se siguen protocolos apegados a la legislación vigente en cada país; posteriormente se almacenan en lugares exclusivos con la señalización respectiva y los recogen las empresas autorizadas.

En las universidades que se localizan en la Unión Europea y Estados Unidos de Norteamérica, los residuos excluidos de las categorías anteriores se entregan a otras empresas para su incineración y producción de energía, y una parte mínima, entre 0% (Universidad de Galway) y 11% (University of Reading), se envía a vertederos. Hay campañas de minimización en todas las instituciones. La más difundida (90%) fue la prohibición o reducción de plásticos de un solo uso y unicel, se fomenta el reúso de muebles y electrónicos, la ropa, calzado y otros materiales se acopian para donación a instituciones de beneficencia.

Las actividades de investigación se centran en la innovación de materiales para empaques y envases, diseño de tecnologías, valorización de residuos, aprovechamiento de orgánicos, caracterización, entre otros. Los informes de sustentabilidad se emiten en todas las instituciones, son públicos e incluyen los resultados de la gestión de residuos. Las páginas web de las universidades son accesibles y proporcionan información sobre el esquema de separación de residuos, los porcentajes de materiales que se envían a reciclaje y la proporción que se destina al vertedero.

b) Clasificación para México

Las universidades mexicanas con los mejores puntajes en el manejo de residuos tienen esquemas de separación que incluyen residuos orgánicos y de jardinería para la composta, así como algunos materiales valorizables, los más frecuentes son papel, plástico (PET), cartón y latas. Los principales residuos de manejo especial son los residuos electrónicos; los residuos peligrosos que se resguardan de acuerdo con las disposiciones de Ley son los clínicos, de laboratorio y las baterías. El unicel solo se separa en el Tecnológico de Monterrey (*tabla 7*).

Tabla 7. Frecuencia de residuos para la clasificación a nivel nacional (México).

<i>Tipo de residuo</i>	<i>F</i>	<i>Tipo de residuo</i>	<i>F</i>
Papel / Plástico / Orgánicos compostables	20	Metales	11
Cartón	19	Aceites	8
Clínicos	18	Tetrapak	7
Latas / Laboratorio	17	Muebles	6
Baterías / Jardinería / Electrónicos	16	Refrigeradores	5
Lámparas fluorescentes	15	Textiles	4
Madera/ Tóner	13	Sanitarios	3
Vidrio	12	Documentos confidenciales	2
		Unicel	1

Nota: **F**=Frecuencia

Fuente: *Elaboración propia.*

Las universidades tienen contratos con empresas recolectoras acreditadas por la autoridad ambiental federal o local. Sin embargo, no hay información específica sobre las empresas ni del tipo de residuos que aprovechan. Tampoco hay datos sobre el personal de limpieza, su contratación, capacitación o si cuentan con medidas de higiene y seguridad. Para la recolección de residuos peligrosos se consideran lineamientos que señala la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos en México y se entregan a las empresas autorizadas. Los residuos excluidos de las categorías anteriores los recoge el servicio de limpia municipal.

En la recolección interna se respetan los esquemas de separación y el acopio de los materiales valorizables se realiza en centros de almacenamiento propios de las instituciones (95%), únicamente en la Universidad de Celaya no se encontró información. Las empresas recogen los productos de estos centros. Se realizan campañas sobre minimización y consumo responsable, se invita a evitar el uso de desechables, existen bebederos gratuitos y los alimentos se venden en contenedores reutilizables. La reparación y reutilización de muebles (30%) y otros recursos como refrigeradores y congeladores (25%) es poco frecuente; 20% acopian ropa o textiles y 80% electrónicos.

Todas las universidades hacen investigación sobre temas como el reciclaje, residuos agroindustriales, normativa en residuos, situación del manejo de residuos sólidos en el país, manejo comunitario de los residuos, gestión de residuos orgánicos y estudios de caracterización. Los informes de sustentabilidad se localizaron en 90 % de las instituciones, son públicos e incluyen la gestión de residuos; muestran los resultados de forma descriptiva, no cuantitativa. No se encontraron informes de la Universidad de Celaya, ni del Instituto Tecnológico de Durango. En los sitios web, la especificación de los programas para el manejo de residuos y sus características es breve, no se localiza fácilmente y es necesario ingresar varias palabras clave para encontrarlos.

DISCUSIÓN

Las universidades destacadas en manejo de residuos se ubican en países y entidades federativas de México con Índice de Desarrollo Humano alto; esto plantea una relación entre el desarrollo económico y el manejo integral de residuos. Sin embargo, el posicionamiento de las universidades mexicanas en los rankings es diferente al de los países desarrollados. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Pedroza (2022), quien afirma que, en el alcance de la sustentabilidad, el desarrollo económico es un factor importante, pero el contexto sociocultural influye en la eficiencia de las prácticas.

En cuanto a la estructura de los rankings, *UI GreenMetric* mostró efectividad para valorar globalmente los aspectos claves de la sustentabilidad. Aunque Lauder *et al.* (2015) y Galleli *et al.* (2022) sostienen que su metodología es simple, se observó que en las universidades mexicanas los resultados en el rubro de residuos influyeron en el posicionamiento general. Este es un campo de estudio que ha sido poco explorado (Drahein *et al.*, 2019; Kehl y Kulcsár, 2022) y los datos que ofrece el ranking permite que las universidades de los países en vías de desarrollo identifiquen sus áreas de oportunidad (Suwartha y Sari, 2013).

En THE-IR, se observó que el manejo adecuado de residuos no representa una prioridad para la mayoría de las instituciones destacadas que se enfocaron en los Objetivos de Desarrollo Sostenible más atractivos, lo que muestra el carácter comercial del ranking (Ordorika y Rodríguez, 2010; Bautista-Puig *et al.*, 2022) y limita sus esfuerzos hacia aspectos específicos de la sustentabilidad (Baty, 2014; Torabian, 2019). Las universidades mexicanas tuvieron dificultades para cubrir los requisitos solicitados, lo que confirmó la necesidad de construir indicadores cercanos a la realidad regional y social, que favorezcan el desarrollo de estrategias replicables y escalables con resultados competitivos a largo plazo (Parvez y Agrawal, 2019; Sonetti *et al.*, 2016).

Entre las universidades destacadas a nivel mundial y las mexicanas hay similitudes en el tratamiento de residuos peligrosos y de manejo especial, así como en las acciones de prevención y separación interna de los residuos sólidos urbanos, iniciativas que demuestran la responsabilidad ambiental universitaria (Fanea-Ivanovici y Baber, 2022). Sin embargo, en las etapas de acopio, recolección externa y disposición final se encontraron diferencias importantes relacionadas con el tipo de actividades económicas que permiten la existencia de empresas que se encargan de la gestión externa de los residuos y de industrias que aprovechan una gama más amplia de residuos inorgánicos.

Esto posibilita que las universidades aseguren un manejo que les permita obtener datos precisos para sus informes de sustentabilidad. La información de las universidades mexicanas detalla el destino de los residuos orgánicos compostables, pero no el de los residuos separados; sus informes de sustentabilidad no muestran los porcentajes por categorías ni aquellos enviados a disposición final. Esto ha sido señalado por diversos autores que afirman que estas limitaciones derivan de la falta de inversiones para implantar sistemas integrales que aseguren el tratamiento óptimo hasta su última fase (Drahein *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2022; Vitoreli *et al.*, 2021).

En el campo de investigación, las universidades extranjeras se centran en tecnologías de aprovechamiento, disminución y mitigación (Ardali y Köksal, 2022; Savenkova y Redina, 2023); las mexicanas, en aspectos comunitarios, agroecológicos y normativos. Estas diferencias demuestran que el contexto geográfico y social influye en el enfoque desde el cual se aborda la sustentabilidad. De acuerdo con Sonetti *et al.* (2016), las prioridades y necesidades propias de las regiones y países determinan las prácticas y hacen heterogéneos los resultados, dificultando su comparación.

En el ámbito educativo, los rankings valoran las campañas de minimización, la investigación y la transversalidad curricular, pero no se incluyen indicadores para conocer la percepción, los hábitos, las conductas y costumbres de los universitarios (Boggiano-Burga y Vargas-Navarro, 2023; Owojori *et al.* 2022; Jiménez-Martínez, 2021; Alarcón *et al.*, 2021; Vargas-Restrepo *et al.*, 2021; Kayyali, 2020). Las propuestas de Sonetti *et al.* (2016) y Puertas y Marti (2019) para incluir la valoración de elementos sociales, proporcionaría una visión más amplia de la situación de las Instituciones de Educación Superior en América Latina.

CONCLUSIONES

Este estudio identificó las estrategias y retos del manejo de residuos de las universidades más reconocidas a nivel global y se compararon los de universidades mexicanas. A pesar de los avances de estas últimas por implantar acciones encaminadas a la sustentabilidad y el manejo de residuos, su posicionamiento en los rankings aun es bajo. Las actividades de prevención, separación y recolección interna son similares en todas las instituciones estudiadas, las diferencias se encuentran en la recolección externa, procesamiento y disposición final, que no dependen de las universidades, pero impactan en sus resultados.

A primera vista, el estudio hace evidente la necesidad de impulsar en México emprendimientos para gestionar, transformar y aprovechar residuos, lo que permitiría implantar esquemas de separación más amplios que podrían reducir la cantidad que se destina a disposición final; sin embargo, centrarse únicamente en este aspecto sería perpetuar el ciclo de comprar-usar-desechar que impone el sistema económico dominante. Por ello, a la par de estas medidas, sería pertinente desarrollar políticas públicas para respaldar, fortalecer y financiar iniciativas encaminadas al diseño de alternativas que permitan la reducción en la producción de residuos y promuevan la reflexión en el consumo.

El contexto de las Instituciones de Educación Superior es diferente en países desarrollados y en vías de desarrollo, participar en los rankings mundiales puede ser un gran reto para las universidades

mexicanas si no surgen propuestas para identificar guías aplicables al contexto regional y se incorporan paulatinamente estrategias escalables a largo plazo que permitan ser competitivos a nivel mundial al mismo tiempo que se cuida y protege el patrimonio natural, social y cultural. El alcance de la presente investigación estuvo limitada a los datos que se localizaron a través de las páginas web de las universidades. Acercarse directamente a las universidades mexicanas más destacadas para conocer sus sistemas de gestión integral de residuos puede ser una línea de investigación que complemente el presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, R., Almuiñas, J. L. e Iñigo, E. (2021). Calidad y rankings universitarios globales: una mirada desde América Latina. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(6), 421-434. <https://acortar.link/PwXwj5>
- Amaral, A., Rodrigues, E., Gaspar, A. & Gomes, A. (2020). A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations. *Journal of Cleaner Production*, 250, e119558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>
- Anthony, B. (2021). Green campus paradigms for sustainability attainment in higher education institutions – a comparative study. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 12 (1), 117-148. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-02-2019-0008>
- Ardali, Y. & Köksal, Ö. (2022). Climate Change Adaptation and Integrated Waste Management in the time of Pandemic in Ondokuz Mayıs University. *Journal of Sustainability Perspectives*, 2, 263-270. <https://doi.org/10.14710/jsp.2022.15521>
- Baty, P. (2014). The Times Higher Education World University Rankings, 2004-2012. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 13(2), 125-130. <https://doi.org/10.3354/esep00145>
- Bautista-Puig, N., Orduña-Malea, E. & Perez-Esparrells, C. (2022). Enhancing sustainable development goals or promoting universities? An analysis of the times higher education impact rankings. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(8), 211-231. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2021-0309>
- Boggiano-Burga, M. L. y Vargas-Navarro, V. M. (2023). Gestión de residuos sólidos generados en el proceso de trabajo estudiantil en la FAUA - UPAO. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (11), A-006. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202301.A006>
- Cambridge. (2025). *Top ten*. English Dictionary. <https://acortar.link/1BWccn>
- Drahein, A. D., De Lima, E. P. & Da Costa, S. E. G. (2019). Sustainability assessment of the service operations at seven higher education institutions in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 212, 527-536. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.293>
- Fanea-Ivanovici, M. & Baber, H. (2022). Sustainability at Universities as a Determinant of Entrepreneurship for Sustainability. *Sustainability*, 14(1), 454. <https://doi.org/10.3390/su14010454>
- Galleli, B., Teles, N. E. B., Santos, J. A. R. d., Freitas-Martins, M. S. & Hourneaux, F. (2022). Sustainability university rankings: a comparative analysis of UI green metric and the times higher

- education world university rankings. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(2), 404-425. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-12-2020-0475>
- Giraldo, O. F. y Toro, I. (2020). *Afectividad ambiental: sensibilidad, empatía, estéticas del habitar*. El Colegio de la Frontera Sur. Universidad Veracruzana. <https://acortar.link/3UOnyg>
- Jiménez-Martínez, N. M. (2021). La sustentabilidad universitaria en México: avances y desafíos. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.46380/rias.vol4.e152>
- Kayyali, M. (2020). Pros and Cons of University Rankings. *International Journal of Management, Sciences, Innovation, and Technology*, 1(1), 1-6. <https://acortar.link/wT1vln>
- Kehl, D. & Kulcsár, T. (2022). The Greenest Hungarian University for the Greenest Hungarian City – the University of Pécs in the light of sustainability. *Journal of Sustainability Perspectives*, 2(2), 129-139. <https://doi.org/10.14710/jsp.2022.15480>
- Lauder, A., Sari, R. F., Suwartha, N. & Tjahjono, G. (2015). Critical review of a global campus sustainability ranking: GreenMetric. *Journal of Cleaner Production*, 108(Part 1), 852-863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.080>
- Leff, E. (2021). *Political Ecology: Deconstructing Capital and Territorializing Life*. Palgrave MacMillan.
- Morrow, D. & Rondinelli, D. (2002). Adopting Corporate Environmental Management Systems. *European Management Journal*, 20(2), 159-171. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(02\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(02)00026-9)
- Murcia, J. S. y Esquiaqui, L. A. (2021). Química verde aplicada en los residuos de universidades. *Educación Química*, 32(2), 154-154. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76534>
- Ordorika, I. & Rodríguez, R. (2010). El ranking Times en el mercado del prestigio universitario. *Perfiles Educativos*, 32(129), 8-29. <https://acortar.link/o7S4kl>
- Owojori, O. M., Mulaudzi, R. & Edokpayi, J. N. (2022). Student's Knowledge, Attitude, and Perception (KAP) to Solid Waste Management: A Survey towards a More Circular Economy from a Rural-Based Tertiary Institution in South Africa. *Sustainability*, 14(3), 1310. <https://doi.org/10.3390/su14031310>
- Parvez, N. & Agrawal, A. (2019). Assessment of sustainable development in technical higher education institutes of India. *Journal of Cleaner Production*, 214(220), 975-994. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.305>
- Pedroza, R. (2022). Universidades verdes y sostenibles. *Con Texto Humano*, 1(1), 27-42. <https://acortar.link/sOnRSB>
- Pérez, L. O. (2006). Microsoft Excel: una herramienta para la investigación. *MediSur*, 4(3), 68-71. <https://acortar.link/dvpxTy>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022a). *Informe de desarrollo humano municipal 2010-2020: Una Década de Transformaciones Locales para el Desarrollo de México*. <https://acortar.link/Jn7FcJ>

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022b). *Asamblea para el Medio Ambiente: 15 resoluciones para frenar la triple crisis planetaria*. <https://acortar.link/Jn7FcJ>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). *Asamblea para el Medio Ambiente: 15 resoluciones para frenar la triple crisis planetaria*. <https://acortar.link/Ls63YF>
- Puertas, R. & Marti, L. (2019). Sustainability in Universities: DEA-GreenMetric. *Sustainability* 11(14), 3766 . <https://doi.org/10.3390/su11143766>
- Ragazzi, M. & Ghidini, F. (2017). Environmental sustainability of universities: critical analysis of a green ranking. *Energy Procedia*, 119, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.054>
- Rodríguez, A., Mejías, R. y Vindas, M. C. (2022). Desempeño ambiental universitario en el ranking UI Green Metric. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 90-99. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i1.5161>
- Savenkova, E. & Redina, M. (2023). The practice of waste management in the RUDN University. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1194(1), 012025-012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1194/1/012025>
- Sonetti, G., Lombardi, P. & Chelleri, L. (2016). True Green and Sustainable University Campuses? Toward a Clusters Approach. *Sustainability*, 8(1), 83-83. <https://doi.org/10.3390/su8010083>
- Suwartha, N. & Sari, R. F. (2013). Evaluating UI GreenMetric as a tool to support green universities development: assessment of the year 2011 ranking. *Journal of Cleaner Production*, 61(15), 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.034>
- Times Higher Education-Impact Ranking. (2022). *Impact Rankings methodology 2022*. <https://acortar.link/BMz7h7>
- Torabian, J. (2019). Revisiting Global University Rankings and Their Indicators in the Age of Sustainable Development. *Sustainability: The Journal of Record*, 12(3), 167-172. <https://doi.org/10.1089/sus.2018.0037>
- UI-GreenMetric. (2023). Guideline UI GreenMetric World University Rankings 2023. <https://greenmetric.ui.ac.id/publications/guidelines/2023/english>
- Vargas-Restrepo, C. M., Gutiérrez-Monsalve, J. A., Vélez-Rivera, Diego Andrés, Gómez-Betancur, M. A., Aguirre-Cardona, D. A., Adriana, Q.-O. L. y Franco-Montoya, J. C. (2021). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Revista científica Pensamiento y Gestión*, 50, 117-152. <https://doi.org/10.14482/pege.50.628.445>
- Villaseñor, J. I., Moreno, C. I. y Flores, J. E. (2015). Perspectivas actuales sobre los rankings mundiales de universidades. *Revista de la Educación Superior*, 44(175), 41-67. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2015.09.001>
- Vitoreli, M. C., Guarnetti, R. L. & Mariano, E. B. (2021). Sustainable Universities _The GreenMetric Tool As a Strategic Driver in HEIs Considering Different Realities. *Journal of Sustainability Perspectives*, 1(2). <https://doi.org/10.14710/jsp.2021.11751>



FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

Potencial eólico marino en México: Zonas óptimas para aerogeneradores fijos.

Offshore wind potential in Mexico: Optimal zones for fixed-bottom wind turbines.

Potencial eólico marinho no México: Zonas ótimas para aerogeneradores fixos.

**Claudia Rebeca Rábago Arredondo,
Denise Margarita Rivera Rivera**

Universidad Centro Panamericano de Estudios
Superiores, México

denise.rivera@unicepes.edu.mx

Artículo científico

Enviado: 2/6/2025

Aprobado: 17/9/2025

Publicado: 30/9/2025

RESUMEN

La energía eólica es un recurso renovable aprovechable mediante aerogeneradores instalados en tierra y mar. Desde la década de 1990 países como Dinamarca y Estados Unidos desarrollaron parques eólicos marinos, impulsando la transición energética. En contraste, México, pese a condiciones geográficas y climáticas favorables, presenta rezago en la evaluación y aprovechamiento del recurso eólico marino. Este estudio tuvo como objetivo identificar las regiones mexicanas con mayor potencial eólico marino para la instalación de aerogeneradores fijos, considerando factores geográficos, climáticos y tecnológicos. Se emplearon simulaciones geoestadísticas con el programa *Global Wind Atlas* para caracterizar el potencial eólico en el Istmo de Tehuantepec, las costas de Yucatán y Veracruz. Posteriormente, se simuló un parque eólico marino con aerogeneradores fijos en *System Advisor Model* para evaluar su viabilidad técnica y económica. Los resultados indicaron que el Istmo de Tehuantepec presentó el mayor potencial, gracias a la elevada velocidad del viento, estabilidad atmosférica y condiciones batimétricas óptimas; lo que permite un alto rendimiento energético y costos operativos competitivos. Este estudio demostró la relevancia de un análisis técnico riguroso para orientar decisiones estratégicas, diversificar la matriz energética, impulsar la transición hacia fuentes renovables y desarrollar infraestructura eólica marina en México.

Palabras clave: energía renovable, infraestructura marina, modelado energético, simulación geoestadística, transición energética, viabilidad técnica.

ABSTRACT

Wind energy is a renewable resource harnessed by turbines installed onshore and offshore. Since the 1990s, countries such as Denmark and the United States have developed offshore wind farms, driving energy transition. In contrast, Mexico, despite favorable geographic and climatic conditions, lags in the assessment and exploitation of offshore wind resources. This study aimed to identify Mexican regions with the highest offshore wind potential for fixed-bottom turbines installation, considering geographic, climatic, and technological factors. Geostatistical simulations using the *Global Wind Atlas* software were used to characterize the wind potential in the Isthmus of Tehuantepec and the coasts of Yucatán and Veracruz. An offshore wind farm with fixed-bottom turbines was subsequently simulated in the *System Advisor Model* software to assess its technical and economic feasibility. Results indicated that the Isthmus of Tehuantepec exhibited the greatest potential, thanks to its high wind speed, atmospheric stability, and optimal bathymetric conditions, enabling high energy yield

and competitive operational costs. This study demonstrated the relevance of rigorous technical analysis to guide strategic decisions, diversify the energy matrix, drive transition to renewable sources, and develop offshore wind infrastructure in Mexico.

Keywords: energy modeling, energy transition, geostatistical simulation, marine infrastructure, renewable energy, technical feasibility.

RESUMO

A energia eólica é um recurso renovável que pode ser explorado por meio de turbinas eólicas instaladas em terra e no mar. Desde a década de 1990, países como Dinamarca e Estados Unidos desenvolveram parques eólicos offshore, impulsionando a transição energética. Em contraste, o México, apesar das condições geográficas e climáticas favoráveis, está atrasado na avaliação e exploração de recursos eólicos offshore. Este estudo teve como objetivo identificar as regiões mexicanas com maior potencial eólico offshore para instalação de turbinas eólicas fixas, considerando fatores geográficos, climáticos e tecnológicos. Simulações geoestatísticas usando o programa Global Wind Atlas foram usadas para caracterizar o potencial eólico no istmo de Tehuantepec e nas costas de Yucatán e Veracruz. Um parque eólico offshore com turbinas fixas foi então simulado no System Advisor Model para avaliar sua viabilidade técnica e econômica. Os resultados indicaram que o Istmo de Tehuantepec apresentou o maior potencial, graças à sua alta velocidade de vento, estabilidade atmosférica e condições batimétricas ótimas, permitindo alta eficiência energética e custos operacionais competitivos. Este estudo demonstrou a importância de uma análise técnica rigorosa para orientar decisões estratégicas, diversificar a matriz energética, impulsionar a transição para fontes renováveis e desenvolver infraestrutura eólica offshore no México.

Palavras-chave: energia renovável, infraestrutura marinha, modelagem de energia, simulação geoestatística, transição energética, viabilidade técnica.

INTRODUCCIÓN

La energía eólica tiene su origen en la energía solar: la radiación solar calienta de forma desigual la superficie terrestre y la atmósfera, generando gradientes de temperatura y presión que ponen en movimiento el aire y concentran energía cinética a distintas escalas. Esta energía cinética del viento puede convertirse en electricidad mediante aerogeneradores onshore (terrestres) y offshore (marinos) y se perfila como una de las energías renovables de más rápido crecimiento a nivel global. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024) en 2023 la capacidad instalada a nivel mundial de energía eólica supera los 1000 GW, de los cuales alrededor del 7% corresponden a parques marinos. Aunque la tecnología offshore ofrece factores de planta más elevados y una producción más continua, sus costos de instalación siguen siendo altos y según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2023), aún no existen mapeos integrados que orienten de manera precisa la elección de sitios, lo que frena su despliegue frente a proyectos terrestres.

En México, el potencial eólico marino resulta muy atractivo: con más de 11 000 km de litoral en sus costas pacífica y del Golfo de México, y velocidades medias de viento superiores a 7 m/s en aguas someras (<60 m de profundidad), las condiciones son adecuadas para las cimentaciones fijas de aerogeneradores según el Consejo Global de Energía Eólica (2024) y la Secretaría de Energía (2023). Estudios oficiales estiman un recurso eólico offshore potencial de varios miles de gigavatios en la plataforma continental mexicana, muy por encima de la meta nacional de 15 GW de capacidad eólica de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (2023). Sin embargo, esta oportunidad permanece sin aprovecharse por la carencia de un marco técnico que integre batimetría, recurso eólico, cercanía a

costa y criterios tecnológicos, así como por falta de regulaciones específicas y de certeza jurídica para proyectos marinos más allá de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (2008), que define las directrices generales para el uso de fuentes limpias y establece los mecanismos de financiamiento; y a la Reforma Energética de 2013, implementada en 2014 mediante modificaciones a la Ley de la Industria Eléctrica orientadas a modernizar el sector eléctrico (Vázquez-Pérez, 2021). Además, las directrices recientes que privilegian proyectos de Petróleos Mexicanos y de la Comisión Federal de Electricidad desalientan la inversión privada y la adopción de tecnología avanzada, retrasando la materialización de parques offshore.

La investigación nacional en energía eólica marina se encuentra todavía en una etapa incipiente y fragmentada. Los estudios existentes carecen de regionalizaciones detalladas y datos robustos sobre variables climatológicas, geográficas y tecnológicas para la selección de emplazamientos óptimos (Arredondo-Gómez *et al.*, 2022; Meza-Carreto *et al.*, 2024). Además, la dependencia de tecnología importada encarece los proyectos y dispersa sus beneficios en fabricantes extranjeros, lo que dificulta el desarrollo de capacidades locales y la transferencia tecnológica. Este escenario subraya la necesidad de un método sistemático que combine modelaciones de viento, evaluaciones ambientales y estándares de diseño adaptados al contexto mexicano, de modo que el potencial teórico se convierta en capacidad instalada real.

En este trabajo se tuvo como objetivo principal identificar zonas óptimas para la instalación de aerogeneradores fijos marinos en México, evaluando de manera integral variables geográficas, climáticas y tecnológicas. El alcance de esta primera etapa se centra exclusivamente en la determinación de los sitios más adecuados para su instalación; por ello, las variables socioambientales, como los impactos sobre hábitats, el uso del espacio marino, la pesca y las dinámicas de comunidades costeras, si bien se reconocen como fundamentales para una eventual implementación, no fueron consideradas en este análisis y deberán incorporarse en fases posteriores. Además, se propone un modelo de parque eólico offshore orientado a maximizar los beneficios económicos, naturales y tecnológicos para el sistema eléctrico nacional. Entre los objetivos específicos se tuvieron: caracterizar los beneficios potenciales de un parque eólico marino adaptado a México y contrastar las regiones de mayor recurso con experiencias internacionales de éxito, con el fin de extraer recomendaciones y buenas prácticas que sirvan de base a futuros marcos regulatorios y de planificación.

La hipótesis plantea que las regiones costeras mexicanas con vientos constantes, profundidades adecuadas y proximidad a la costa ofrecen un recurso suficiente para diseñar instalaciones offshore capaces de generar beneficios económicos, naturales y tecnológicos comparables a los de los proyectos eólicos marinos más avanzados del mundo. Si bien este estudio se centra en variables geográficas, climáticas y tecnológicas, dejando sistemáticamente fuera del análisis la dimensión social, se reconoce que esta última es esencial para la viabilidad de cualquier proyecto y deberá incorporarse en evaluaciones futuras. Además de los resultados técnicos, este estudio analiza las implicaciones en políticas energéticas, como el convenio entre la Comisión Federal de Electricidad y la Agencia Danesa de Energía, así como el potencial de creación de empleo y desarrollo económico en las comunidades costeras.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se empleó un enfoque de simulación geoestadística dividido en dos etapas complementarias. En la primera etapa se caracterizaron cuatro parques eólicos marinos consolidados: Vineyard Wind I (Estados Unidos), Wikinger (Alemania), Hornsea 2 (Reino Unido) y Anholt (Dinamarca), para evaluar sus condiciones climáticas (velocidad media, densidad de potencia y direccionalidad del viento) y sus atributos geográficos (batimetría y proximidad a la costa) a través de la plataforma Global Wind Atlas (2022). Con estos resultados se definieron categorías de buenas prácticas que sirvieron de criterio para la selección de zonas análogas en México, considerando únicamente ubicaciones con aguas someras (<60 m de profundidad), velocidades medias del viento superiores a 7 m/s y distancias optimizadas a la costa para cimentaciones fijas de aerogeneradores. En la segunda etapa, cada una de las zonas mexicanas seleccionadas se modeló como un parque eólico offshore de cimentación fija utilizando el software System Advisor Model (SAM) versión 2023, herramienta del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (2023) con el propósito de evaluar la viabilidad técnica y económica. Este software considera datos representativos de EE. UU., de modo que, para los fines de esta investigación, se seleccionaron modelos con características similares a las ubicaciones propuestas para las zonas costeras mexicanas. Los resultados simulados se compararon con los cuatro casos mencionados (Vineyard Wind I, Wikinger, Hornsea 2 y Anholt) (*figura 1*).

Para la obtención y tratamiento de datos, se empleó principalmente la plataforma Global Wind Atlas (GWA, 2022), la cual proporcionó mapas de alta resolución del recurso eólico a nivel global, nacional y regional (*figura 2*). Se recopilaron datos correspondientes al periodo 2020-2024, de modo que se capturaron las variaciones a corto plazo y los patrones estacionales que pudieran influir en la viabilidad de aerogeneradores fijos. A partir de las capas clasificadas según los factores de carga de la Comisión Electrotécnica Internacional (2019), se extrajeron los parámetros de velocidad y densidad del viento, y se superpusieron las capas de batimetría y distancia a costa para delimitar los emplazamientos viables (*figura 3*). A fin de ilustrar el procedimiento aplicado a todos los casos de estudio, se muestra el caso de Vineyard Wind I en las *figuras 4-6*, que representan respectivamente: (i) la velocidad media del viento superior a 7 m/s, (ii) densidad media de potencia y (iii) batimetría uniforme cercana a 45 m de profundidad.

Figura 1. Flujo metodológico del presente estudio.

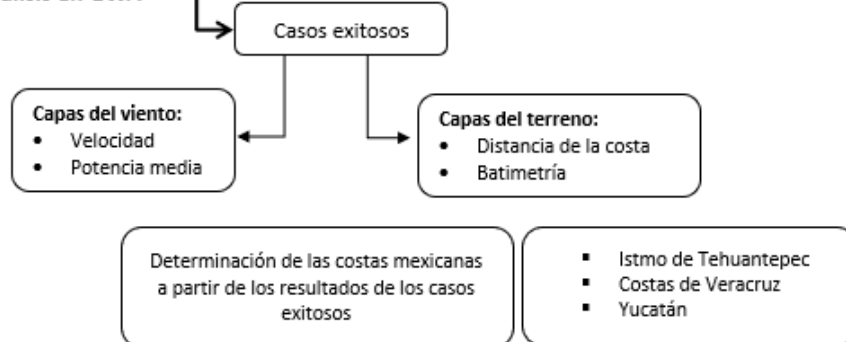
1. Selección de casos exitosos de parques eólicos marinos:

- Vineyard Wind, en Estados Unidos.
- Hornsea 2, Reino Unido.
- Wikinger, en Alemania.
- Anholt, en Dinamarca.

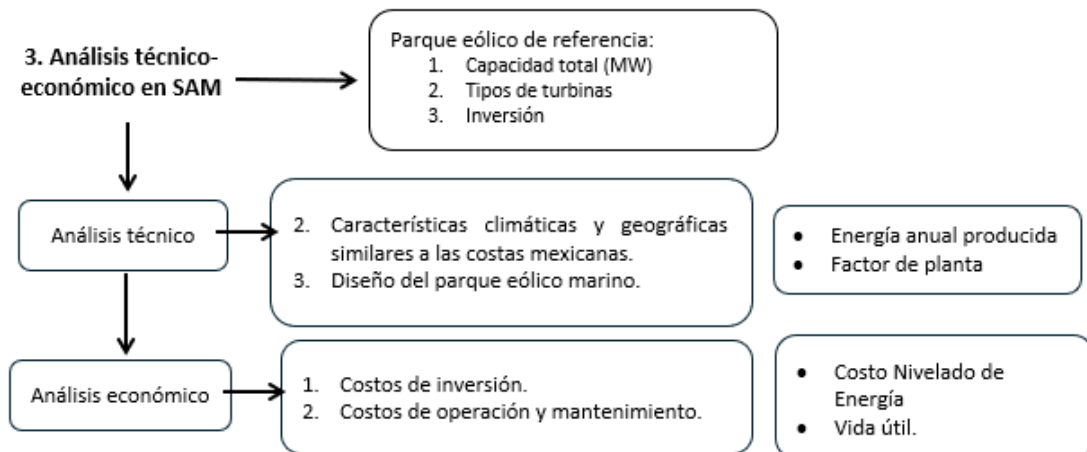
Características:

- Ubicación
- Capacidad instalada (MW)
- Tipos de turbinas
- Costos

2. Análisis en GWA

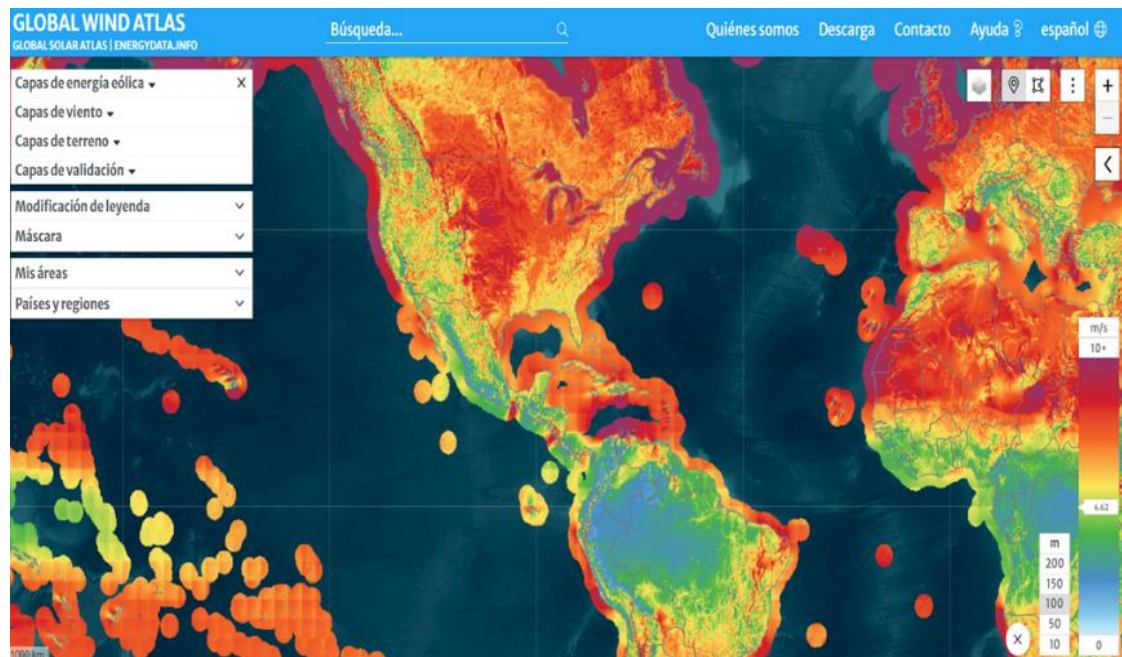


3. Análisis técnico-económico en SAM



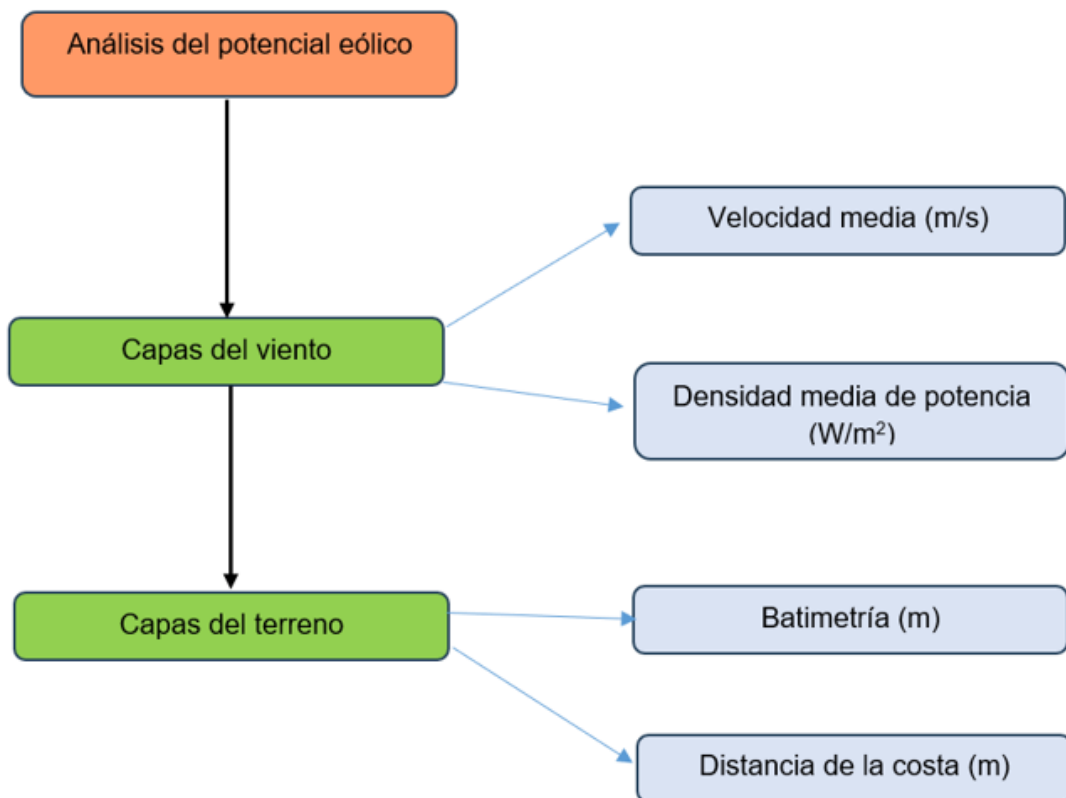
Fuente: *Elaboración propia.*

Figura 2. Interfaz de GWA.



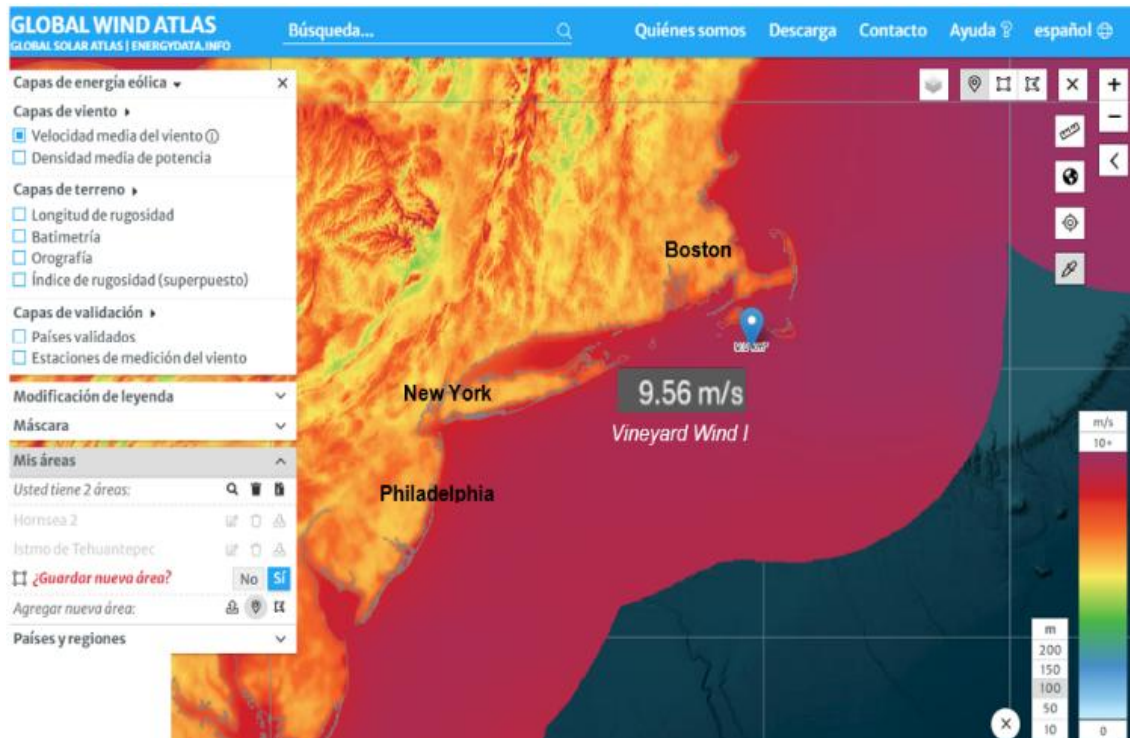
Fuente: Global Wind Atlas (2024).

Figura 3. Diagrama de análisis de datos para la evaluación del potencial eólico en GWA.



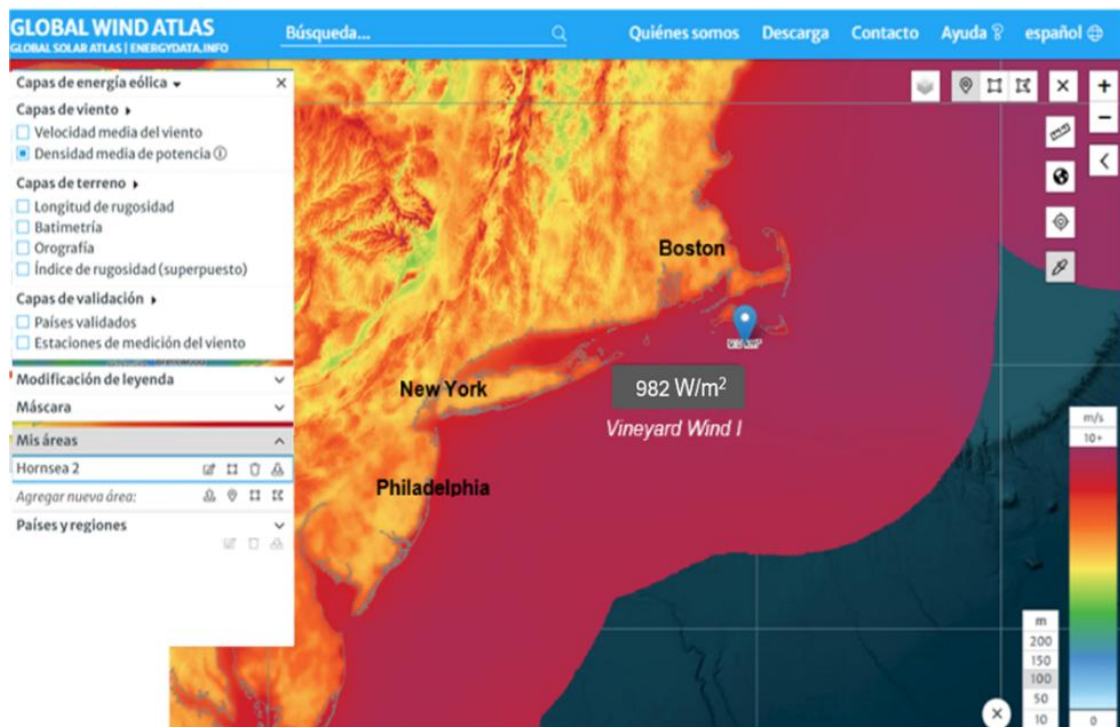
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Velocidad media del viento a lo largo del periodo de estudio (4 años) en el Parque Eólico Vineyard Wind I de Estados Unidos.



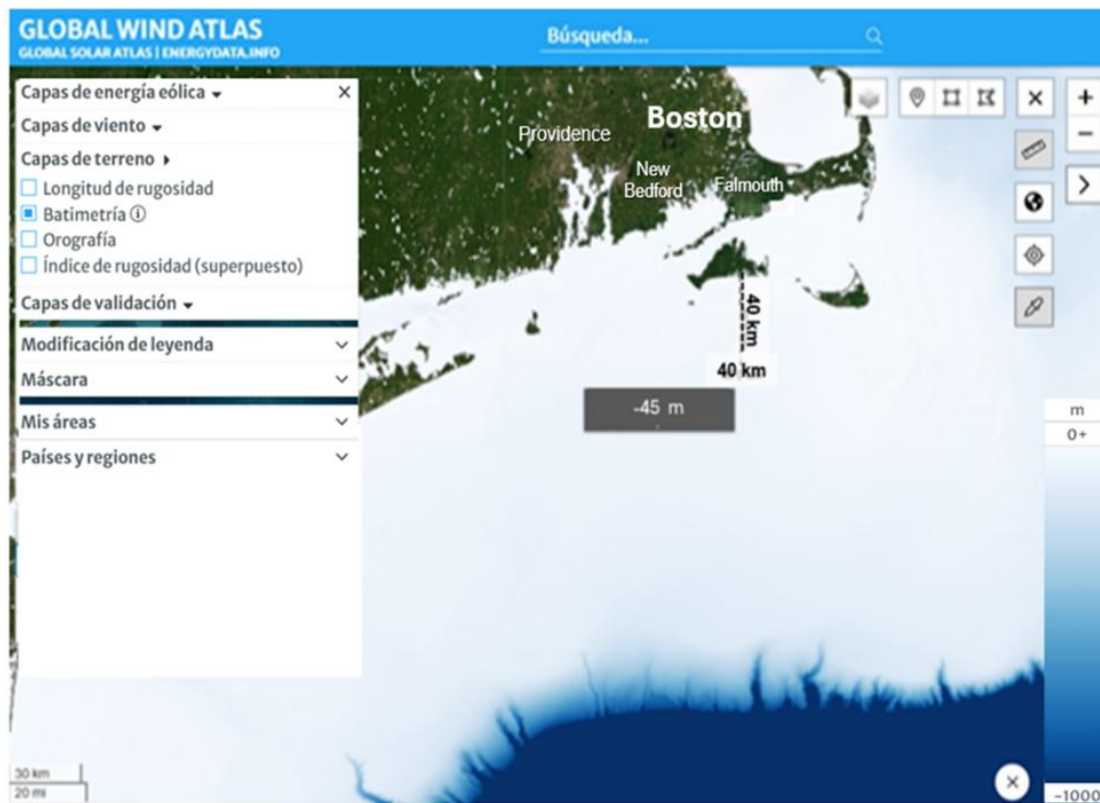
Fuente: Global Wind Atlas (2024).

Figura 5. Densidad media de potencia en el Parque Eólico Vineyard Wind I de Estados Unidos.



Fuente: Global Wind Atlas (2024).

Figura 6. Batimetría y distancia de la costa del Parque Eólico Vineyard Wind I de Estados Unidos.



Fuente: Global Wind Atlas (2024).

Una vez validada la metodología con los cuatro casos de estudio internacionales (*Vineyard Wind I*, *Hornsea 2*, *Wikinger* y *Anholt*), se replicaron los mismos criterios en las regiones costeras mexicanas. A partir del reporte del recurso eólico disponible para México extraído del GWA, se identificaron las costas con mayor velocidad media del viento, destacando el Istmo de Tehuantepec, las costas de Veracruz y Yucatán como las zonas más prometedoras para instalar tecnología offshore. Estas tres zonas se compararon, en términos de categoría de recurso, con cada uno de los proyectos internacionales seleccionados, y posteriormente se simuló su comportamiento en México mediante un análisis técnico-económico. En SAM, los datos climáticos y geográficos extraídos de GWA se incorporaron a una plantilla de proyecto donde se ejecutaron simulaciones para estimar la producción anual, el factor de planta y los costos de inversión, operación y mantenimiento. El modelo generó además las curvas de generación horaria, mensual y anual, así como las métricas financieras: Costo Nivelado de Energía (LCOE) y costo neto de capital, así como un análisis de sensibilidad ante variaciones en el recurso eólico. Estos resultados permitieron comparar la viabilidad técnico-económica de cada sitio mexicano con los promedios de los casos internacionales de referencia.

Para cuantificar la eficiencia operativa se calculó el factor de planta mediante la fórmula:

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{Energía neta anual (kWh)}}{\text{Capacidad del sistema (kW} \times 8760 \text{ horas)}}$$

Por su parte, el LCOE resume el costo total de ciclo de vida del proyecto (inversión, operación y mantenimiento) expresado en unidades monetarias por kWh generado, el cual se calculó durante la vida útil del proyecto, según la metodología de NREL (2022). Este indicador resultó clave para comparar alternativas y para la toma de decisiones de inversión en parques eólicos marinos (IRENA, 2023).

Como parte de la metodología, se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos científicas de literatura especializada en energía eólica marina y geoestadística, que validó los parámetros de simulación y facilitó el contraste de los hallazgos con las mejores prácticas internacionales. Entre las limitaciones principales se identificaron la ausencia de mediciones in situ, lo que impuso la dependencia total de los datos de GWA; y la falta de datos meteorológicos históricos detallados para las zonas marinas mexicanas. Asimismo, no se modelaron efectos detallados de interacción oleaje-estructura, aspecto complejo que deberá abordarse en estudios futuros mediante simulaciones CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

RESULTADOS

Los resultados del análisis de los cuatro parques eólicos internacionales, presentados en la *tabla 1*, permitieron establecer rangos de referencia para comparar las ubicaciones mexicanas.

Tabla 1. Resultados de los proyectos exitosos.

Parque eólico	País	Velocidad media del viento (m/s)	Densidad media de potencia (W/m ²)	Batimetría (m)	Distancia de la costa (km)
Vineyard Wind	Estados Unidos	9.43	1134	-40	24.14
Hornsea	Reino Unido	10.01	1307	-30	89
Wikinger	Alemania	9.35	1105	-40	35
Anholt	Dinamarca	9.29	1064	-15	20

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de GWA.

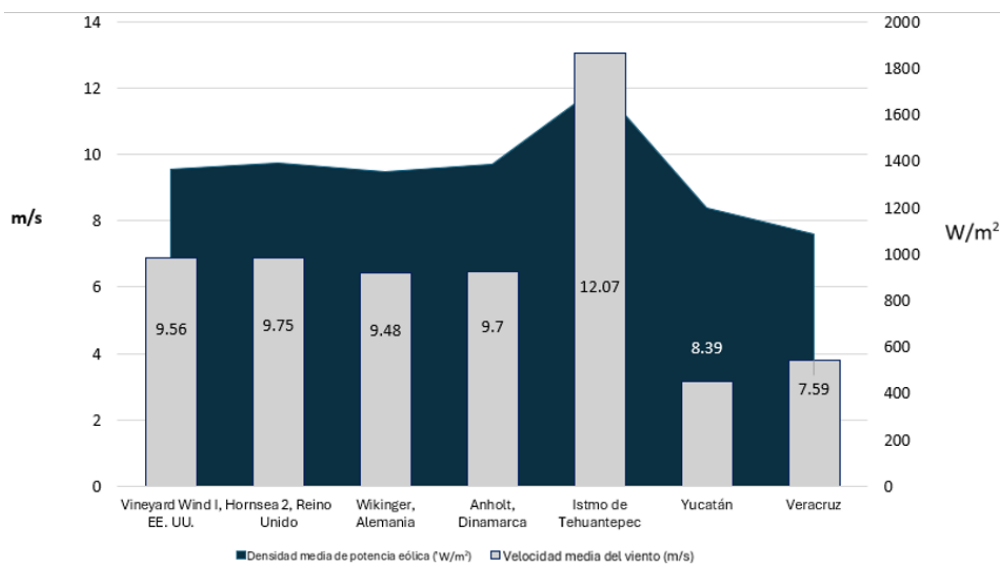
El análisis geoestadístico realizado en el Global Wind Atlas (*tabla 2*) reveló que el Istmo de Tehuantepec fue la región mexicana con mayor potencial eólico marino: la velocidad media del viento alcanzó 12.07 m/s, mientras que en Vineyard Wind se registraron 9.56 m/s; en Hornsea 9.75 m/s; en Wikinger, 9.48 m/s; y en Anholt 9.70 m/s. De modo análogo, la densidad media de potencia en el Istmo fue de 1863 W/m² frente a valores inferiores a los 1400 W/m² registrados en los casos internacionales (*figura 7*). La batimetría uniforme cercana a -50 m y la distancia a costa de 14.60 km confirmaron las condiciones óptimas para cimentaciones fijas, coherentes con la hipótesis de que México podría superar 15 GW de capacidad offshore instalada.

Tabla 2. Potencial eólico de tres regiones de México.

Región	Velocidad media del viento (m/s)	Densidad media de potencia (W/m ²)	Batimetría (m)	Distancia de la costa (km)
Istmo de Tehuantepec	12.07	1863	-50	14.60
Costas de Yucatán	7.56	648	-15	14.80
Costas de Veracruz	7.38	456	-20	18.50

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de GWA.

Figura 7. Comparación entre los casos de éxito de proyectos eólicos internacionales y México.



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de GWA.

En contraste, las costas de Yucatán presentaron una velocidad media de 8.39 m/s y una densidad de potencia de 451 W/m², con batimetría de solo 15 m de profundidad (*tabla 2*). Estos valores indicaron un potencial moderado, adecuado para proyectos de menor escala o pilotos, pero no competitivo frente al Istmo o a los grandes parques internacionales. Por su parte, las costas de Veracruz arrojaron una velocidad media de 7.59 m/s y una densidad de potencia de relativamente alta (541 W/m²), con batimetría de 50 m a solo 7.2 km de la costa. En conjunto, estos parámetros en Veracruz resultaron inferiores a los del Istmo, lo que refuerza la prioridad de este último para futuras inversiones.

La modelación técnico-económica en SAM para un parque tipo de 864 MW (62 turbinas) confirmó dichas diferencias cuantitativas. En el Istmo de Tehuantepec la producción anual estimada fue de 3638.80 GWh con un factor de planta de 48.1% y un LCOE de ¢ USD 8.56/kWh. En Yucatán, la simulación arrojó 3016.27 GWh, un factor de planta de 39.9% y un LCOE de ¢ USD 10.33/kWh; mientras que en Veracruz la producción anual fue de 2615.69 GWh, con factor de planta de 34.6% y un LCOE de ¢ USD 11.91/kWh (*tabla 3*).

La relación entre velocidad media del viento y densidad de potencia se reflejó directamente en los factores de planta y en los LCOE: velocidades superiores a 9 m/s generaron factores de planta cercanos a 50%, mientras que valores por debajo de 8 m/s redujeron significativamente la rentabilidad del proyecto.

Al comparar el modelo simulado para el Istmo de Tehuantepec con los valores promedio de los cuatro proyectos internacionales de referencia, se observó que la velocidad media del viento en el Istmo (12.07 m/s) superó el promedio internacional (10.27 m/s) y su densidad media de potencia (1863 W/m²) excedió el promedio internacional (1217.25 W/m²) e incluso duplica el promedio de parques terrestres (24-35%). Además, la distancia a costa de 14.60 km representó una ventaja logística frente a desarrollos como Hornsea 2 (89 km) o Wikinger (34 km), reduciendo costos de instalación, mantenimiento y transmisión. El LCOE de 8.56 ¢ USD/kWh en el Istmo se mantuvo dentro del rango competitivo internacional (7.5–13 ¢ USD/kWh) (IRENA, 2023) lo que reforzó la viabilidad económica de ese emplazamiento.

Los beneficios potenciales de las instalaciones eólicas marinas en México se agruparon en aspectos tecnológicos, ecológicos y económicos (*tabla 4*).

Tabla 3. Resumen de resultados de los modelos técnico-económicos de México.

Ubicación	Energía anual (GWh)	Factor de capacidad (%)	LCOE (\$ MXN / kWh)
Istmo de Tehuantepec	3638.80	48.1	1.60
Costas de Yucatán	3016.27	39.9	1.98
Veracruz	2615.69	34.6	2.29

Fuente: Elaboración propia de resultados de SAM.

Tabla 4. Beneficios potenciales de la energía eólica marina en México

Beneficios económicos	Beneficios ecológicos	Beneficios tecnológicos
Generación de empleo (aprox. 15 puestos por MW instalado)	Reducción de emisiones de CO ₂	Desarrollo de capacidades técnicas locales
Reducción de costos energéticos a largo plazo	Disminución de dependencia de combustibles fósiles	Transferencia tecnológica
Desarrollo de cadenas de suministro locales	Menor impacto en ecosistemas terrestres	Innovación en tecnologías marinas
Ingresos por arrendamiento de zonas marítimas	Posible creación de santuarios marinos artificiales	Mejora en sistemas de conexión a red
Impulso al desarrollo regional	Mitigación del cambio climático	Adaptación de tecnologías a condiciones locales

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados confirman que México posee regiones con alto potencial para el desarrollo de proyectos eólicos marinos, destacando de manera especial el Istmo de Tehuantepec. En esta región, la velocidad media del viento supera los 12 m/s y la densidad media de potencia alcanza los 1,863 W/m², valores notablemente superiores a los observados en parques internacionales consolidados como Hornsea (10.01 m/s) o Vineyard Wind I (9.43 m/s) (Olivares, 2021). La batimetría uniforme cercana a -50 m y la distancia moderada a la costa (14.60 km) ofrecen condiciones excepcionales para cimentaciones fijas de aerogeneradores.

El modelo simulado para el Istmo mostró, además, una producción anual estimada de 3638.80 GWh y un factor de planta de 48.1%, cifras que exceden con holgura las observadas en Yucatán (39.9%) y Veracruz (34.6%). Estos factores de planta superan el umbral del 40% que diferentes estudios han identificado como indicativo de proyectos altamente rentables en entornos marinos (Li *et al.*, 2020; Pryor *et al.*, 2021).

Un aspecto clave es el Costo Nivelado de Energía (LCOE) de 8.56¢ USD/kWh para el Istmo de Tehuantepec, sensiblemente menor que los valores estimados para Yucatán (10.33¢ USD/kWh) y Veracruz (11.91¢ USD/kWh). Este LCOE se sitúa dentro del rango competitivo a nivel global para parques eólicos marinos (7.5–13 ¢ USD/kWh) (IRENA, 2023), lo que refuerza la viabilidad económica de la región como sitio de escala comercial.

Desde una perspectiva de política energética y transición justa, estos hallazgos respaldan la necesidad de enfocar los primeros desarrollos offshore en el Istmo, complementados por proyectos piloto en Yucatán y Veracruz para acumular experiencia técnica y social. La capacidad de generar empleo especializado y dinamizar economías locales se maximiza si se priorizan las zonas de mayor recurso, tal como sugieren los resultados técnico-económicos. Asimismo, el bajo LCOE obtenido en

el Istmo de Tehuantepec refuerza la viabilidad de la energía eólica marina como palanca para reducir costos de generación y emisiones de gases de efecto invernadero en el mix eléctrico nacional.

Yucatán y Veracruz, pese a registrar recursos menores, pueden servir como sitios piloto debido a sus factores de planta (39.9% y 34.6%) y LCOE (10.33¢ USD/kWh y 11.91¢ USD/kWh) aún viables para proyectos de escala reducida. Estos emplazamientos facilitan la acumulación de experiencia operativa y social antes de avanzar a desarrollos de mayor envergadura (Consejo Global de Energía Eólica, 2024).

No obstante, la implementación de parques eólicos marinos en México enfrenta retos regulatorios y de infraestructura de transmisión (Urbano-Juárez, 2023). La ausencia de un marco normativo específico para proyectos offshore y la falta de interconexión marítima obligan a diseñar nuevas políticas y actualizar la red eléctrica para garantizar la evacuación eficiente de la energía. Además, resulta imperativo establecer mecanismos de consulta comunitaria que permitan mitigar oposiciones sociales y asegurar la aceptación local.

Entre las principales limitaciones de este estudio se encuentran la dependencia exclusiva de datos satelitales (GWA) sin mediciones in situ, y la falta de bases de datos detalladas sobre costos de operación y mantenimiento propios de la tecnología offshore en México. Por ello, se recomienda que trabajos futuros:

- Realicen estudios de impacto ambiental¹ más detallados, especialmente en la interacción oleaje-estructura utilizando simulaciones de dinámica de fluidos computacional;
- Analicen a fondo la factibilidad de modernizar la red eléctrica nacional para integrar la energía generada por parques marinos;
- Explore la aceptación y participación comunitaria en zonas costeras, documentando experiencias de consulta y planeación conjunta.

CONCLUSIONES

Se concluye que México cuenta con regiones de alto potencial para el desarrollo de parques eólicos marinos, siendo el Istmo de Tehuantepec la más prometedora para las cimentaciones fijas gracias a sus condiciones geográficas y climatológicas, comparables o superiores a las de proyectos internacionales consolidados. Su recurso eólico, que supera 12 m/s en velocidad media y 1863 W/m² en densidad de potencia, junto con batimetría uniforme en -50 m y una distancia a costa de 14.60 km, podría permitir la instalación de más de 15 GW de capacidad offshore con niveles de rentabilidad adecuados. Este potencial ofrece una oportunidad para diversificar la matriz energética nacional, reducir la dependencia de combustibles fósiles y acelerar la transición hacia fuentes renovables, al tiempo que fomenta la creación de empleo especializado, el desarrollo de cadenas de suministro locales y la transferencia de tecnología.

Sin embargo, se observa que la planificación de proyectos offshore en México ha carecido de mapeos integrados que combinen batimetría, estudios anemométricos sobre recurso eólico, proximidad a costa y criterios de cimentación, lo que ha limitado la materialización de iniciativas a pesar del potencial teórico de alrededor de 3000 GW en la plataforma continental. Además, la adopción de tecnologías para aguas profundas y anclajes marinos sigue siendo marginal, por lo que es necesario impulsar la transferencia de tecnología, promover la inversión en equipos de cimentación fija y ejecutar proyectos piloto que validen los beneficios ambientales (ecológicos, económicos y sociales)

¹ Entendido el ambiente como “un complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad” (Puerta, 2022, p.5).

de la energía eólica marina. A la vez, se requiere un marco regulatorio específico que facilite la inversión, garantice la sostenibilidad y promueva la participación de las comunidades costeras.

Este estudio presenta dos limitaciones principales: las simulaciones, basadas en datos de alta resolución de recursos eólicos, pueden diferir de las condiciones operativas reales en mar abierto, y no se abordaron de forma detallada los factores sociales, cuya consideración resulta esencial para la viabilidad de los proyectos energéticos. Por ello, se recomienda que investigaciones futuras profundicen en la evaluación del impacto ambiental, incluida la interacción oleaje-estructura, exploren la modernización de la red eléctrica para integrar la generación offshore y analicen mecanismos de aceptación y participación comunitaria en las regiones costeras seleccionadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de Energías Renovables. (2023). *Renewable Power Generation Costs in 2023*. <https://shre.ink/Sf5g>

Agencia Internacional de Energías Renovables. (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. <https://acortar.link/mnRHDp>

Agencia Internacional de la Energía. (2023). *World Energy Outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>

Arredondo-Gómez, M., García-Nava, H., Rodríguez-Hernández, O. y Lámbert-Arista, A. (2022). *Estimación del recurso eólico marino en la península de Baja California, México, utilizando la base de datos ERA 5* [Resumen de presentación]. En XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (pp. 543-555). <https://shre.ink/SfAh>

Asociación Mexicana de Energía Eólica. (2023). *Reporte de energía eólica en México 2022*. <https://acortar.link/luFfIU>

Comisión Electrotécnica Internacional. (2019). *IEC 61400-1: 2019- Wind turbines – Part 1: Design requirements* (Standard No. IEC 61400-1 Ed. 4.0). <https://shre.ink/SfAl>

Consejo Global de Energía Eólica. (2024). *Global Offshore Wind Report 2024*. <https://shre.ink/SfLP>

Global Wind Atlas. (2024). *Conjunto de datos* [Data set]. <https://globalwindatlas.info>

Laboratorio Nacional de Energías Renovables. (2022). *System Advisor Model. User Guide (Version 2022)*. <https://sam.nrel.gov>

Laboratorio Nacional de Energías Renovables. (2023). *System Advisor Model Version 2023* [Software]. <https://sam.nrel.gov/download/version-2023-12-17-1.html>

Li, J., Wang, G., Li, Z., Yang, S., Chong, W. T. y Xiang, X. (2020). A review on development of offshore wind energy conversion system. *International Journal of Energy Research*, 44(12), 9283–9297. <https://doi.org/10.1002/er.5751>

- Meza-Carreto, J., Romero-Centeno, R., Figueroa-Espinoza, B., Moreles, E., & López-Villalobos, C. (2024). Outlook for Offshore Wind Energy Development in Mexico from WRF Simulations and CMIP6 Projections. *Energies*, 17(8), 1866. <https://doi.org/10.3390/en17081866>
- Olivares, G. M. (2021). Incentivos regulatorios para el desarrollo de la energía eólica marina en Chile. *Revista Derecho Administrativo Económico*, 33, 227-253. <https://doi.org/10.7764/redae.33.8>
- Pryor, S. C., Barthelmie, R. J. y Shepherd, T.J. (2021). Wind power production from very large offshore wind farms, *Joule*, 5(10), 2663–2686. <https://acortar.link/YQeTJf>
- Puerta de Armas, Y. G. (2022). Editorial. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 5, e294. <https://doi.org/10.46380/rias.vol5.e294>
- Secretaría de Energía. (2023). *Parques eólicos en México. Capacidad instalada*. Gobierno de México. <https://acortar.link/WBxYC4>
- Urbano-Juárez, N. (2023). Transición energética en México, retos y desafíos. *Revista Lex*, 6(22), 308-326. <https://doi.org/10.33996/revistalex.v6i22.163>
- Vázquez-Pérez, J. T. (2021). *Iniciativa de reforma a la Ley de la Industria Eléctrica: Retroceso en materia energética*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria. <https://acortar.link/cpJ2LN>



FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA

Impacto de los colectores solares cilindro-parabólicos en la industria azucarera del Guairá en la reducción del consumo de biomasa no sostenible.

Impact of parabolic trough solar collectors in the Guairá sugar industry in reducing unsustainable biomass consumption.

Impacto dos coletores solares de calha parabólica na indústria açucareira do Guairá na redução do consumo insustentável de biomassa.

José María Gómez

Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

jmgomez@pol.una.py

Eduardo Márquez Canosa

Universidad Centro Panamericano de Estudios

Superiores, México

eduardo.marquez@unicepes.edu.mx

Artículo científico

Enviado: 16/10/2024

Aprobado: 21/1/2025

Publicado: 26/1/2025

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de la instalación de la tecnología de colectores solares cilindro-parabólicos en la industria azucarera del Departamento del Guairá, principal región de producción de azúcar de caña del Paraguay, en la reducción del consumo de leña proveniente de bosques nativos. Mediante el procesamiento de datos climatológicos de la ciudad de Tebicuary, obtenidos de la herramienta Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), se ha dimensionado un campo solar a ser insertado en un proceso de hibridación al sistema de cogeneración de una planta azucarera. Con esto se pudo establecer un modelo híbrido, cuya respuesta a la irradiación solar fue simulada con el software Transient System Simulation Tool (TRNSYS). El recurso solar del lugar es suficiente para obtener vapor saturado a ser sobrecalentado a alta presión. La implementación de la tecnología solar mediante este modelo permitiría salvar anualmente una superficie de bosques nativos de entre 42,252.58 ha a 79,223.59 ha para consumos medios y máximos de energía auxiliar respectivamente. Los resultados obtenidos constituyen una referencia en términos del aprovechamiento del recurso solar con un potencial impacto positivo en el ambiente, estudios similares pueden realizarse en otras industrias y zonas del país.

Palabras clave: bosques nativos, deforestación, energía solar, Paraguay

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the impact of the installation of parabolic trough solar collector technology in the sugar industry of the Department of Guairá, the main sugarcane production region of Paraguay, in reducing the consumption of firewood from native forests. By processing climatological data from the city of Tebicuary, obtained from the Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) tool, a solar field has been sized to be inserted in a hybridization process to the cogeneration system of a sugar plant. With this, a hybrid model was established, whose response to solar irradiation was simulated with the Transient System Simulation Tool (TRNSYS) software. The site's solar resource is sufficient to obtain saturated steam to be superheated at high pressure. The implementation of solar technology through this model would

allow annually saving an area of native forests of between 42,252.58 ha to 79,223.59 ha for average and maximum consumption of auxiliary energy respectively. The results obtained constitute a reference in terms of the use of solar resources with a potential positive impact on the environment, similar studies can be carried out in other industries and areas of the country.

Keywords: deforestation, native forests, Paraguay, solar energy

RESUMO

O objetivo desta investigação foi avaliar o impacto da instalação da tecnologia de coletores solares de calha parabólica na indústria açucareira do Departamento de Guairá, a principal região produtora de cana-de-açúcar do Paraguai, na redução do consumo de lenha das florestas nativas. Através do processamento de dados climatológicos da cidade de Tebicuary, obtidos a partir da ferramenta Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), dimensionou-se um campo solar para ser inserido num processo de hibridização ao sistema de cogeração de uma fábrica de açúcar. Com isto, estabeleceu-se um modelo híbrido, cuja resposta à irradiação solar foi simulada com o software Transient System Simulation Tool (TRNSYS). O recurso solar do local é suficiente para obter vapor saturado para ser sobreaquecido a alta pressão. A implementação da tecnologia solar através deste modelo permitiria poupar anualmente uma área de florestas nativas entre 42.252,58 ha e 79.223,59 ha para consumo médio e máximo de energia auxiliar respectivamente. Os resultados obtidos constituem uma referência em termos de utilização de recursos solares com potencial impacto positivo no ambiente, estudos semelhantes podem ser realizados noutras indústrias e zonas do país.

Palavras-chave: desmatamento, energia solar, florestas nativas, Paraguay

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el sector industrial emite el 22% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidos por diferentes procesos químicos, procesamiento de calor para obtener temperaturas entre 50 °C a 1600 °C y electricidad. Se plantea actualmente una transformación basada en la electrificación de la demanda de calor bajo para la industria (Fazekas *et al.*, 2022). Según el Viceministerio de Minas y Energía (2019a), en Paraguay se espera que la demanda de electricidad aumente más del 100% para el año 2050, alcanzando 4,587.1 ktep en comparación con lo proyectado para 2025. También se estima un crecimiento promedio anual del 2.3% en la demanda de todas las fuentes de energía. El consumo de biomasa para fines energéticos representa más de dos veces el consumo de energía en forma de electricidad en 2021, de acuerdo con la estructura de la matriz energética presentada en el balance energético nacional (Viceministerio de Minas y Energía, 2022).

Según Rodríguez (2022) la deforestación en Paraguay ha ido creciendo principalmente debido de actividades agrícolas (región oriental) y ganaderas (región occidental), a tal punto que en el periodo 1990 a 2020 ha significado una disminución en la producción de oxígeno equivalente al demandado por unas 2,653,205 personas y una reducción en la captación de dióxido de carbono equivalente de 7,959,614.74 t. En otro estudio Mohebalian *et al.* (2022) estiman que la deforestación ha alcanzado un 18% de pérdidas de cobertura boscosa en el periodo 2000 al 2020 en la zona del Alto Paraná (región oriental) parte de la ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná compartida entre Argentina, Brasil y Paraguay. De manera similar Muller *et al.* (2020), utilizando algoritmos de aprendizaje automático en el estudio de imágenes satelitales en el periodo 1986 al 2018, han concluido que los bosques de la región noroeste (región occidental) podrían desaparecer en 2035. Entre las consecuencias de la deforestación se tienen: la pérdida de biodiversidad, la erosión del suelo, el cambio climático, la interrupción del ciclo del agua y conflictos entre la vida salvaje y la humana, refugiados ambientales (personas que deben abandonar sus hogares ancestrales) y el brote de

nuevas enfermedades (Bodo *et al.*, 2021). Estas referencias dan cuenta del impacto negativo de la deforestación en diversas áreas, que pueden afectar al ser humano en diferentes escalas de tiempo.

La oferta de producción sostenible de leña es de 5.034.132 m³/año, mientras que el consumo efectivo de biomasa forestal con fines energéticos es de 13.957.661 m³/año, generando un déficit del 63,9%. Se ha establecido, mediante consultas a responsables de los sectores industriales competentes, que el 78,9% de la leña consumida proviene de especies de bosques nativos. El total de biomasa consumida de los bosques nativos, con fines energéticos, equivale a unas 82,000 ha/año, existe un déficit entre el consumo de biomasa y la oferta de producción sostenible (Viceministerio de Minas y Energía, 2019b). La problemática energética de Paraguay fue analizada en el informe del *Columbia Center on Sustainable Investment* (CCSI, 2021) enfocado en diversos sectores, destacándose el elevado consumo de biomasa no sostenible, un porcentaje elevado de emisiones de GEI, principalmente en el sector industrial y del transporte. En el ámbito industrial, el sector azucarero demanda el 49% de la energía total neta y cuentan con calderas de bagazo de caña de azúcar como principal fuente de ineficiencia.

Considerando el elevado uso de energía en sectores industriales, principalmente la proveniente de la biomasa no renovable, se propone en este trabajo la utilización del recurso solar inagotable disponible en el país, como una alternativa para la optimización del uso de las fuentes renovables, para afrontar parte de los desafíos nacionales con relación a la reducción de los GEI, la deforestación y la creciente demanda de energía. La tecnología planteada es la de colectores solares cilindro-parabólicos, para la generación de vapor y energía eléctrica, a ser utilizada en el proceso de producción de azúcar de caña y etanol para la reducción del uso de leña. Específicamente, se plantea sustituir la leña utilizada en las azucareras como energía auxiliar, de entre 1 nm³ a 15 nm³/tonelada de caña (Agüero *et al.*, 2013), por la energía obtenida mediante colectores solares de concentración del tipo cilindro-parabólicos PTC del inglés *Parabolic Trough Collector*.

Los colectores PTC están constituidos por espejos parabólicos que reflejan la radiación solar directa concentrándola a lo largo de la línea focal, donde un tubo absorbente del metal recubierto absorbe la radiación y transfiere la energía hacia el interior por el espesor del tubo por conducción y de allí al caudal de fluido térmico por convección. El tubo absorbente está sellado al vacío con un tubo concéntrico de vidrio que reduce las pérdidas por convección y lo protege de la oxidación (Osorio y Rivera-Álvarez, 2022). Los colectores deben ser acoplados a un sistema de seguimiento para acompañar la trayectoria solar (Fredriksson *et al.*, 2021). La demanda de energía térmica en industrias que operan a temperaturas medias y altas para la generación de vapor y calentamiento de agua (100° C a 300° C) tienen en la tecnología PTC a una de la más apropiadas, con un impacto significativo en el sector económico, ambiental y social (Ktistis *et al.*, 2021).

Se necesita averiguar si mediante la implementación de la tecnología PTC en la industria azucarera en un proceso de hibridación entre la tecnología solar y la cogeneración, se podrían obtener indicadores de una factibilidad técnica (energética) y eventualmente lograr la sustitución de la leña no renovable proveniente de bosques nativos, utilizada como fuente de energía auxiliar. En este trabajo se pretende evaluar el impacto de la instalación de una planta solar de colectores cilindro-parabólicos en la industria azucarera del Guairá en la reducción del consumo de la biomasa no sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de sistemas complejos en varias áreas de la ciencia e ingeniería ha revelado la necesidad de complementar los experimentos tradicionales con estudios teóricos basados en simulaciones computacionales (Er, 2016). Las simulaciones fueron realizadas con el software de simulación de

sistemas térmicos TRNSYS 18 (TRNSYS,2019). Este software es utilizado en el modelado y simulación de sistemas solares (Beckman *et al.*,1994), ha sido objeto de constantes mejoras desde su creación en 1970, que abarcaron el núcleo, la biblioteca estándar, el modelado de edificios y las experiencias del usuario en su versión 18 (McDowell *et al.*, 2017). Si bien existen otros softwares que permiten la simulación de sistemas híbridos, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas, se ha seleccionado TRNSYS porque ha sido ampliamente utilizado y presenta mucha precisión en simulaciones de sistemas térmicos (Zebra *et al.*, 2021), es de una utilización muy intuitiva, posibilitado por una interfaz gráfica y una biblioteca de componentes de fácil acceso. Se planteó un modelo de hibridación con base al trabajo de Burin *et al.* (2016) en el que se diseñaron la integración de la tecnología de concentradores solares en una planta de potencia de cogeneración en Campo Grande, en el estado brasileño de Mato Grosso do Sul.

Configuración de planta azucarera de referencia y obtención de datos climatológicos

La ubicación de la planta azucarera se definió en función del peso del departamento del Guairá en la producción azucarera a nivel nacional, que entre enero y octubre del 2019, el 62% de las exportaciones de azúcar (31,124 t) correspondió a una empresa de este departamento. Las coordenadas de la planta industrial fijada en el distrito de Tebicuary del departamento del Guairá (Distante unos 125 Km de la capital del país, Asunción) son Latitud -25.77° y Longitud -56.65° y fueron tomadas a modo referencial, sin que los datos y esquemas de la simulación se correspondan con plantas industriales de la zona. La elevación del lugar es de 118 msnm. Los datos climáticos y de radiación solar fueron obtenidos mediante la aplicación web *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) de la Unión Europea *Science Hub* (2023) en el formato *Typical Meteorological Year* (TMY) correspondiente al periodo 2005-2020. Se ha seleccionado esta herramienta porque permite la obtención de datos en archivos EPW (*Energy Plus Weather*) compatible con el software de simulación. Además, permite disponer de datos de radiación solar de grandes áreas cubiertas por satélites y una base de datos de más de 30 años (Science Hub, 2023), el área de cobertura incluye a Paraguay.

Seguidamente se especificaron las coordenadas del distrito de Tebicuary y se seleccionaron los parámetros a ser utilizados en la simulación, como la temperatura del aire a 2m, la velocidad del viento a 10m y la irradiancia solar directa DNI; del inglés *Direct Normal Irradiance*. Para obtener la distribución del DNI y de la temperatura promedio diario mensual se promediaron los valores horarios para DNI superiores a 40 W/m².

Se consideraron una molienda diaria de 11,656 t/día, generadores de vapor con una capacidad de 241 t/h que producen vapor sobrecalentado a 392.5°C y 50 bar de presión alimentados por la caldera con combustible de bagazo de caña proveniente de la estación de molienda con una capacidad de 116.5 t/h. La mayor parte de este vapor es expandido en la turbina de alta presión, del tipo a contrapresión BPST, del inglés *Back Pressure Steam Turbine*, con una salida a 2.5 bar para la demanda de vapor del proceso industrial para la obtención de azúcar bruta, que incluye el funcionamiento de equipos mecánicos como rodillos, trituradores y bombas. Mediante dos o más extracciones de vapor de la turbina de baja presión del tipo condensación-extracción CEST, del inglés *Condensation Extraction Steam Turbine*, es posible precalentar el agua de alimentación hasta 200°C (Burin *et al.*, 2016), además de suministrar vapor para la unidad de producción de etanol (Carvalho *et al.*, 2020). Los parámetros de la producción de caña fueron estimados calculando valores intermedios de los rangos paramétricos de cogeneración de molinos modernos y valores de referencia tomados del trabajo de Birru *et al.* (2019).

Dimensionamiento del campo solar para el proceso de hibridación

El cálculo del tamaño del campo solar A_{CS} se realizó con base al procedimiento seguido por Quiñones *et al.* (2020). Primeramente, se calculó la demanda térmica para la obtención de vapor saturado, lo que se obtuvo considerando un funcionamiento del campo solar a máxima potencia (34 MW) durante 5000 h. En segundo lugar, se definió la fracción solar en 1, por lo que se espera que toda la demanda térmica sea cubierta con energía del campo solar.

En tercer lugar, fue necesario calcular el rendimiento térmico de los colectores, calculada por la ecuación planteada por Möllenkamp *et al.* (2017) y Rubini y Habib (2011) como se citó en Bolognese *et al.* (2020). Esto último requirió la obtención previa del promedio anual de la temperatura ambiente, que fue calculada promediando el promedio diario mensual de temperatura a 2m de los datos obtenidos de PVGIS. También fue necesario obtener la eficiencia óptica y los coeficientes de pérdidas térmicas del colector seleccionado, el modelo Helio Trough de la compañía alemana TSK Flagsol (Janotte *et al.*, 2014), por ser un diseño de mención frecuente en la bibliografía especializada y cuya hoja técnica ofrece los datos mencionados. Se utilizaron, además, las temperaturas de entrada y salida del fluido térmico de 277°C y 525°C respectivamente. Partiendo de los registros horarios de irradiancia, se calculó la irradiancia horaria promedio mensual (W/m^2) para cada mes, cuyo promedio anual fue utilizado para finalizar el cálculo de la eficiencia térmica de los colectores.

Luego, en cuarto lugar, se requirió el cálculo de la irradiación promedio diario mensual (kWh/m^2), obtenida multiplicando las irradiancias promedios diarios mensuales por las horas de irradiación mensual, divididos por la cantidad de días del mes considerado. Esto último fue promediado anualmente y multiplicado por 365 permitió obtener la irradiación promedio anual (MWh/m^2).

Seguidamente, para el cálculo de la distribución de colectores en el campo solar se utilizó el procedimiento descrito en el trabajo de Yuanjing *et al.* (2020) que incluyó el cálculo del número de colectores por fila, el número total de filas del campo solar, para lo cual fue necesario calcular la potencia de salida del campo solar, lo que fue realizado con base al procedimiento descrito en el trabajo de Holler *et al.* (2021).

Proceso de simulaciones

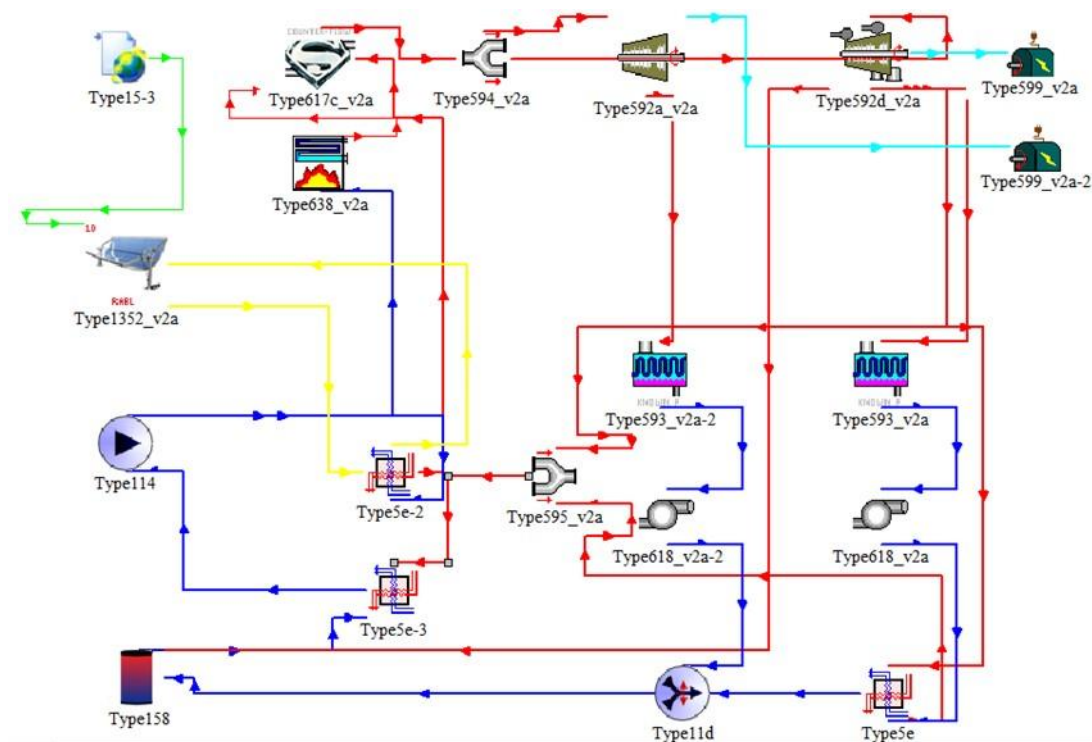
La simulación fue realizada con el software TRNSYS 18 (*Transient System Simulation Tool* [TRNSYS], 2019) que tiene como entrada los datos climatológicos obtenidos previamente, las características técnicas de los colectores solares y de los diferentes equipos como turbinas, generadores, intercambiadores de calor, bombas, etc. El software permite seleccionar cada dispositivo de su propia biblioteca, además, mantiene por defecto los parámetros no especificados en las hojas técnicas. Permite la modelación de un sistema en un entorno gráfico, usando componentes de bibliotecas conocidos como *types*, compuestos internamente por una serie de ecuaciones matemáticas donde las entradas y parámetros son convertidos en valores de salidas. Las bibliotecas de TRNSYS cuentan con componentes que han sido validados por resultados experimentales, como es el caso del componente TRNSYS HPHE (*Heat Pipe Heat Exchanger*) utilizados en industrias de uso intensivo de energía para recuperación de calor residual de baja calidad (Brough *et al.*, 2021).

El esquema principal para la simulación del modelo de hibridación se ilustra en la *figura 1*. Se describe a continuación la función de cada dispositivo y su interacción con los demás componentes del sistema, en donde la identificación por defecto de cada *type* se indica entre paréntesis. El nivel de radiación, la temperatura ambiente y demás datos climatológicos obtenidos de PVGIS están dados por el Type15-3. El campo solar (Type1352_v2a) transfiere energía térmica generada al agua de alta presión proveniente del depósito (Type 158) en el intercambiador de calor (Type5e-2) para la

obtención de vapor saturado. Este vapor es enviado al sobrecalentador (Type617c_v2a) para la generación de vapor sobrecalentado en paralelo con el vapor generado en la caldera (Type638_v2a) por la combustión del bagazo.

Lo descrito hasta aquí constituye la parte esencial de la propuesta realizada, seguidamente se describirán componentes típicos de una planta de cogeneración en una azucarera que permiten terminar la configuración del modelo. El vapor generado en la caldera pasa al sobrecalentador (Type617c_v2a) que lo calentará en caso de no alcanzar los 525°C y se mantendrá apagado en caso contrario, de allí pasa a la válvula de desvío (Type 594_v2a) que permite dividir el flujo de vapor entre la turbina de alta presión (Type592a_v2a) y la turbina de baja presión (Type592d_v2a) en un porcentaje del 67% y 33% respectivamente.

Figura 1. Esquema de la hibridación para la simulación con TRNSYS.



Fuente: Elaboración propia.

Las turbinas de vapor están acopladas a generadores eléctricos (Type599_v2a y Type599_v2a-2) donde la energía generada será utilizada en los requerimientos de la fábrica y cuyo excedente podrá ser vendido al sistema público. El escape de vapor de la turbina de alta presión BPST (Type 592a_v2a) es utilizada para el suministro de calor necesario en el proceso industrial representado por el condensador (Type593_v2a-2). La bomba de vapor condensado (Type618_v2a-2) permite enviar agua presurizada al mezclador de flujo controlado (Type 11d), que lo unifica con el flujo proveniente del intercambiador de calor (Type 5e), para luego enviar el fluido obtenido al tanque de almacenamiento cilíndrico (Type 158).

La salida del flujo de vapor de la turbina de baja presión CEST (Type 592d_v2a) es enviada a un condensador (Type 593_v2a), cuyo fluido de salida pasa a la bomba de vapor condensado (Type618_v2a) para luego pasar al intercambiador de calor (Type 5e), donde intercambia energía con el vapor extraído del puerto de extracción 2 del CEST. El fluido calentado de esta forma es enviado al mezclador de flujo controlado previamente mencionado. El calentamiento del agua de alimentación

de la caldera se realiza mediante el flujo de vapor obtenido de los puertos de extracción 1 y 2 de la turbina CEST, unificadas mediante la válvula mezcladora de vapor (Type595_v2a). Para ello, el vapor entrega su energía térmica en el intercambiador de calor (Type5e-3) al agua proveniente del depósito (Type158).

Previamente, el flujo de vapor del puerto de extracción 2 del CEST, calienta en el intercambiador de calor (Type 5e) el líquido enviado por la bomba de vapor condensado (Type618_v2a), que luego se une en el mezclador de flujo controlado (Type11d) con el condensado proveniente de la carga térmica de la industria (Type593_v2a-2), enviado por la otra bomba de vapor condensado (Type618_v2a-2), luego, el mezclador de flujo envía un único fluido al depósito cilíndrico para continuar el ciclo. El vapor del puerto de extracción 3 del CEST es enviado directamente como fuente de calor al depósito de agua.

Consumo de biomasa no sostenible

Se ha calculado el consumo de leña no sostenible C_{LNS} y la correspondiente superficie de bosques potencialmente salvados S_{BPS} por la implementación de la hibridación mediante cálculos de proporcionalidad, que constituye un modelo planteado en el presente estudio. Primeramente, el consumo de leña fue calculado considerando una molienda diaria media de $m_d = 11,784 \text{ t}$ de caña, que es un valor promedio para molinos modernos tomados del trabajo de Birru *et al.* (2019), una cantidad de días de producción de $d_p = 208$, calculados asumiendo unas 5000 h continuas de trabajo, un consumo de gas natural que varía entre un consumo medio de $cgn_{medio} = 8 \frac{nm^3}{t}$ y un consumo máximo de $cgn_{máximo} = 15 \frac{nm^3}{t}$ sustituido por la energía de combustión de la leña, el poder calorífico del gas natural de $c_{gn} = 9,204 \frac{kcal}{m^3}$, estos dos parámetros fueron tomados del trabajo de Agüero *et al.* (2013), el poder calorífico de la leña al 45% de humedad $c_{leña} = 2,61 \frac{kWh}{kg}$ de acuerdo a Schneider (2013). Con estos datos el consumo de leña no sostenible en toneladas fue obtenido mediante la relación siguiente:

$$C_{LNS} = m_d * d_p * cgn_{medio} * c_{gn} * 3.97 * \frac{1}{3412} * \frac{1}{c_{leña}} * \frac{1}{1000}, (1)$$

En donde se han tenido en cuenta las relaciones $1 \text{ kcal}=3.97 \text{ BTU}$ y $1 \text{ KWh}=3,412 \text{ BTU}$ calculados con base a los factores de conversión obtenidos de Turns y Pauley (2020) y de Klein y Nellis (2011) respectivamente. Además, el factor $(1/1000)$ obedece a la necesidad de expresar el consumo de leña en toneladas. Para el caso de un consumo máximo de gas natural se sustituye $cgn_{máximo}$ por cgn_{medio} en la ecuación (1).

En segundo término y a partir de la ecuación (1), se calculó la superficie de bosques potencialmente salvados por la eliminación del uso de leña proveniente de bosques nativos, como fuente de energía auxiliar, utilizados en la industria azucarera S_{BPS} en hectáreas. Para ello se tuvo en cuenta la producción de biomasa sostenible a partir de bosques nativos con una media calculada de $B_S = 1 \frac{m^3}{ha}$, para ambas regiones del país, tomado del Informe Diagnóstico Paraguay del Banco Interamericano de Desarrollo (2008), una densidad de la leña $\rho_L = 0.769 \frac{t}{m^3}$ tomado de Viceministerio de Minas y Energía (2019a) y un porcentaje de rollo industrial sostenible convertido en leña $\%_{RIS} = 52$ de acuerdo al Mapa de Plantaciones Forestales (2018) como lo citó el informe del Vice Ministerio de Minas y Energías Viceministerio de Minas y Energía (2019b). La ecuación generada para estos cálculos es la siguiente:

$$S_{BPS} = 0.21 * (1) * \frac{1}{\rho_L} * \frac{100}{\%_{RIS} * B_S}, (2)$$

Se ha considerado que solamente el 21% de la leña utilizada en el ingenio es de origen no sostenible teniendo en cuenta el informe del Viceministerio de Minas y Energía (2019b), en donde se afirma que los volúmenes de leña reportados representan entre el 85 al 90% del consumo real total del país, y que el origen del mismo sería en un 21.1 % provenientes de plantaciones y el restante 78.9% tendría su origen en especies del bosque nativo, según consultas realizadas a responsables de los sectores industriales involucrados. Esta relación aproximadamente se invierte en el caso azucarero según el mismo documento y, por tanto, ha sido utilizado para el cálculo de superficies de bosques nativos potencialmente salvados. La ecuación (2) ha sido utilizada para los casos de consumo medio y máximo de leña como fuentes de energía auxiliar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

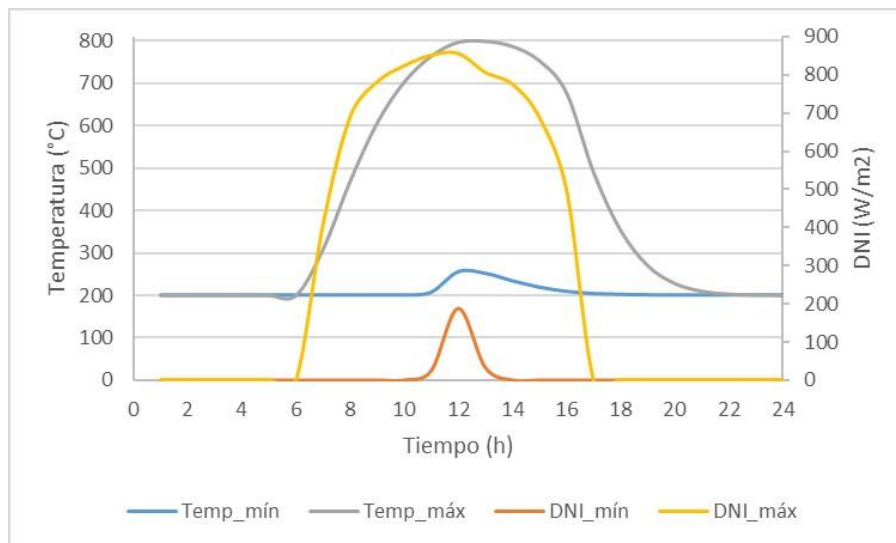
La demanda térmica anual para la generación de vapor saturado fue calculada en 170,000 MWh, la fracción solar fue fijada en 1, lo que indica que el campo solar suministrará la totalidad de la energía requerida para la obtención del vapor saturado, estos son los dos primeros elementos para el cálculo de dimensionamiento. El tercer elemento necesario es el rendimiento de los colectores Helio Trough, que fue calculado considerando la irradiancia promedio diario anual obtenida del 569.55 W/m². La temperatura ambiente promedio anual fue calculado en 22.04 °C. Con estos datos y los coeficientes de rendimiento óptico y térmico se obtuvo la eficiencia térmica del colector solar en $\eta_{coll} = 0.72$. La irradiación promedio diario anual obtenida fue de 4.66 kWh/m², esto para dimensionar el campo solar para un funcionamiento en condiciones de radiación intermedias. Multiplicando el promedio anterior por 365 se obtuvo la irradiación promedio anual igual a 1.70 MWh/m². Con estos valores, la superficie del campo solar fue calculada en $A_{CS} = 138,888.89 \text{ m}^2$.

Seguidamente, se obtuvo el número de colectores ensamblados por fila en 3, el número de filas resultó redondeado en 37, con esto, el número total de colectores ensamblados del campo solar es igual a 111, con 10 colectores cada uno. Luego se consideró un espaciamiento de 2.5 m entre los colectores Helio Trough en cada fila y también unos 22 m de espaciamiento entre filas, con esto se ha calculado una superficie de terreno requerida de 64 ha. Estos resultados implican un uso del terreno de 1.88 ha/MW que se aproxima al límite inferior de los 2 a 4 ha (1 acre ~ 0.40 ha) por MW de capacidad según *Solar Energy Industries Association* (2023).

En las figuras que se presentan a continuación se observan la variación diaria de la temperatura de salida y de la potencia útil absorbida por el fluido térmico, en función de la hora solar, para el modelo planteado correspondiente al mes de junio, mes de menor irradiación solar. En cada gráfica se ha tomado un día del mes con el mayor valor pico y otro con el menor registro que no sea nulo (correspondiente a un cielo completamente cubierto).

En la *figura 2* se aprecia una temperatura superior a los 500° C esperados durante 8 horas para lo cual es necesario una irradiancia (DNI) mayor o igual a los 550 W/m². También se observa un desfase temporal entre la radiación y la temperatura, esta última presenta una menor tasa de aumento y disminución. Este mismo efecto pudo observarse en el comportamiento de la temperatura de salida entre los meses de invierno y verano en el trabajo experimental con colectores PTC de Chargui *et al.* (2021).

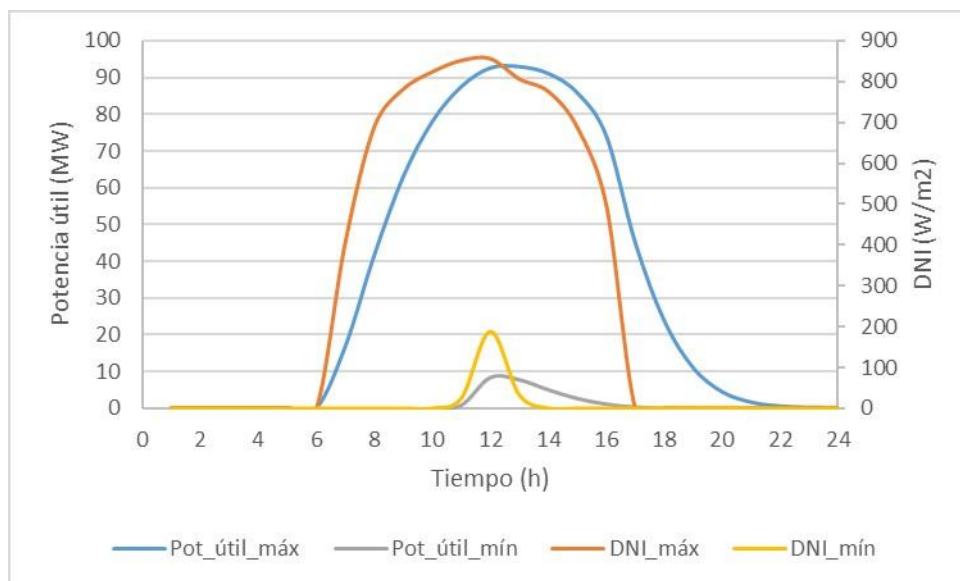
Figura 2. Temperatura de salida y DNI para el mes de junio.



Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 3* se observa que la potencia útil máxima es del orden de los 92 MW, se aprecia el lento aumento y descenso de la potencia útil en relación con el DNI. Se alcanza una potencia superior a 40 MW durante aproximadamente 9 horas. La potencia útil máxima alcanzada durante días nublados es inferior a los 10 MW en menos de 4 horas de duración. Nótese que las potencias útiles obtenidas superan las potencias nominales de funcionamiento de los campos solares de 34 MW, lo que posibilitaría el manejo técnico del campo solar de acuerdo con las necesidades horarias de la carga térmica de la planta, así como eventualmente, un aprovechamiento de la energía térmica en horas nocturnas o de baja radiación, mediante la implementación de sistemas de almacenamiento térmico.

Figura 3. Potencia útil de salida y DNI para el mes de junio.



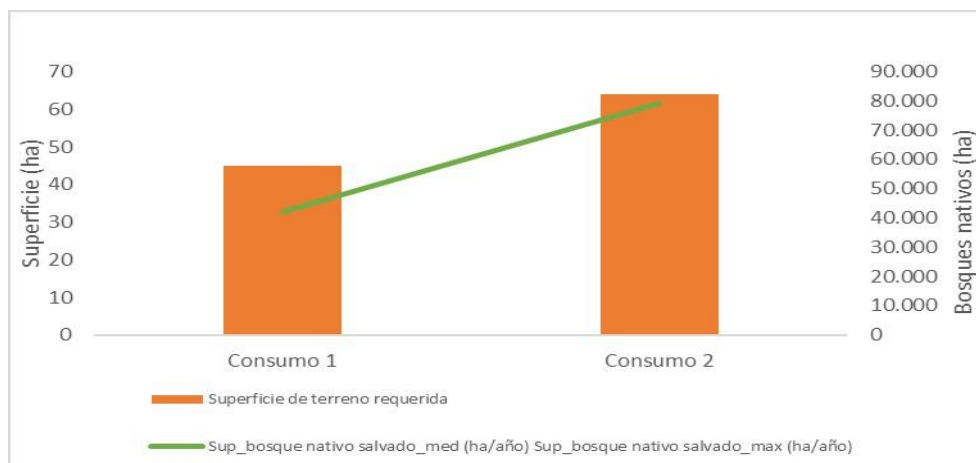
Fuente: Elaboración propia.

Estos valores de temperatura y potencia útil de salida son muy superiores a los valores nominales esperados para el modelo establecido (500 °C, 34 MW), esto da indicios de la necesidad de una optimización en el cálculo de dimensionamiento. También debe tenerse en cuenta que esta potencia debe ser transmitida al agua presurizada para la obtención de vapor, proceso en el cual es de esperarse pérdidas en la transmisión de potencia térmica. Es interesante notar que el modelo de hibridación no ha considerado el consumo energético horario específico del proceso industrial, que ha sido representado de manera simplificada por un condensador (Type593_v2a-2), además, cada dispositivo es simulado por un *type* que responde a características generales como rendimientos, dimensiones, potencias nominales, caudales, etc. Estos parámetros no se ajustan necesariamente al funcionamiento específico de ningún dispositivo de una marca determinada.

En cuanto a la biomasa, el consumo anual de leña obtenido varía entre 80,456.96 t y 150,856.81 t para consumos medio y máximo respectivamente. A modo de contraste, tenemos que el consumo de biomasa sólida (leña) en la industria azucarera/alcoholera varía entre 132,000 t y 253,000 t para la producción de 104 millones de litros de alcohol en la región oriental en 2012 según Ríos *et al.* (2016). Considerando cuatro industrias para este sector, con base a la información obtenida del sitio oficial del Centro Azucarero y Alcohólico Paraguayo (2024), las cifras anteriores dan un promedio por ingenio de entre 33,000 t y 63,250 t, que comparado al consumo de leña obtenido, nos permite ubicar las estimaciones de esta última referencia como correspondientes a un consumo de gas natural de entre 3 y 6 nm³ por tonelada de caña, valores mayores en un factor de 3 y 6 al mínimo considerado en este trabajo (1 nm³ por tonelada de caña).

Análogamente, el volumen anual de leña obtenido del modelo varía entre 104,625.44 m³ y 196,172.70 m³ que serán comparados seguidamente con los valores encontrados en la literatura. El consumo anual de leña por la industria de etanol es de 112,206 m³ (14%) y 683,448 m³ (86%) consumidos de bosques nativos y de plantaciones respectivamente, que representan el 5.7% del consumo industrial con fines energéticos a nivel país en 2018, reportados en el informe Viceministerio de Minas y Energía (2019b). Asumiendo nuevamente la existencia de 4 industrias azucareras/alcoholeras, tenemos que los valores mencionados anteriormente dan un promedio de 28,051.5 m³ de leña de bosques nativos y 170,862 m³ de leña de plantaciones. Se deduce que el volumen máximo de leña calculado por los modelos se corresponde aproximadamente con el total de leña (bosque nativos y plantaciones) por industria, calculado con base al reporte del Viceministerio de Minas y Energía en valores cercanos a 200,000 m³, lo que nos da una pauta de coincidencia entre el límite superior calculado y las estimaciones oficiales.

Figura 4. Superficies del campo solar y de bosques nativos



Fuente: Elaboración propia.

Habiendo contrastado los resultados relacionados al consumo de leña, se presenta en la *figura 4* los datos correspondientes al cálculo de superficies de bosques nativos potencialmente salvados por la implementación del modelo híbrido, junto con la superficie requerida para la implementación de la tecnología solar. Se observa que se pasa de 6.41 ha a 13.89 ha y de 42,252.58 ha a 79,223.59 ha para la superficie de colectores solares y la superficie de bosques potencialmente salvados respectivamente. A modo de comparación, tenemos que la cantidad de hectáreas anuales de bosques potencialmente salvados para el caso de un consumo máximo resulta un poco más que el 72% de la tasa de deforestación de 110,000 ha por año en 2002 del bosque Atlántico (Parte de la región este de Paraguay), según la *World Wildlife Fund* WWF (2013) como lo citó Da Ponte *et al.* (2017). De todo lo expuesto anteriormente, se destaca el hecho de que existe un amplio rango de valores del uso de la energía auxiliar en la industria azucarera, lo que conlleva a que el cálculo del consumo de leña tome una amplia gama de valores, lo que a su vez implica que el cálculo de superficies de bosques nativos potencialmente salvados anualmente pueda variar de 42,252.58 ha a 79,223.59 ha para consumos medios y máximos respectivamente (con un mínimo de 5,281.57 ha).

Los diferentes parámetros relacionados a la biomasa fueron tomados de referencias científicas, fuentes oficiales del Paraguay y del extranjero relacionados a la energía, el medio ambiente y las energías renovables. Estos valores pueden presentar un sesgo local y una variación temporal que eventualmente puedan hacer que los cálculos realizados deban ser complementados por un estudio de sensibilidad que no fue realizado en el presente trabajo.

Complementariamente, realizamos una breve discusión sobre los costos de la tecnología PTC. Asumiendo un costo de instalación de 4,295 US\$/kW, un costo de operación y mantenimiento de 0.02 US\$/kWh tomados de la *International Renewable Energy Agency* (IRENA, 2022), se obtienen un costo de instalación de 146,030,000 US\$, un costo anual de operación y mantenimiento de 1,999,880 US\$. En este sentido, se requiere un estudio financiero adicional, en donde se contemple las variaciones de los costos, tasas de financiación y precios de la energía. El costo nivelado de la energía LCOE (Del inglés *Levelized Cost of Energy*) de la tecnología de colectores solares de concentración ha ido decreciendo en los últimos años hasta llegar menos de 0.1 US\$/kWh, dentro del rango del costo de los combustibles fósiles, de acuerdo con IRENA (2023). De mantenerse esta tendencia, es posible que actualmente o en unos años, las condiciones financieras sean favorables para la implementación de la energía solar PTC en diferentes sectores industriales.

CONCLUSIONES

Con el objetivo principal de evaluar el impacto de la instalación de la tecnología de colectores solares cilindro-parabólicos en la industria azucarera del Guairá, en la reducción del consumo de biomasa no sostenible, se pudo establecer un modelo híbrido, cuya respuesta a la irradiación solar fue simulada con el software TRNSYS 18, y se han obtenido valores de potencia útil y temperatura que indican la suficiencia del recurso solar, además, se calcularon la superficie de bosques nativos potencialmente salvados por la implementación del modelo de hasta cerca de 80,000 ha anuales.

El modelo de hibridación entre la tecnología de concentradores solares cilindro-parabólicos y la cogeneración en una planta azucarera en la ciudad de Tebicuary del Departamento del Guairá, alcanza de acuerdo con las simulaciones realizadas, valores que sobrepasan la temperatura de salida del fluido térmico esperados, así como la potencia útil absorbida por este, supera la potencia nominal del campo solar incluso en el mes de menor irradiancia solar. Por tanto, el recurso solar del lugar es suficiente para la obtención de vapor saturado.

La eliminación del consumo de leña no sostenible de 80,456.96 t (consumo medio) y 150,856.81 t (consumo máximo) permitiría salvar un equivalente anual mínimo de 5,281.57 ha y hasta 79,223.59

ha de bosques nativos, contribuyendo de esta manera a la mitigación de la deforestación. La implementación de la tecnología solar mediante este modelo permitiría la reducción de la contribución anual del consumo de leña del sector azucarero/alcoholero a niveles inferiores al 5.7% del consumo industrial total a nivel país.

Se ha demostrado el potencial de aplicación de la energía solar de concentración, en particular, de la tecnología de colectores cilindro-parabólicos en una región específica del país, con posibilidades de ampliar el estudio realizado a diferentes industrias de otras zonas productivas. La proyección de la generación de energía solar en un periodo de tiempo suficientemente largo puede contribuir a satisfacer la creciente demanda de energía y colaborar en mantener el nivel de exportación de energía del país, con la implementación de una tecnología renovable madura, con importantes beneficios en la mitigación de la deforestación de bosques nativos, reduciendo significativamente el consumo de biomasa no sostenible (leña). Esto último complementa la ya sabida contribución de las renovables en la disminución del consumo de combustibles fósiles y sus emisiones de gases de efecto invernadero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, C. J., Pisa, J. R., Andina, R. L., & Nanni, F. E. (2013). Cogeneración en la industria azucarera. *Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería*, 36, 17-27. <https://acortar.link/rD2WpT>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2008). *Herramientas para mejorar la efectividad del mercado de combustibles de madera en la economía rural. Informe diagnóstico Paraguay*. División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural, y Desastres Naturales. <https://acortar.link/ecUQZg>
- Beckman, W. A., Broman, L., Fiksel, A., Klein, S. A., Lindberg, E., Schuler, M. & Thornton, J. (1994). TRNSYS The most complete solar energy system modeling and simulation software. *Renewable energy*, 5(1-4), 486-488. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90420-0](https://doi.org/10.1016/0960-1481(94)90420-0)
- Birru, E., Erlich, C. & Martin, A. (2019). Energy performance comparisons and enhancements in the sugar cane industry. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 9, 267-282. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0349-z>
- Bodo, T., Gimah, B. G. & Seomoni, K. J. (2021). Deforestation and habitat loss: Human causes, consequences and possible solutions. *Journal of Geographical Research*, 4(2), 22-30. <https://doi.org/10.30564/jgr.v4i2.3059>
- Bolognese, M., Viesi, D., Bartali, R. & Crema, L. (2020). Modeling study for low-carbon industrial processes integrating solar thermal technologies. A case study in the Italian Alps: The Felicetti Pasta Factory. *Solar Energy*, 208, 548-558. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.091>
- Brough, D., Ramos, J., Delpech, B. & Jouhara, H. (2021). Development and validation of a TRNSYS type to simulate heat pipe heat exchangers in transient applications of waste heat recovery. *International Journal of Thermofluids*, 9, e100056. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2020.100056>
- Burin, E. K., Vogel, T., Mulhaupt, S. Thelen, A., Oeljeklaus, G., Görner, K., & Bazzo, E. (2016). Thermodynamic and economic evaluation of a solar aided sugarcane bagasse cogeneration power plant. *Energy*, 117(Part. 2), 416-428. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.071>

- Carvalho, D. J., Moretti, R. R., Colodette, J. L. & Bizzo, W. A. (2020). Assessment of the self-sustained energy generation of an integrated first- and second-generation ethanol production from sugarcane through the characterization of the hydrolysis process residues. *Energy Conversion and Management*, 203, e112267. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112267>
- Centro Azucarero y Alcohólico Paraguayo. (2024). *Centro Azucarero y Alcohólico Paraguayo*. <https://www.centroazucarero.org.py>
- Chargui, R., Tashtoush, B. & Awani, S. (2022). Experimental study and performance testing of a novel parabolic trough collector. *International Journal of Energy Research*, 46(2), 1518-1537. <https://doi.org/10.1002/er.7267>
- Columbia Center on Sustainable Investment. (2021). *Vías de Descarbonización del Sector Energético del Paraguay*. Quadracci Sustainable Engineering Lab de la Universidad de Columbia y Centro de Recursos Naturales, Energía y Desarrollo (CRECE). <https://acortar.link/tCJEjb>
- Da Ponte, E., Kuenzer, C., Parker, A., Rodas, O., Oppelt, N. & Fleckenstein, M. (2017). Forest cover loss in Paraguay and perception of ecosystem services: A case study of the Upper Parana Forest. *Ecosystem services*, 24, 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.009>
- Er, Z. (2016). A study of evaluation of solar energy simulation and modeling systems. *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 72-77. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.130.72>
- EU Science Hub. (2023). *PVGIS data sources & calculation methods*. European Commission's Joint Research Centre. <https://acortar.link/OFDDh1>
- Fazekas, A., Bataille, C. & Vogt-Schilb, A. (2022). *Prosperidad libre de carbono. Como los gobiernos pueden habilitar 15 transformaciones esenciales*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://acortar.link/I57Daq>
- Fredriksson, J., Eickhoff, M., Giese, L. & Herzog, M. (2021). A comparison and evaluation of innovative parabolic trough collector concepts for large-scale application. *Solar Energy*, 215, 266-310. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.017>
- Holler, S., Winkelmann, A., Pelda, J. & Salaymeh, A. (2021). Feasibility study on solar thermal process heat in the beverage industry. *Energy*, 233, e121153. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121153>
- International Renewable Energy Agency. (2022). *Renewable Technology Innovations Indicators: Mapping progress in costs, patents and standards*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022>
- International Renewable Energy Agency. (2023). Global LCOE and Auction values. International Renewable Energy Agency. <https://acortar.link/TvMyOD>
- Janotte, N., Feckler, G., Kötter, J., Decker, S., Herrmann, U., Schmitz, M. & Lüpfer, E. (2014). Dynamic performance evaluation of the HelioTrough® collector demonstration loop—towards a new benchmark in parabolic trough qualification. *Energy Procedia*, 49, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.012>
- Klein, S. & Nellis, G. (2011). *Thermodynamics*. Cambridge University Press.

- Ktistis, P. K., Agathokleous, R. A. & Kalogirou, S. A. (2021). Experimental performance of a parabolic trough collector system for an industrial process heat application. *Energy*, 215(Part. A), e119288. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119288>
- McDowell, T., E Bradley, D., Hiller, M., Lam, J., Merk, J. & Keilholz, W. (2017, August). *TRNSYS 18: The continued evolution of the software* [Conference presentation summary]. 15th Conference of IBPSA. <https://acortar.link/VO5PNi>
- Mohebalian, P. M., Lopez, L. N., Tischner, A. B. & Aguilar, F. X. (2022). Deforestation in South America's tri-national Paraná Atlantic Forest: Trends and associational factors. *Forest Policy and Economics*, 137, e102697. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102697>
- Muller, M., Vincent, S. & Kumar, O. P. (2020). Prediction of land-change using machine learning for the deforestation in Paraguay. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(5), 1774-1782. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i5.2532>
- Osorio, J. D. & Rivera-Alvarez, A. (2022). Influence of the concentration ratio on the thermal and economic performance of parabolic trough collectors. *Renewable Energy*, 181, 786-802. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.040>
- Quiñones, G., Felbol, C., Valenzuela, C., Cardemil, J. M. & Escobar, R. A. (2020). Analyzing the potential for solar thermal energy utilization in the Chilean copper mining industry. *Solar Energy*, 197, 292-310. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.009>
- Ríos, M., Kaltschmitt, M., Borsy, P. & Ortiz, R. (2016). Solid biomass within the energy system of Eastern Paraguay—status and consequences. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 6, 365-375. <https://doi.org/10.1007/s13399-015-0194-2>
- Rodríguez, C. M. (2022). Incidencia de la deforestación en la captación de dióxido de carbono y provisión de oxígeno en Paraguay. Periodo 1990-2020. *Población y Desarrollo*, 28(54), 6-15. <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2022.028.54.006>
- Schneider, R. (Editor). (2013). *Producción y Consumo de Biomasa Sólida en Paraguay*. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Viceministerio de Minas y Energía. <https://acortar.link/p5wSMY>
- Solar Energy Industries Association. (2023). *Initiatives. Concentrating Solar Power*. <https://seia.org/concentrating-solar-power>
- Transient System Simulation Tool. (2019). *What is TRNSYS?* Transient System Simulation Tool. <https://www.trnsys.com>
- Turns, S. R. & Pauley, L. L. (2020). *Thermodynamics: concepts and applications*. Cambridge University Press.
- Viceministerio de Minas y Energía. (2019a). Perspectiva energética 2050 (Informe Ejecutivo). Departamento de Planificación y Estadística. Departamento de Monitoreo Energético. Dirección de Recursos Energéticos. <https://acortar.link/vK9bqT>
- Viceministerio de Minas y Energía. (2019b). Producción y consumo de biomasa forestal con fines energéticos en el Paraguay. Dirección de Energías alternativas. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://acortar.link/CLzrA9>

Viceministerio de Minas y Energía. (2022). Balance Energético Nacional. Dirección de Recursos Energéticos Primarios. <https://acortar.link/o3SifM>

Yuanjing, W., Cheng, Z., Yanping, Z. & Xiaohong, H. (2020). Performance analysis of an improved 30 MW parabolic trough solar thermal power plant. *Energy*, 213, e118862. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118862>

Zebra, E. I. C., van der Windt, H. J., Nhumaio, G. & Faaij, A. P. (2021). A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, e111036. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111036>