

REVISTA IBEROAMERICANA

AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD



www.rias.unesum.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.vol7>
ISSN. 2697-3510. e-ISSN: 2697-3529



REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

ISSN: 2697-3510 | e-ISSN: 2697-3529 | Vol. 7, 2024

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v7>

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

Passiflora edulis flavicarpa

Foto tomada por el licenciado Ricardo Antonio Cedeño Aldaz en la Granja Experimental de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.

CONTACTO

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

Teléfono: (+593) 987943762

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. Amado Batista Mainegra
Instituto Especializado de Profesionales de la Salud, El Salvador

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

MSc. Alejandro José Boehden
Fundación T.E.A., Argentina

MSc. Eugenio Landeiro Reyes
PAFICSD, Canadá

MSc. Wagner Castro Castillo
Universidad Nacional, Costa Rica

Dr. Ronald Jesús Sánchez Brenes
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

MSc. Yoangel Jesu Miranda Agüero
Universidad Agraria de La Habana, Cuba

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

Dr. Rogelio García Tejera
Universidad de Oriente, 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

Dr. Yunior Ramón Velázquez Labrada
Universidad de Oriente, Cuba

MSc. Mirurgia Aguilar Velázquez
Universidad de La Habana, Cuba

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

Dr. Tito Morales Pinzón
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Dra. Liliana Isaza Valencia
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

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

Dr. Jorge Alejandro Batres Quevedo
Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador

MSc. José Miguel Giler Molina
ESPAM MFL, Ecuador

MSc. Laura Gema Mendoza Cedeño
ESPAM MFL, Ecuador

MSc. Holanda Teresa Vivas Saltos
ESPAM MFL, Ecuador

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

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

Dr. José Luis Alcívar Cobeña
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Dr. Daniel Arias Toro
Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador

Dr. Wilmer Adolfo Tezara Fernández
Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador

Dr. Sergio Iglesias Abad
Universidad Católica de Cuenca, Ecuador

Dr. Rolando Medina Peña
Universidad Metropolitana, Ecuador

MSc. José Miguel Sermeño Chicas
Universidad de El Salvador, El Salvador

MSc. Dagoberto Pérez
Universidad de El Salvador, El Salvador

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

Dra. Diana Elizabeth Jiménez de Contreras
Universidad Gerardo Barrios, El Salvador

MSc. Corona Yamileth García de Álvarez
ESFE/ÁGAPE, El Salvador

MSc. Aida Milena Ramires Chicas
Universidad de Oriente, El Salvador

MSc. Fiorella Yolybette Díaz Escobar
Universidad de Oriente, El Salvador

MSc. Claudia Lizeth Lemus Hernández
Universidad Autónoma de Santa Ana, El Salvador

MSc. Mildred Amparo Sandoval
Universidad Autónoma de Santa Ana, El Salvador

MSc. Nery Francisco Herrera Pineda
Universidad de Sonsonate, El Salvador

Dra. Illiana Stephanie Arias Salegio
IEPROES, El Salvador

MSc. Ignacio Lozana Montes
Asociación Española de Educación Ambiental, España

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

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



Consejo Científico

Dra. Norma Angélica Rodríguez Valladares
UNICEPES, México

Dra. Izarely Rosillo Pantoja
Universidad Autónoma de Querétaro, México

Dr. Omar Chávez Alegría
Universidad Autónoma de Querétaro, México

MSc. Edith García Real
Universidad de Guadalajara, México

Dra. Silvia Guadalupe Ramos Hernández
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México

Dra. Xiomara del Pilar Castillo Altamirano
Universidad Tecnológica La Salle, Nicaragua

Dra. Magdy De las Salas Barroso
UMECIT, S.A., Panamá

MSc. Marco Andrés Moreno Tapia
GRD Geoconsultores S.A., Perú

Dra. Blanca Inés Aguilar
International University Network, USA

Dr. Jorge Luis Llamas Chávez
International University Network, USA

Revisores Invitados

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

Dr. Alfredo Domínguez González
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

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

MSc. Giselle Invernón Duconge
PAFICSD, Chile

Dr. Jairo Elicio Tocancipá-Falla
Universidad del Cauca, Colombia

Dr. José Antonio Díaz Duque
Universidad Tecnológica 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 Spiritus, Cuba

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

Dra. María de los Ángeles Pérez Hernández
ECOVIDA - CEPRODESO, Cuba

Dr. Jorge Ferro Díaz
ECOVIDA, Cuba

Dr. Reinaldo Demesio Alemán Pérez
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Dra. Ruth Echeverría Orellana
Asociación Española de Educación Ambiental, España

MSc. Rafael Enrique Corrales Andino
Universidad Nacional Autónoma de Honduras

Dr. Yandy Rodríguez Cueto
ProsperIA, México

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

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

Corrección de textos en español

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

Corrección de textos en portugués

Dr. Alfredo Domínguez González
Universidade do Estado de Mato Grosso, 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. 7, 2024

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v7.e467>



BLANCA SOLEDAD INDACOCHEA GANCHOZO

Doctora en Ciencias Forestales y Máster en Gestión Ambiental (Universidad de Pinar del Río, Cuba). Máster en Agroecología y Agricultura Sostenible (Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Ecuador) e Ingeniera Forestal (Universidad Técnica de Manabí, Ecuador). Rectora de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador y Directora de la Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad.

EDITORIAL

La Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó en septiembre de 2015 los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Conscientes de que los Objetivos de Desarrollo Sostenible solo se pueden lograr con el compromiso decidido y la participación de toda la comunidad internacional, se aprobó el **ODS 17: Alianza para lograr los objetivos** con la finalidad de mejorar la cooperación Norte-Sur y Sur-Sur, apoyando los planes nacionales en el cumplimiento de todas las metas.

La Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA, A.C.) viene trabajando en esta dirección desde 1999, cuando quedó constituida en La Habana, Cuba; iniciativa a la que la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM) se sumó precisamente en 2015 como Punto Focal Nacional en Ecuador. Resultado de las excelentes relaciones de cooperación entre la REIMA, A.C. y la UNESUM, y muestra del compromiso de nuestra institución con la implementación de los ODS decidimos a partir de enero de 2024 asumir la gestión editorial de la **Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad (RIAS)**, espacio para la difusión de los resultados más relevantes de las investigaciones que realiza la comunidad científica en Iberoamérica en materia de gestión ambiental y desarrollo sostenible.

RIAS ha publicado desde 2018 más de 100 artículos científicos de autores de 16 países: Angola, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España, Haití, México, Nicaragua, Perú y Suecia. Abordando temáticas de actualidad como: Uso sustentable de la biodiversidad y manejo de áreas protegidas, Manejo sustentable de tierras y seguridad alimentaria, Gestión de riesgos ambientales y cambio climático, Gestión sustentable de recursos hídricos, Gestión ambiental en asentamientos humanos, Gestión sustentable de residuos sólidos urbanos, Educación, cultura y comunicación ambiental, Turismo sustentable, Política y derecho ambiental, Bases de datos, percepción remota y SIG aplicados a la gestión ambiental, Salud ambiental y Cooperación universitaria para el desarrollo sustentable.

La UNESUM ratifica su compromiso de continuar trabajando con la REIMA, A.C. de México y la Fundación Panamericana de Cooperación Internacional para el Desarrollo Sustentable (PAFICSD, por sus siglas en inglés) de Canadá, con la finalidad de mejorar la cooperación Norte-Sur, como parte del ODS 17 y asimismo hacer una mayor contribución al **ODS 4: Educación de calidad**.



TABLA DE CONTENIDO

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Monitoreo del suelo de áreas sembradas con maíz híbrido y su refugio en Calimete, Matanzas. *Odette Beiro Castro, Yordanka Domínguez Linares, Ana Noa Rodríguez, Yanet Valdés Collado* e402

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la República Dominicana. *Roblanda José* e390

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

Costos ocultos del agua retenida para producción de aguacate en México. *Carlos Francisco Ortiz-Paniagua, Gerardo Ruiz-Sevilla* e384

GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Comportamiento de la movilidad vehicular en ciudades pequeñas. Estudio de caso: Tunja, Boyacá, Colombia. *Rubén Darío Calixto Morales* e372

Evaluación de los impactos ambientales asociados a la expansión urbana en Malabo, Guinea Ecuatorial. *Feliciano Moro, Roberto García Lara* e386

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTALES

Red colaborativa para el desarrollo sostenible: una estrategia innovadora en capacitación agropecuaria. *Mauricio Javier López Leyva, Leydis Sierra García, José Rey Correa Pérez* e388

Percepción de la sustentabilidad en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Estudio de caso en la comuna Concepción, Chile. *Josefa Antonia Montoya Yañez, Marcela Andrea Salgado Vargas, Ana Carolina Baeza Freer* e370

USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS

Evaluación del aprovechamiento de productos forestales no maderables, sector San Carlos del Chura, Esmeraldas, Ecuador. *Alfredo Jiménez González, Danny Rodrigo Sánchez Rodríguez, Yajhaira Vanessa Romero Anazco, Tayron Omar Manrique Toala* e431

TURISMO SUSTENTABLE

Contribución de las antiguas técnicas agrícolas precolombinas al desarrollo del turismo rural sostenible. *Edgar Núñez Torres, Emilio Enrique Guerra Castellón, Yasser Vázquez Alfonso* e379

RESEÑA BIOGRÁFICA

Mario Molina: Un científico socialmente comprometido. *Federico Velázquez de Castro González* e407



MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Monitoreo del suelo de áreas sembradas con maíz híbrido y su refugio en Calimete, Matanzas.

Soil monitoring of areas planted with hybrid corn and its refuge in Calimete, Matanzas.

Monitoramento de solo de áreas plantadas com milho híbrido e seu refúgio em Calimete, Matanzas.

Odette Beiro Castro

Centro Nacional de Toxicología, Cuba
odettebeiro1968@gmail.com

Yordanka Domínguez Linares, Ana Cristina Noa Rodríguez, Yanet Valdés Collado

Artículo científico

Recibido: 21/05/2024

Aceptado: 10/10/2024

Publicado: 18/10/2024

RESUMEN

En Cuba se implementa un Sistema para el Monitoreo y Vigilancia de efectos adversos de cultivos modificados genéticamente. Una de las herramientas para tales fines es el monitoreo caso específico, que permite verificar los resultados de la Estimación de Riesgo Ambiental o llenar los vacíos en la misma. El compartimento del suelo, y en particular su microfauna, constituyen metas de protección por su importancia en la sostenibilidad y funcionalidad de los agroecosistemas. La investigación tuvo como objetivo establecer una línea base del suelo en un área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio. Se seleccionó la Empresa Azucarera Jesús Sablón Moreno, ubicada en el municipio Calimete, provincia Matanzas. Se monitoreó el suelo de dos áreas, una sembrada con el híbrido y otra con el refugio; en ambas se investigaron la fauna asociada, porcentaje de retención de agua, pH y la actividad de la comunidad microbiana a través de su respiración. Los resultados obtenidos permitieron establecer las características físicas, químicas y biológicas para evaluar el impacto de este cultivo en el suelo. Se estableció la línea base en el área muestreada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio.

Palabras clave: características físicas-químicas y biológicas, cultivo genéticamente modificado, sistema de monitoreo y vigilancia

ABSTRACT

In Cuba, a system for monitoring and surveillance of adverse effects of genetically modified crops is being implemented. One of the tools for such purposes is case-specific monitoring, which allows verifying the results of the Environmental Risk Estimation or filling the gaps in it. The soil compartment, and particularly its microfauna, constitutes protection targets due to their importance in the sustainability and functionality of agroecosystems. The objective of the research was to establish a soil baseline in an area planted with hybrid corn (MIR162 X TC1507) and its refuge. The Jesús Sablón Moreno Sugar Company, located in the Calimete municipality, Matanzas province, was selected. The soil of two areas was monitored, one planted with the hybrid and another with the refuge; in both, the associated fauna, water retention percentage, pH and the activity of the microbial community through its respiration were investigated. The results obtained allowed establishing physical, chemical and biological characteristics to evaluate the impact of this crop on

the soil. The baseline was established in the sampled area with hybrid corn (MIR162 X TC1507) and its refuge.

Keywords: genetically modified crops, monitoring and surveillance system, physical-chemical and biological characteristics

RESUMO

Em Cuba, está implementado um Sistema de Monitorização e Vigilância dos efeitos adversos das culturas geneticamente modificadas. Uma das ferramentas para tais fins é o monitoramento caso-específico, que permite verificar os resultados da Estimativa de Risco Ambiental ou preencher lacunas na mesma. O compartimento solo, e em particular a sua microfauna, constituem objetivos de proteção devido à sua importância na sustentabilidade e funcionalidade dos agroecossistemas. O objetivo da pesquisa foi estabelecer uma linha de base do solo em uma área plantada com milho híbrido (MIR162 X TC1507) e seu refúgio. Foi selecionada a Companhia Açucareira Jesús Sablón Moreno, localizada no município de Calimete, província de Matanzas. Foi monitorado o solo de duas áreas, uma plantada com o híbrido e outra com o refúgio. Em ambos foram investigados a fauna associada, percentual de retenção de água, pH e atividade da comunidade microbiana através de sua respiração. Os resultados obtidos permitiram estabelecer as características físicas, químicas e biológicas para avaliar o impacto desta cultura no solo. A linha de base foi estabelecida na área amostrada com milho híbrido (MIR162 X TC1507) e seu refúgio.

Palavras chave: características físico-químicas e biológicas, cultivo genético modificado, sistema de monitoramento e vigilância

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población ha impuesto un reto a la agricultura, que debe mantener un nivel de producción satisfactorio, a pesar de los riesgos climáticos y posibles plagas (Zapata y Eliécer, 2021). Una de las alternativas para enfrentar el reto es la aplicación de la biotecnología a la producción de alimentos. Dentro de los resultados obtenidos a través de la biotecnología se encuentran los organismos genéticamente modificados (OGM), en los que se destacan las plantas transgénicas por su mayor fortaleza y comercialización. La producción de este tipo de organismos se ha tornado masiva, lo que en consecuencia implica que su consumo haya adquirido semejantes proporciones (Gallardo, 2020).

Las plantas transgénicas han suscitado un amplio debate internacional, no exento de pasiones ni de intereses económicos tanto de los defensores como de sus detractores. Los efectos negativos pueden ser económicos, sociales, ecológicos y para la salud humana. Por ello la estimación de riesgo adquiere especial connotación y dentro de ella, los estudios de impacto ambiental, ya que contribuyen al uso racional de los transgénicos al esclarecer las consecuencias derivadas de su liberación a los ecosistemas (Oviedo-Bolaños *et al*, 2020; O´Farril, 2021).

El monitoreo ambiental posterior al registro de los cultivos genéticamente modificados (CGM) garantiza la detección y prevención de efectos sobre el ambiente que se deriven del cultivo a mayor escala; es una herramienta para abordar la incertidumbre asociada con la ingeniería genética aplicada a los cultivos que, empleado y regulado de forma adecuada, puede contribuir a reducir la inseguridad alimentaria presente y futura. El Monitoreo Ambiental Post Comercialización (PMEM, del inglés *post market environmental monitoring*) permite confirmar que las suposiciones en la estimación de riesgo ambiental respecto a la ocurrencia del impacto potencial de efectos adversos de un OGM son correctas e identificar la presencia de efectos adversos relacionados con su uso tanto para la salud

humana como para los ecosistemas que no fueron anticipados en la estimación de riesgo (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2023).

Para cumplir con su propósito, el PMEM emplea como herramientas el monitoreo caso específico (MCS, del inglés *Monitoring Case Specific*) y la vigilancia general (GS, del inglés *General Surveillance*). El MCS se requiere para verificar la estimación de riesgo ambiental; mientras que la GS para identificar los efectos no anticipados. Desde su surgimiento el PMEM ha tenido naturaleza dinámica en su enfoque (Berthol et al., 2020).

En Cuba se han desarrollado y liberado al ambiente variedades de maíz y soya transgénicas que deben monitorearse (Padrón y Extremera, 2020), para lo cual se confecciona un Sistema de Vigilancia Ecotoxicológica (SVE) como parte de un proyecto internacional del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) *Creación de capacidades adicionales en bioseguridad para la implementación del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología en Cuba*, coordinado por la Oficina de Seguridad Ambiental (ORSA), en el que entre otros aspectos se determinan los efectos adversos de los CGM que se liberan al ambiente.

En los agroecosistemas el componente natural y seminatural está representado por fragmentos incluidos en una matriz de suelo destinado a la agricultura (Chiglione, 2021). El suelo y la microfauna de este constituyen metas de protección por su importancia en la sostenibilidad y funcionalidad de los agroecosistemas. Para determinar los efectos adversos de los CGM en los suelos de los agroecosistemas donde se liberen, es necesario generar una línea base que sirva de marco de referencia cualitativo y cuantitativo para poder monitorear, dar seguimiento y evaluar los resultados, impactos y cambios a nivel biofísico, socioeconómico y ecológico, relacionados con la implementación de actividades de un plan, programa o proyecto (Rivero *et al*, 2021). La investigación tuvo como objetivo establecer una línea base del suelo en un área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se seleccionó en el municipio Calimete, provincia Matanzas, la finca de semillas de la Empresa Azucarera Jesús Sablón Moreno, ubicada en el camino que comunica la cabecera municipal con la Empresa y con asentamientos humanos a dos y tres kilómetros de distancia. Se aplicó como técnica de investigación la entrevista, para intercambiar información respecto a las características, rotación de cultivos, paquetes tecnológicos, manejo integrado de plagas y estudios de monitoreo previos. En la Empresa se contaba con un área de 20 hectáreas destinada para la producción de maíz (*Zea mays* L.) híbrido, que porta los eventos de transformación genética MIR162 y TC1507.

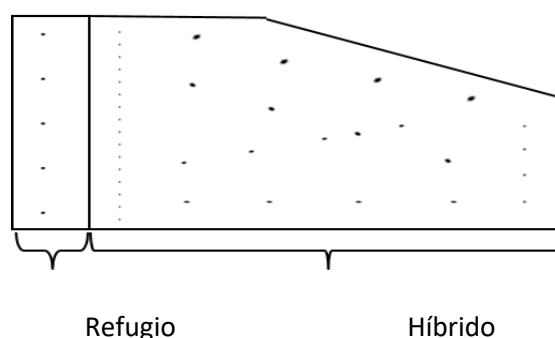
Estructura del plan de muestreo

El área seleccionada no había sido estudiada con anterioridad, por lo que se determinó que el suelo es de tipo ferralítico y el relieve llano, lo que lo hace no ser proclive a inundaciones. El agua de riego proviene de pozos, sin cercanía de espejos de aguas, áreas protegidas ni apiarios. Dos días previos al muestro llovió en la zona.

Procedimiento del muestreo

Se utilizó un muestreo de identificación para investigar las propiedades del suelo y su biología a través de la obtención de muestras representativas. El muestreo se realizó a la semana de la siembra del maíz, el área tenía forma rectangular, con dos zonas: una de refugio con maíz convencional y una superficie de 500 m y la otra de 20 hectáreas con el híbrido de maíz transgénico (MIR162 X TC1507). A partir de lo propuesto en la Guía para el Muestreo de Suelos (Ministerio del Ambiente, 2014) se muestrearon cinco puntos en el refugio y 36 en la zona sembrada con el híbrido, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Esquema del área a muestrear y distribución de los puntos para la toma de muestras para las zonas refugio y sembrada con el híbrido.



Nota: La zona representada como refugio está sembrada con maíz convencional y la otra con el híbrido de maíz transgénico (MIR162 X TC1507).

Fuente: Elaboración propia.

Se tomaron 41 puntos de muestreo, mediante el empleo de palas, cada punto con un área de 25x25x20 cm. Las muestras provenientes de ambas zonas se ubicaron en bolsas limpias, se llenaron con aproximadamente 5 kg de suelo, hasta un tercio de su capacidad, lo que permitió un espacio y niveles de oxígeno adecuados para la fauna del suelo, se cerraron herméticamente e identificaron mediante etiqueta con el código, fecha y hora de la toma de la muestra (MINAM, 2014). Las muestras de suelo se homogenizaron y se trasladaron al laboratorio de la Subdirección de Evaluaciones Toxicológicas y Medio Ambiente (SETMA) del Centro Nacional de Toxicología (CENATOX).

Parámetros físico - químicos:

Determinación de pH: De las muestras de suelo provenientes de ambas zonas se pesó 1 g de suelo en la balanza, las cuales se enrazaron a 99 mL de agua destilada, se agitaron y dejaron reposar, luego se utilizó el pHmetro marca InoLab para determinar la concentración de iones hidrógeno presentes en las disoluciones.

Determinación del porcentaje de retención de agua: En la balanza Sartorius se pesaron 400 g de sustrato en pesafiltros hasta alcanzar valores de peso constantes, luego se ubicaron los mismos en recipientes con agua para humedecer la superficie por capilaridad en incubadora marca Memmert HCP 50, a temperatura de 60 C°, con posterioridad se escurrieron y pesaron los recipientes (Tello *et al.*, 2015).

Caracterización biológica:

Fauna asociada: Las muestras de ambas zonas se tamizaron, inmediatamente se examinaron visualmente para coleccionar la fauna asociada que se observó al estereomicroscopio marca Óptica SFX-910, para su clasificación y cuantificación.

Cuantificación microbiana: Se analizó la cuantificación de la comunidad microbiana (hongos y bacterias) al inicio y a los 15 días del estudio. Se utilizaron tres grupos experimentales: el humus de lombriz (proveniente de la SETMA del CENATOX), que garantizó la carga microbiana y las muestras procedentes de la zona refugio y de la sembrada con el híbrido. En el flujo laminar *Clear Line* se prepararon los medios de cultivos *Agar Papas* para hongos y Nutritivo para bacterias, se sembró en la Cabina de Seguridad Biológica BH-EN 2004 placas y procedió a la incubación. Para el caso de las bacterias se incubó en la incubadora marca Sakura a 28 °C durante 72 h y se contaron las colonias cada 24 h. En el caso de los hongos se incubaron a 30 °C a por siete días en incubadora marca Memmert HCP 50 y se cuantificaron las colonias a partir de las 48 h (Muñoz et al., 2016).

Respiración microbiana: El ensayo se desarrolló según lo establecido en la guía número 850.3200 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés). Los grupos experimentales fueron: humus de lombriz (de la procedencia referida con anterioridad) y los expuestos a las muestras de suelo originarias del refugio y de la zona sembrada con el híbrido; en estos últimos con glucosa para estimular la actividad microbiana. El sistema fue estático y en condiciones de oscuridad. La exposición ocurrió desde el inicio, mediante el contacto e ingestión del sustrato constituido por muestras de suelo provenientes de áreas en las que se cultivó el OGM o humus de lombriz. La duración del estudio fue de 28 días, se evaluó la emisión de CO₂ de la comunidad microbiana a las 24 h y los días cinco, 15 y 28 (EPA, 2012).

Procesamiento estadístico:

Para el procesamiento de los datos se empleó el programa estadístico SPSS versión 22. Se aplicaron las pruebas de normalidad (Shapiro Will) y homogeneidad de varianza (estadístico de Levene); así como los test estadísticos paramétricos Dunnett; en el caso de las variables que no cumplieran con los supuestos de homogeneidad y homocedasticidad se aplicó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS

Parámetros físico - químicos

Determinación de pH

Se determinaron los valores de pH de ambas zonas, los cuales alcanzaron valores básicos de 8.24 y 8.15 para el refugio y para la zona proveniente del híbrido, respectivamente; cifras que se encuentran en el rango del pH en los suelos cultivados, que varía entre 4.5 y 8.5.

Determinación del porcentaje de retención de agua

La humedad de los suelos provenientes de ambas zonas se comportó similar, la humedad inherente alcanzó valores de 18.58 y 19 para los respectivos refugio e híbrido, de igual manera la máxima capacidad fue de 123.43 y 124.67.

Caracterización biológica

Fauna asociada

En el análisis visual de las muestras se observó una lombriz en la muestra proveniente del refugio mientras que en la originaria de la zona con el híbrido se cuantificaron 10 lombrices y un escarabajo.

Cuantificación microbiana

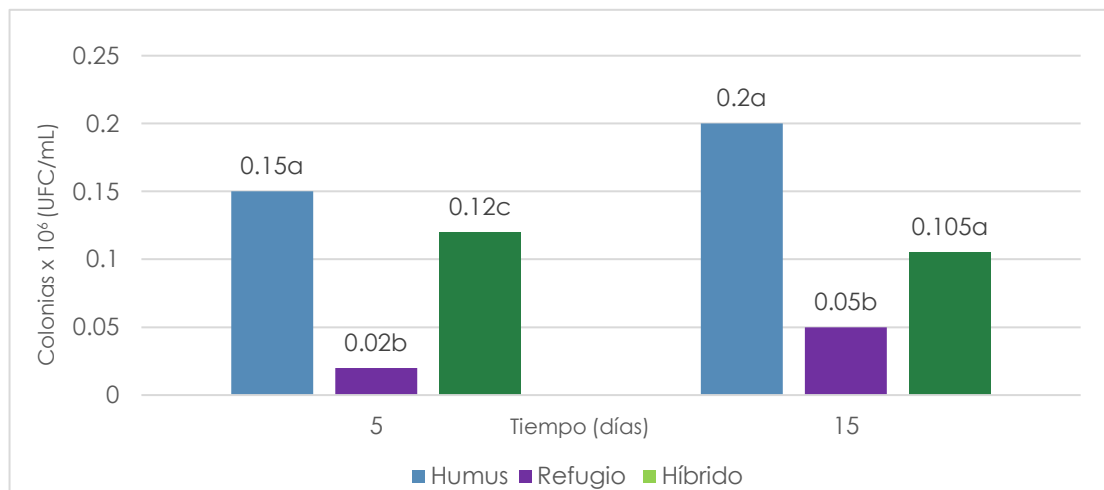
Se cuantificó la contribución en la carga microbiana de los suelos de hongos y bacterias, comportamientos que se observan en las figuras 2 y 3 respectivamente.

Al inicio del estudio existieron diferencias en la cantidad de colonias de hongos entre los grupos analizados al aplicar la prueba paramétrica de Dunnett ($p < 0.05$), los mayores niveles se alcanzaron en el humus, asociado con la alta carga microbiana que presenta este sustrato. Tras quince días de incubación de los suelos se apreció un incremento de las colonias fúngicas en todos los grupos, aunque solo se apreciaron diferencias significativas entre el humus y el refugio ($p < 0.05$).

Las bacterias mostraron un comportamiento similar respecto a los hongos al diferir las unidades formadoras de colonias en todos los grupos en la primera cuantificación, cuando se empleó la prueba paramétrica de Dunnett ($p < 0.05$). Al final del proceso de incubación se constató una disminución de la densidad bacteriana sin diferencias estadísticas.

En términos absolutos se constató un predominio de las poblaciones de bacterias por encima de las de hongos como ha sido reportado en otros suelos agrícolas (Olvera, 2024).

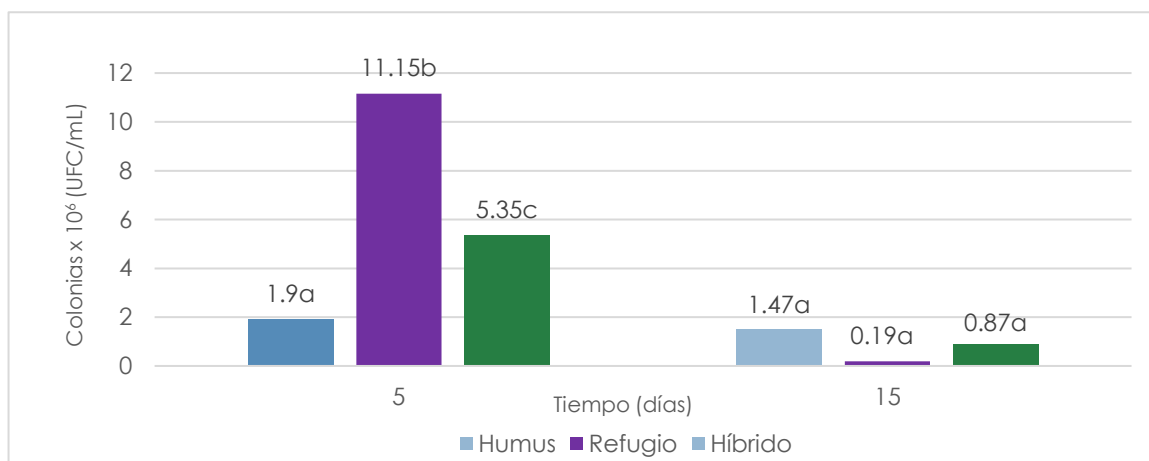
Figura 2. Comportamiento de los hongos en la cuantificación microbiana durante el estudio.



Nota: Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Las letras distintas corresponden a diferencias significativas $p < 0.05$.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Comportamiento de las bacterias en la cuantificación microbiana durante el estudio.



Nota: Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Las letras distintas corresponden a diferencias significativas $p < 0.05$.

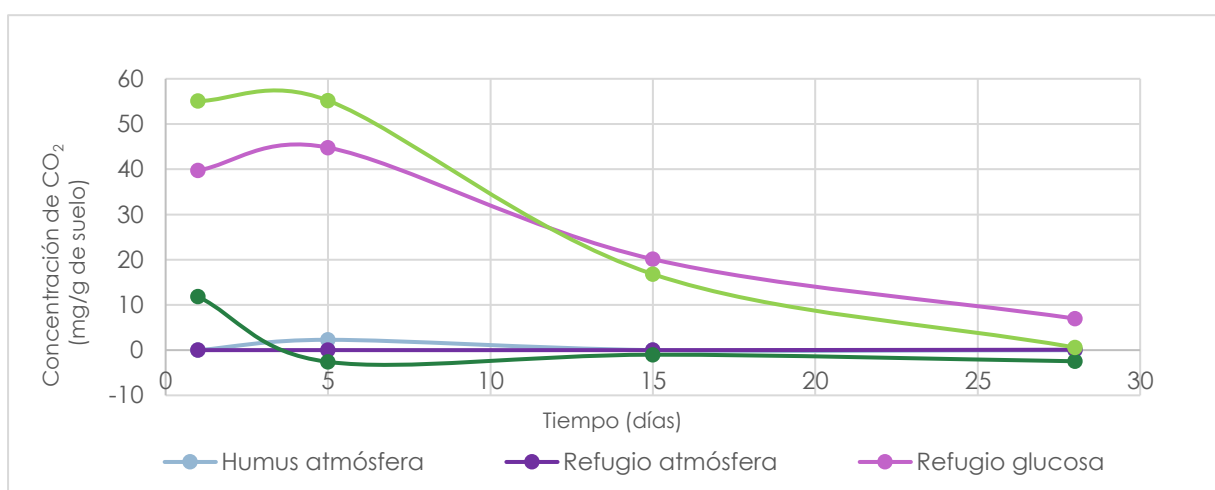
Fuente: Elaboración propia.

Respiración microbiana

Finalizado el estudio se determinaron los valores de pH en los diferentes grupos experimentales, los cuales fueron de 8.32, 8.52, 8.32, 8.10 y 8.26 para los grupos humus, refugio atmósfera, refugio glucosa, híbrido atmósfera e híbrido glucosa, respectivamente.

En la figura 4 se refleja la respiración microbiana que demostró que los niveles de CO_2 al comenzar el estudio en los grupos con glucosa resultaron diferentes del resto de los grupos, al presentar valores superiores de emisiones de CO_2 ; comportamiento que se le atribuye a la presencia de glucosa en los mismos que estimula la actividad microbiana. Al final del estudio las diferencias se establecieron entre el grupo refugio suplementado con glucosa y el resto de los grupos. Para el análisis de esta variable se aplicó el método no paramétrico Kruskal Wallis ($p < 0.05$).

Figura 4. Comportamiento de la respiración microbiana durante el estudio.



Nota: Los sustratos utilizados fueron humus de lombriz de tierra y suelos provenientes de zonas sembradas con maíz: convencional (refugio) e híbrido transgénico (MIR162 X TC1507) (híbrido). Los grupos atmósfera no

tienen estimulación de la actividad microbiana mientras que aquellos con glucosa sí. Las letras distintas corresponden a diferencias significativas $p < 0.05$.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

El conocimiento de una línea base refleja las condiciones en las que se encuentran los suelos agrícolas previos al desarrollo de los CGM. La selección de indicadores como: propiedades físico - químicas del suelo y biodiversidad de la micro y macrofauna asociada, permiten establecer un marco de referencia para analizar, monitorear y evaluar los impactos asociados a la liberación de estos cultivos.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos, el pH condiciona gran cantidad de acciones en el suelo afectando a las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Su comprensión permite conocer el efecto sobre dichas propiedades, así como sobre la disponibilidad de nutrientes. Las plantas cultivadas presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más disponibles y en un equilibrio más adecuado. Valores entre 7.5 y 8.5 dificultan el desarrollo de cultivos exigentes (Soto y Desamparados, 2018).

El pH también incide en la actividad biológica del suelo, en la literatura se plantea que en suelos neutros o ligeramente básicos el número de microorganismos es superior y son más activos. Se conoce que este parámetro influye en procesos microbianos como la nitrificación, la que se anula en pH superiores a 9. Este parámetro se considera como un factor limitante para la actividad microbiana en valores inferiores a 4 o superiores a 8.5 EPA (2012). En las muestras analizadas el pH presentó valores que no afectaron la actividad microbiana, lo que se comprobó con la cuantificación de hongos, bacterias y la determinación indirecta de su actividad a través de la respiración (Peña *et al.*, 2021).

El contenido de humedad del suelo es una parte primordial para los componentes vitales y afecta las propiedades mecánicas del suelo, tales como: la consistencia, la compatibilidad, el agrietamiento, la expansión, la contracción y la densidad real. Se puede evidenciar de una manera clara que, a porcentajes de humedad bajos, la actividad microbiana es menor (Caicedo *et al.*, 2021).

Las muestras de suelos tenían porcentajes de humedad similares, durante el estudio se ajustó la humedad al 12%, valor reconocido por las agencias como óptimo para la comunidad microbiana EPA (2012).

La baja proporción de fauna asociada a los suelos se relaciona con que provienen de áreas agrícolas generalmente caracterizados por bajos niveles de materia orgánica, expuestos al uso de fertilizantes y plaguicidas, al laboreo y las precipitaciones acontecidas en los días previos al muestreo; resultados que coinciden con los reportados por otros autores, quienes han comunicado la poca presencia de organismos de la macrobiota del suelo en tierras agrícolas empleadas en cultivos de ciclo corto, las cuales durante la preparación del suelo exponen a estos organismos a la presencia de depredadores e indican que la macrofauna del suelo incluye los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro, así como que su riqueza taxonómica, densidad, biomasa y composición funcional cambian en dependencia de los usos y manejos de la tierra (Olvera, 2024; Aseeva *et al.*, 2021). Otros autores han reportado pérdida de la biodiversidad en suelos sometidos a la agricultura intensiva (Barros-Rodríguez *et al.*, 2021).

Como indicador biológico del suelo, la macro y mesofauna edáfica deben estar relacionadas con los atributos físicos y químicos del suelo, que a la vez manifiestan la productividad del ecosistema (Insfrán *et al.*, 2023).

Dentro de la macrofauna edáfica se encuentran las lombrices de tierra, las cuales son afectadas por factores como el clima, alimentación, humedad, textura y condiciones químicas del suelo; por lo que estas manifiestan cambios de composición y abundancia en una corta escala de tiempo (Hanke *et al.*, 2024). Organismos detritívoros, como algunos coleópteros (escarabajos), pueden indicar el estado de perturbación en el medio edáfico por la sensibilidad a los cambios físicos y químicos del suelo, así como a las variaciones bruscas de temperatura y humedad en sus hábitats. Por su parte las hormigas son organismos con mayor capacidad de sobrevivir en suelos agrícolas, a pesar de las alteraciones de su medio, lo que le permite una alta prevalencia en abundancia y resistencia con algún nivel de intervención antrópica (Zerbino *et al.*, 2008). Estos resultados coinciden con los reportados en esta investigación.

Cabrera-Mireles y colaboradores (2019) determinaron la presencia de la macro y mesofauna en diferentes profundidades y épocas del año. En igual época del año que la que se realizó el muestreo, encontrando que el suelo con vegetación nativa presentó mayor abundancia de hormigas en la capa superior (0 - 15 cm) y de lombrices de tierra en la capa inferior (15 - 30 cm); mientras que en el suelo con pasto los escarabajos abundaron más en la dos profundidades y las lombrices en la capa superior.

Dentro de la caracterización biológica, la cuantificación de hongos y bacterias mostró diferencias en un primer momento en ambas zonas de muestreo, atribuibles al empleo de fertilizantes orgánicos previo a la siembra, que aportan la materia necesaria para el metabolismo de los microorganismos del suelo (Marois *et al.*, 2023). Las respuestas a las enmiendas orgánicas modifican parámetros químicos y biológicos del suelo como describiera Duran en 2023, ya que constituyen materia prima sobre la cual intervienen los organismos edáficos desechando sustancias húmicas que contribuyen en mejorar las propiedades físico - químicas del suelo y liberando elementos minerales que aseguran la nutrición de las plantas y microorganismos edáficos. Por otra parte, los aportes orgánicos posibilitan el crecimiento de la comunidad microbiana con los beneficios asociados a esta (Duran, 2023; Nabi, 2023).

En el segundo periodo de la cuantificación, los hongos tuvieron una mayor contribución a la carga microbiana que al inicio del estudio no así las bacterias, aunque el aporte de las últimas siempre fue superior respecto a los hongos (Soto-Valenzuela *et al.*, 2024). La manera en que aumentan los valores de hongos entre una y otra determinación se debe a que estos microorganismos necesitan de mayor tiempo para su establecimiento.

Las bacterias en el suelo desempeñan un papel clave en la regulación de la dinámica del carbono terrestre, los ciclos de nutrientes y la productividad de las plantas. Sin embargo, la distribución y el rol que cumplen en los diferentes suelos permanecen en gran parte sin conocerse. Estudios previos indican que unos pocos grupos de bacterias son dominantes en la mayor parte de los suelos del mundo, bajo agricultura y en ambientes naturales. Además, la mitad de las comunidades bacterianas en suelos de todo el mundo están representadas por solo un 2% de las especies conocidas (Martínez y Escalante, 2020).

Las comunidades fúngicas del suelo son esenciales para la retención de nutrientes (lixiviación de N y pérdidas de N₂O), dado que proporcionan rutas de transporte y reciclaje de C; asimismo, estos especímenes son más resistentes a las perturbaciones del cambio climático (como la sequía) que sus contrapartes de manejo intensivo dominado por bacterias. El incremento de la proporción hongos - bacterias en el suelo se ha relacionado con el aumento del C y por ende con la proporción C: N (Chandrakasan *et al.*, 2024).

En el estudio para el establecimiento de la línea base del suelo, la cuantificación de bacterias y hongos constituye un elemento clave en los indicadores biológicos por la importancia de los procesos en los que estos intervienen (Barragan-Soriano, 2022).

Los procesos microbianos son indicadores tempranos de la calidad del suelo y pueden anticipar su estado antes que los parámetros físicos o químicos. Entre estos procesos microbianos la respiración edáfica ha sido reconocida como uno de los parámetros más sensibles entre distintos parámetros microbiológicos (Rosabal *et al.*, 2021; Gutiérrez-Soto *et al.*, 2024).

Dentro de la determinación de la línea base la respiración del suelo adquiere gran connotación ya que se conoce que difiere entre los agroecosistemas por lo que se requiere su medición frecuente para la comprensión de su dinámica en el ambiente evaluado (Jian *et al.*, 2024). La presencia de materia orgánica lábil como la glucosa garantiza una rápida activación de los microorganismos lo que justifica los niveles superiores obtenidos en los grupos que la contenían; el agotamiento de esta materia en el tiempo coincide con la caída de las emisiones de CO₂ durante las cuantificaciones realizadas en los días 15 y 28 (Martín, 2021).

CONCLUSIONES

Debido a su complejidad, la mayoría de los servicios prestados por organismos individuales o grupos de organismos no se pueden cuantificar directamente como lo constituye la medición de la potencial actividad de todos los organismos del suelo para determinar el mantenimiento de los ciclos de nutrientes; para ello habría que evaluar de forma directa los servicios de los organismos del suelo claramente definibles y medir indirectamente dichos servicios determinando las características estructurales de las comunidades de organismos del suelo o medir las propiedades abióticas del suelo.

El monitoreo del suelo en los CGM es necesario, ya que la red alimentaria del suelo puede afectarse por la transferencia de toxinas a través de varios niveles tróficos; de ahí la importancia de implementar un SVE que permita el monitoreo de los CGM auxiliado en el PMEM como instrumento eficaz para alcanzar dichos propósitos, para ello es imprescindible generar una línea base de indicadores de calidad del suelo.

El suelo del área sembrada con maíz híbrido (MIR162 X TC1507) y su refugio se caracterizó en función de las propiedades fisicoquímicas y características biológicas, datos útiles para el monitoreo del CGM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aseeva, T. A., Selezneva, N. A., Sunyaikin, A. A., Tishkova, A. G. y Afanasieva, E. G. (2021). Influence of anthropogenic activities on changes in the chemical and biological properties of the soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723(4) 042046. <https://acortar.link/6q1dcw>
- Barragan-Soriano, J.L. (2022). Coinoculación de *Pinus montezumae* (Pinaceae) con un hongo comestible ectomicorrízico y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Acta Botanica Mexicana* (129). <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2024>
- Barros-Rodríguez, A., Rangseekaew, P., Lasudee, K., Pathom-Aree, W., Manzanera, M. (2021). Impacts of agriculture on the environment and soil microbial biodiversity. *Plants*, 10(11), 2325. <https://doi.org/10.3390/plants10112325>

- Bertho, L., Schmidt, K., Schmidtke, J., Brants, I., Cantón, R.F., Novillo, C., Graham H. (2020). Results from ten years of post-market environmental monitoring of genetically modified 810 maize in the European Union. *PLoS ONE*, 15(4), e0217272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217272>
- Cabrera-Mireles, H., Murillo-Cuevas, F.D., Adame-García, J. and Fernández-Viveros, J. A. (2019). Impacto del uso del suelo sobre la meso y macrofauna edáfica en caña de azúcar y pasto. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2019), 33-43 <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2654>
- Caicedo-Rosero, L.C., Méndez-Ávila, F.J., Gutiérrez-Zeferino, E., Flores-Cuautle, J.A. (2021). Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 1-8. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7035>
- Chandrakasan, G., García Trejo, J.F., Aguirre Becerra, H., Rico García, E. (2024). Revisión de la función de las comunidades microbianas del suelo a través de la gestión de la tierra y compilación metodológica avanzada. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, (Número especial). <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/928/1185>
- Chigliione, C., Zumoffen, L., Dalmazzo, M., Strasser R. y Attademo, A. (2021). Diversidad y grupos funcionales de insectos en cultivos de arroz y sus bordes bajo manejo convencional y agroecológico en Santa Fe, Argentina. *Ecología Austral*, 31(2), 261-276. <https://acortar.link/iIUuUe>
- Duran Román, G.A. (2023). *Actividad biológica en suelos de Viña de Mallorca bajo distintos sistemas de gestión*. [Tesis de doctorado, Universitat de les Illes Balears]. Repositorio Institucional. <https://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/164875>
- Environmental Protection Agency. (2012). Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.3200: Soil Microbial Community Toxicity Test. <https://acortar.link/avBfdx>
- Gallardo, L. (2020). La biotecnología alimentaria: mitos, realidades y derecho. En XVI Jornadas y VI Internacional de Comunicaciones Científicas de la Facultad de Derecho, Cs. Sociales y Políticas. Corrientes. Universidad Nacional del Nordeste. <https://acortar.link/83hkiJ>
- Gutiérrez-Soto, G., López-Sandín, I., Zavala García, V., Contreras Cordero, J.F., Elizondo-Luevano, J.H., Pérez Hernández, R.A. (2024). Effect of agricultural production system on soil microbial populations. *Scientia Agricolis Vita*, 1(1), 29-38. <https://doi.org/10.29105/agricolis.v1i1.7>
- Hanke, D., Santos, D., Nascimento, Sh., Rockenbach Ávila, M. and Paz Deble, L. (2024). *Edaphic Fauna Diversity and its Relationship with Soil and Vegetation Attributes in a Toposequence Under Natural Grasslands in the Pampa Biome – South Brazil*. SSRN. <https://acortar.link/028Z33>
- Insfrán Ortiz, A., Rey Benayas, J. M. y Cayuela Delgado, L. (2023). Agroforestry improves soil fauna abundance and composition in the Atlantic Forest of Paraguay. *Agroforestry Systems*, 97, 1447-1463. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00869-5>
- Jian, S., Li, J., Wang, G., Zhou, J., Schadt, C. W., Mayes, M. A. (2024). Generalizing microbial parameters in soil biogeochemical models: Insights from a multi-site incubation experiment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(4), e2023JG007825. <https://acortar.link/FLMxAy>

- Marois, J., Lerch, T. Z., Dunant, U., Farnet Da Silva, A. M. and Christen, P. (2023). Chemical and microbial characterization offermented forest litters used as biofertilizers. *Microorganisms*, 11(2), e306. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020306>
- Martín Usero, F. (2021). *Influencia de diferentes técnicas de manejo en la agricultura intensiva bajo plástico sobre las comunidades microbianas del suelo*. [Tesis de doctorado, Universidad de Almería]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/FVik50>
- Martínez, S. y Escalante, F. (2020). Las comunidades de microorganismos asociados a suelos arroceros. *Revista Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria*, (63), 58-62. <https://acortar.link/g6gZ5M>
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el Muestreo de Suelos*. Dirección General de Calidad Ambiental. <https://acortar.link/74fXcA>
- Muñoz-Rojas, J., Morales-García, Y., Báez, A., Quintero-Hernández, V., Rivera-Urbalejo, A., Pérez-Terrón. (2016). Métodos económicos para la cuantificación de microorganismos. En Science Associated (Ed.), *Instituciones de Educación Superior. La labor investigadora e innovadora en México* (pp. 67-84). Science Associated Editors. <https://zenodo.org/records/5525235>
- Nabi, M. (2023). Role of microorganisms in plant nutrition and soli health. En T. Aftab and K. Rehman Hakeem (Eds.), *Sustanaible plant nutrition* (pp. 263-282). Academic Press. <https://acortar.link/e0NdyS>
- O´Farril, L. C. (2021). Transgénesis: una aproximación a sus riesgos y beneficios. *Acta Médica del Centro*, 15(1), 141-155. <https://acortar.link/jkREQ6>
- Olvera Larenas, R. A. (2024). *Determinación de las propiedades biológicas de suelos agrícolas erosionados en la zona CEDEGE, Cantón Babahoyo*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. Repositorio Institucional. <https://acortar.link/LZLSWR>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment. In *Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology* (Vol 10). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/62ed0e04-en>
- Oviedo-Bolaños, K., García-González, J., Solano-González, S., Martínez-Debat, C., Sancho Blanco, C., Umaña-Castro, R. (2020). Detección del promotor 35S mediante PCR tiempo-real: indicador de transgenicidad en alimentos y Gossypium sp. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 209-221. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37151>
- Padrón Padilla, A. y Extremera San Martin, D. (10 de noviembre de 2020). *Transgénicos en Cuba: El encuentro entre necesidad, ciencia y tecnología*. Cubadebate. <https://acortar.link/91OZeE>
- Peña Morales, D. I.; de la Cruz Elizondo, Y.; Ruelas-Monjardin, L. C. y Fontalvo-Buelvas, J. C. (2021). Evaluación de la calidad del suelo en agroecosistemas tropicales de Xalapa y Emiliano Zapata en el estado de Veracruz, México. *Suelos Ecuatoriales*, 51(1 y 2), 163-172 <https://acortar.link/yf28Xe>
- Rivero Ramos, L., Muñiz Ugarte, O., Fernández Casañas, J., Farradaz-Campos M., Arcia-Porrúa J. (2021). Línea Base para la obtención de Neutralidad en la Degradación de las Tierras en Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4), e06. <https://acortar.link/h09rHt>

- Rosabal Ayan, L., Macías Coutiño, P., Maza González, M., López Vázquez, R., Guevara Hernández, F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia UCEVA*; 1(1), 104–17. <https://acortar.link/2TUeuW>
- Soto, S. y Desamparados, M. (2018). *pH del suelo*. Universitat Politècnica de València. <https://acortar.link/Qj4K0r>
- Soto-Valenzuela, J.O., Álvarez-Vera, M.S., Vázquez Vásquez, J.E., Ricardo Ricardo, G.B. (Enero-abril 2024). Evaluación físico química y microbiológica del suelo en cultivos de *Musa paradisiaca* Cavendish y *Elaeis guineensis* Jac. Provincia de los Ríos. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 8(22), 110-125. <https://acortar.link/FjjTvj>
- Tello P., Lily D. y Vega R, Ruby A. (2015). Metodologías para determinar la retención de humedad y la densidad en el compost. *Anales Científicos*, 76(1), 186-192. <https://acortar.link/LXli1s>
- Zapata, M. y Eliécer, J. (2021). La revolución verde como revolución tecnocientífica: artificialización de las prácticas agrícolas y sus implicaciones. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 21(42), 175-204. <https://doi.org/10.18270/rcfc.v21i42.3477>
- Zerbino, M.S., Altier, N., Morón, A. y Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia Uruguay*, 12(1), 44-55. <https://acortar.link/opEqfh>

AGRADECIMIENTOS

Por su participación en el estudio el agradecimiento para: Janet Valdés Collado, Marvis Suarez Romero, Tanya Romay Fernández, Carlos Martínez Ruíz, Baltazar Pérez Cárdenas, Erlen Aguirre Peñalver, Vivian Prevot Cazón, Dianet Hernández Sainz. Al Proyecto internacional GEF PNUMA *Creación de capacidades adicionales en bioseguridad para la implementación del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología en Cuba*, por lo recursos para el desarrollo de la investigación.



GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao (*Theobroma cacao L.*) en la República Dominicana.

Impact of climate change on the cultivation of cocoa (Theobroma cacao L.) in the Dominican Republic.

Impacto das alterações climáticas no cultivo do cacau (Theobroma cacao L.) na República Dominicana.

Roblanda José

Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, República Dominicana
joser0174@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 5/5/2024

Aceptado: 12/12/2024

Publicado: 17/12/2024

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo conocer el impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao en la República Dominicana. Los métodos que se utilizaron fueron cuantitativo, cualitativo y de alcance correlacional. Se realizó análisis estadístico de tendencias en variables climáticas como: temperatura promedio anual, temperatura máxima promedio, temperatura mínima promedio, temperatura máxima extrema, temperatura mínima extrema, precipitación total anual, precipitación junio, julio; así como producción cacaotera anual, análisis de correlación entre variables climáticas temperatura, precipitación y variable producción, evaluación del comportamiento de las variables climáticas temperatura y precipitación y su variabilidad según percepción de los productores. Hubo tendencia significativa solamente en las variables temperatura mínima promedio y precipitación total anual. No hubo relación clara entre las variables climáticas analizadas, sus efectos y el cultivo, tampoco se encontraron diferencias significativas entre las variables climáticas estudiadas y la variable producción. Los productores consultados dijeron haber sido impactados negativamente por el cambio climático. La falta de diferencias significativas entre dichas variables podría deberse a otros factores de tipo edafológico, manejo del cultivo, resiliencia a las variables estudiadas y eventos climáticos extremos, que pudieron influir en la producción y que no fueron tomadas en consideración en esta investigación.

Palabras clave: atmósfera, eventos extremos, precipitación, producción agrícola, resiliencia, temperatura

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the impact of climate change on cocoa cultivation in the Dominican Republic. The methods used were quantitative, qualitative and correlational. A statistical analysis of trends was performed on climatic variables such as: average annual temperature, average maximum temperature, average minimum temperature, extreme maximum temperature, extreme minimum temperature, total annual precipitation, precipitation in June and July; as well as annual cocoa production, correlation analysis between climatic variables temperature, precipitation and production

variables, evaluation of the behavior of the climatic variables temperature and precipitation and their variability according to the perception of the producers. There was a significant trend only in the variables average minimum temperature and total annual precipitation. There was no clear relationship between the climatic variables analyzed, their effects and the crop, nor were significant differences found between the climatic variables studied and the production variable. The producers consulted said they had been negatively impacted by climate change. The lack of significant differences between these variables could be due to other soil factors, crop management, resilience to the variables studied and extreme weather events, which could have influenced production and were not taken into consideration in this research.

Keywords: agricultural production, atmosphere, extreme events, precipitation, resilience, temperature

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo compreender o impacto das mudanças climáticas no cultivo de cacau na República Dominicana. Os métodos utilizados foram quantitativos, qualitativos e correlacionais em escopo. Análise estatística de tendências de variáveis climáticas como: temperatura média anual, temperatura máxima média, temperatura mínima média, temperatura máxima extrema, temperatura mínima extrema, precipitação total anual, precipitação em junho e julho; bem como a produção anual de cacau, análise de correlação entre variáveis climáticas temperatura, precipitação e variáveis de produção, avaliação do comportamento das variáveis climáticas temperatura e precipitação e sua variabilidade segundo a percepção dos produtores. Houve tendência significativa apenas nas variáveis temperatura mínima média e precipitação total anual. Não houve relação clara entre as variáveis climáticas analisadas, seus efeitos e a cultura, nem foram encontradas diferenças significativas entre as variáveis climáticas estudadas e a variável de produção. Os produtores pesquisados disseram que foram impactados negativamente pelas mudanças climáticas. A ausência de diferenças significativas entre essas variáveis pode ser devida a outros fatores do solo, manejo da cultura, resiliência às variáveis estudadas e eventos climáticos extremos, que podem ter influenciado a produção e não foram levados em consideração nesta pesquisa.

Palavras-chave: atmosfera, eventos extremos, precipitação, produção agrícola, resiliência, temperatura

INTRODUCCIÓN

En la República Dominicana la población rural más pobre vive en áreas marginales y en condiciones que la hacen muy vulnerable a los impactos negativos del cambio climático. Para estas personas, aun los menores cambios en el clima pueden tener un impacto desastroso en sus vidas y medios de sustento. Las consecuencias pueden ser muy profundas para los agricultores de subsistencia ubicados en ambientes frágiles, donde se esperan grandes cambios en su productividad, pues estos agricultores dependen de cultivos como el cacao (*Theobroma cacao* L.), el café (*Coffea arabica* L.) y el arroz (*Oryza sativa* L.); los cuales son afectados y muy susceptibles a las variaciones de las temperaturas y las precipitaciones, específicamente en zonas donde la producción se desarrolla por seco o lluvias precipitadas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2018).

Los fenómenos climáticos extremos, como inundaciones y sequía, van en aumento y se calcula que su frecuencia y magnitud se incrementarán y probablemente afecten a todas las regiones del país en lo que respecta a la producción agrícola y pecuaria. En República Dominicana el cultivo del cacao, un pilar de la economía agrícola que genera empleos, divisas y una fuente significativa de ingresos para miles de

agricultores, está experimentando los efectos adversos de condiciones climáticas cambiantes, como el aumento de la temperatura media, la alteración de los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos (Ministerio de Agricultura, 2022).

Estos cambios no solo amenazan la producción y la calidad del cacao, sino también la sustentabilidad de los medios de vida de quienes dependen de este cultivo (Morales, 2021). Los agricultores han observado incidencias crecientes de plagas y enfermedades que anteriormente no eran comunes, también fluctuaciones en la producción en las últimas décadas a pesar de que se ha ido mejorando los materiales de siembra, renovando las plantaciones ya existentes, ampliando las zonas de siembra; varios autores apuntan a que el cambio climático puede ser la causa (Arcentales, 2019).

Dentro del contexto anterior, la investigación se enfocó en conocer el impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao en la República Dominicana. Aparte de conocer el impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao en el país, se plantea discutir los resultados en el contexto de la literatura científica de los últimos 30 años (1990-2020) en materia de los efectos del cambio climático con enfoque en variables climáticas como la temperatura y las precipitaciones, debido a que el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) es altamente sensible a las condiciones climáticas, requiriendo temperaturas y niveles de precipitación específicos para un crecimiento óptimo (Bunn y Castro-Llanos, 2019). Cambios en estas variables pueden afectar la calidad del cacao, la producción, el rendimiento y la salud del cultivo (Albiño, 2019). También fue de interés conocer la percepción de los productores locales de cacao sobre las variables climáticas estudiadas y su efecto sobre la producción de este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño metodológico que se utilizó en la investigación fue cuantitativo, cualitativo y de alcance correlacional. La muestra se obtuvo estadísticamente a través de método no aleatorio (no probabilístico), por cuota de conveniencia, tomando en consideración los siguientes criterios: disponibilidad, accesibilidad y factibilidad; de tal forma que la información resulte veraz (Berenson y Levine, 1996), con el fin de ahorrar tiempo y recursos. De 42.751 productores fueron elegidos 50 de todas las zonas productoras de cacao para conocer sus percepciones, sus opiniones sobre las posibles causas de las fluctuaciones en la producción del cultivo en el país, los efectos que tienen la disminución de la producción y la productividad de cacao en su calidad de vida, la importancia del cultivo, los cambios suscitados en el clima, los eventos extremos del clima como sequías prolongadas, lluvias intensas, olas de calor, ciclones, inundaciones, altas temperaturas y las variables climáticas que más influyen en la producción.

La muestra seleccionada, es decir, número de productores entrevistados fue suficiente para obtener resultados significativos debido a que esos productores fueron elegidos en los distintos municipios productores de cacao en el país para que sea una muestra representativa; la cual facilitó también la viabilidad de la investigación en término de tiempo y recursos. Entre otros criterios por los cuales se seleccionó este número de productores para la entrevista están las grandes dificultades que hay al momento de llegar a las residencias de ellos (pocos accesos, logísticas, carreteras, caminos vecinales en malas condiciones, largo tiempo de lluvias, desborde de ríos, arroyos, quebradas, larga distancia entre un productor a otro, etc.). Además de los criterios mencionados, otra razón de la selección de esta muestra es que no fue el foco de la investigación, fue solamente tomada para conocer percepción y opiniones sobre los cambios en el clima y sus impactos. La investigación se enfocó en las tendencias de variables climáticas como la temperatura, precipitación, además de producción cacaotera, y probables

correlaciones existentes entre las variables climáticas estudiadas y la producción. Por lo que resultaría inviable en término de tiempo y recursos elegir una mayor cantidad de productores para las entrevistas.

En esta investigación se tuvieron como fuentes primarias de información la revisión bibliográfica referente a estudios previos, publicaciones científicas, trabajos y tesis de grado e informes institucionales. El trabajo fue elaborado a partir de estas fuentes primarias, donde se consolida la teoría en el marco del análisis de numerosas fuentes. También se analizaron reportes del Estado relacionados al sector cacaotero y de las estaciones meteorológicas ubicadas en los distintos municipios productores de cacao del país. Como instrumentos se usaron entrevistas y encuestas a productores de cacao.

Se usó en esta investigación el análisis estadístico de tendencias de diferentes variables climáticas, así como de la producción cacaotera anual; además de la correlación entre variables climáticas (temperatura y precipitación) y la variable producción. También se evaluó el estado de las variables climáticas temperatura y precipitación y su variabilidad según la percepción de los productores. Los tipos de prueba fueron las pruebas no paramétricas, la prueba de tendencia de Mann-Kendall y el coeficiente de correlación de rangos ordenados rho de Spearman, con la finalidad de detectar tendencias en las variables climáticas estudiada, para una serie temporal de 30 años (1990-2020) y medir el grado de correlación.

Los datos obtenidos fueron procesados con ayuda del software TREND, versión 1.0.2, con la finalidad de facilitar las pruebas estadísticas de tendencias, cambio y aleatoriedad en los datos de series de tiempo. El software SPSS, versión 29.0, es una herramienta estadística utilizada a nivel mundial en el entorno académico, que permitió trabajar con bases de datos de gran tamaño, facilitando la recogida y organización de la información y la comprobación de la hipótesis del trabajo. Todo ello facilitó la toma de decisiones, permitiendo adoptar la mejor estrategia. También se usó la prueba de coeficiente de correlación de Spearman para poder medir las relaciones que existen entre las variables y el software XLSTAT, versión 2022.1, por ser una potente herramienta estadística que presenta diversas posibilidades para trabajar con datos, visualizarlos, explorarlos y analizarlos.

RESULTADOS

Tendencias de las variables climáticas

Tabla 1. Resumen del análisis estadístico de tendencias en variables climáticas seleccionadas.

Variables	Valor de	Resultados
	Z Estadística	(Significativo o No Significativo)
Temperatura promedio anual	1.035	No
Temperatura máxima promedio	-0.125	No
Temperatura mínima promedio	2.159	Si, Creciente
Temperatura máxima extrema	-0.303	No
Temperatura mínima extrema	1.873	No
Precipitación total anual	1.963	Si, Creciente
Precipitación junio	-0.535	No
Precipitación julio	0.785	No

Fuente: Software TREND.

Como puede observarse en la *tabla 1*, solo hubo tendencias significativas en las variables temperatura mínima promedio y precipitación total anual.

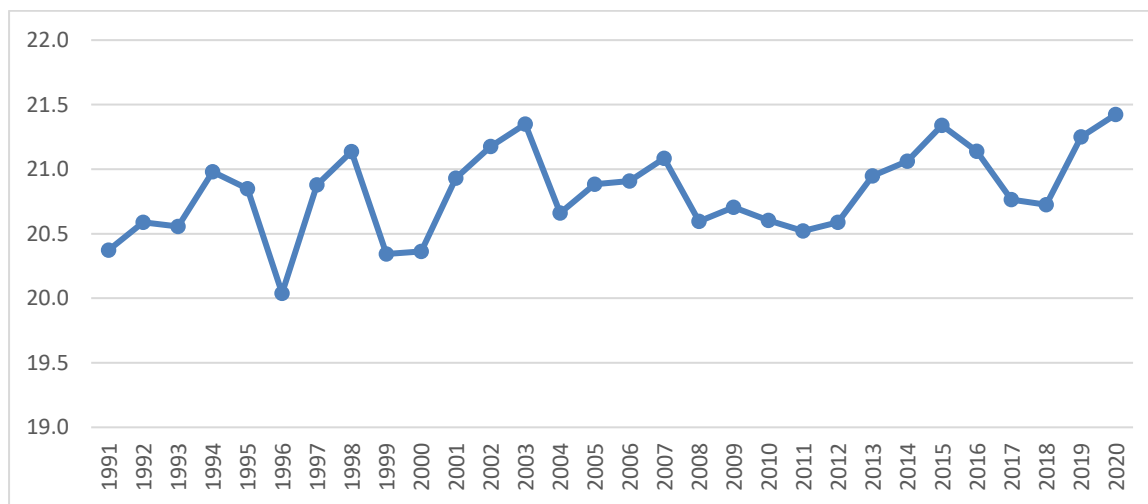
Tabla 2. Resultado del análisis estadístico de la tendencia en la variable temperatura mínima promedio.

S	: 122
Desviación estándar	: 56.051
Z- Estadística	: 2.159
Z Crítica	a = 0.05 1.96

Fuente: Software TREND.

Como puede observarse en la *tabla 2*, la estadística S en la cual está basada la prueba de Mann-Kendall, tiene un valor positivo muy elevado, lo que indica una tendencia ascendente. Siendo el resultado de Z mayor que 1.96 representa valor positivo, lo que indica también la existencia de una tendencia significativa creciente. Disminuciones en la temperatura por debajo de nivel adecuado, pueden causar anomalías en las plantas de cacao, afectando la fotosíntesis, la floración y el desarrollo de frutos. Temperaturas demasiado bajas pueden reducir la productividad o llevar a la caída de frutos y flores (Piña, 2019).

Figura 1. Fluctuaciones de la temperatura mínima promedio anual entre 1991 y 2020.



Fuente: Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana (2022).

En la *figura 1*, además de la tendencia, se presentan también las fluctuaciones de la temperatura mínima promedio a lo largo de la serie temporal. Siendo el año 2020 el año con mayor registro de temperatura mínima, con 21.4 °C y el año 1996 de menor registro de temperatura mínima, con 20.0 °C.

La variabilidad en la temperatura mínima puede influir en el proceso de maduración de los granos de cacao, afectando su contenido de grasa y otros compuestos que son cruciales para la elaboración de productos derivados del cacao (Nicholls y Altieri, 2019).

Tabla 3. Resultado del análisis estadístico de la tendencia en la variable precipitación total anual.

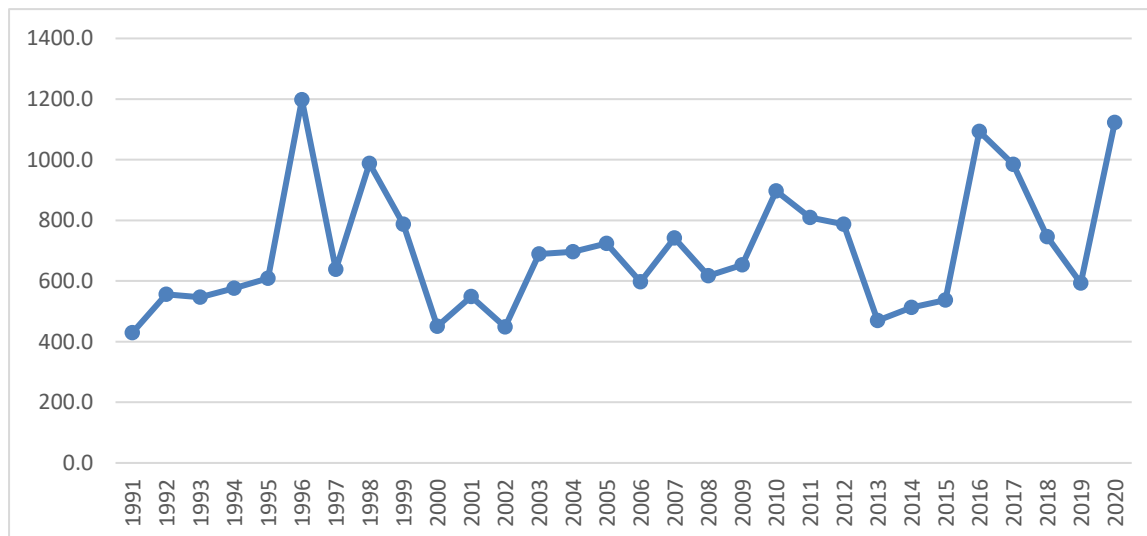
S	: 111
Desviación estándar	: 56.051
Z- Estadística	: 1.963
Z Crítica	a = 0.05 1.96

Fuente: Software TREND.

En la *tabla 3*, se muestra el valor estadístico S, en el cual se basa la prueba de Mann-Kendall, en este caso un valor positivo muy elevado, lo que significa una tendencia al alza. Siendo el resultado de Z mayor que 1.96, lo que indica también la existencia de una tendencia significativa creciente.

Un aumento en la precipitación total puede crear un ambiente más propicio para el desarrollo de enfermedades y plagas, como hongos y bacterias, que pueden provocar pérdidas en la producción (Albiño, 2019).

Figura 2. Fluctuaciones de la precipitación total anual entre 1991 y 2020.



Fuente: Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana (2022).

En la *figura 2*, además de la tendencia, se presentan también las variaciones de la precipitación total a lo largo de la serie temporal. Siendo el año 1996 el año con mayor registro de precipitación total, con 1,197.8 mm y el año 1991 de menor registro de precipitación total, con 429.6 mm.

Cambios significativos en la precipitación pueden provocar erosión del suelo, especialmente en áreas con pendientes. Esto puede afectar la salud general del suelo y la capacidad de retención de agua, lo cual es crucial para el cultivo del cacao (Ventura *et al.*, 2020).

Análisis de las tendencias en la producción cacaotera anual

Tabla 4. Prueba de tendencia de Mann-Kendall.

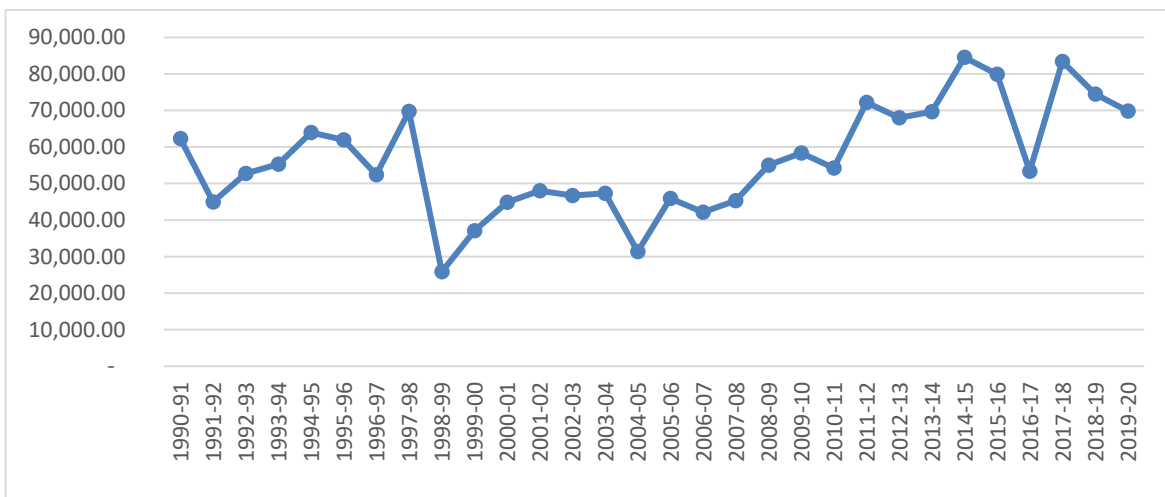
Tau de Kendall	0.369
S	150
Var(S)	2842 000
Valor-p (bilateral)	0.005
Alfa	0.05

Fuente: Software XLSTAT.

Interpretando la prueba, la hipótesis nula (H0) indica que no existe una tendencia en la serie y la hipótesis alternativa (Ha) indica que hay una tendencia en la serie. Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula, y aceptar la hipótesis alternativa. Es decir, existió una tendencia en la serie.

Una tendencia creciente en la producción de cacao puede tener un impacto positivo en la economía local, generando ingresos adicionales para los agricultores y contribuyendo al desarrollo rural, sin embargo, una tendencia a la baja podría indicar problemas económicos y de sostenibilidad para los productores (Ministerio de Agricultura, 2022).

Figura 3. Producción de cacao en grano en toneladas métricas en la República Dominicana 1990-2020.



Fuente: Ministerio de Agricultura de la República Dominicana (2022).

La producción de cacao en grano en toneladas métricas en la República Dominicana durante el período 1990-2020 presentó varios años de crecimiento (1992-1995, 1999-2004, 2007-2010) y años en los que cayó la producción (1998-1999, 2004-2005, 2016-2017). La caída en la producción pudo ser por fenómenos climáticos, como ocurrió en el año 1998 con el huracán George, donde la producción cayó a su nivel más bajo (25.861,40 toneladas métricas), ocurrió también en los años 2016-2017 con una sequía prolongada cuya producción fue de solo 53.394,80 toneladas métricas, pero con una tendencia positiva a lo largo de la serie temporal (Ministerio de Agricultura, 2022).

Un aumento en la producción puede estar asociado con prácticas agrícolas sostenibles, por ejemplo, podría implicar una mejor gestión de los recursos, conservación del suelo y de la biodiversidad, así como una mejor huella ecológica. También puede atraer inversiones en infraestructuras, tecnologías y capacitación para los agricultores, lo que puede resultar en prácticas más eficientes y productivas (Ministerio de Agricultura, 2022).

Análisis de correlación entre variables climáticas temperatura, precipitación y variable producción

Tabla 5. Resumen del análisis estadístico de correlación entre variables.

Variables	Coefficiente de Correlación (r)	Nivel de Significancia (p)	Alfa (α)	Resultados (existencia de correlación significativa o no)
Temperatura promedio anual	0.202	0.284	0.05	NO
Temperatura máxima promedio	0.084	0.659	0.05	NO
Temperatura mínima promedio	0.329	0.075	0.05	NO
Temperatura máxima extrema	0.176	0.354	0.05	NO
Temperatura mínima extrema	0.412	0.024	0.05	NO
Precipitación total anual	0.161	0.395	0.05	NO
Precipitación junio	-0.089	0.639	0.05	NO
Precipitación julio	0.153	0.419	0.05	NO

Fuente: Software SPSS.

Como se observa en la *tabla 5*, los análisis de correlación entre las variables climáticas temperatura y precipitación y la variable producción anual de cacao no mostraron ningún resultado significativo. Como se ha mencionado anteriormente, esta falta de diferencias significativas entre dichas variables podría deberse a otros factores como los edafológicos, manejo del cultivo, su resiliencia a las variables estudiadas y eventos climáticos extremos que pudieron influir en la producción y que no fueron tomados en cuenta en esta investigación.

Evaluación del estado de las variables climáticas temperatura y precipitación y su variabilidad según la percepción de los productores

La percepción sobre el estado de las variables climáticas estudiadas y los cambios del clima fue evaluada en base a diversas preguntas mediante encuesta y entrevista como se ha explicado en la metodología. Las preguntas y un resumen de las respuestas se detallan a continuación.

Pregunta 1: ¿Tomando en cuenta los años de su residencia en la zona, ha presenciado algún cambio, eventos extremos del clima como, por ejemplo, sequías prolongadas, precipitaciones intensas, olas de calor, ciclones o inundaciones en los últimos años?

Respuestas: Todos los productores consultados, dijeron haber presenciado cambios y eventos extremos del clima, como olas de calor, sequías prolongadas, lluvias intensas, ciclones e inundaciones.

Pregunta 2: ¿Usted considera que esos eventos extremos del clima tienen algún impacto sobre el cultivo del cacao, la producción y el rendimiento en su comunidad y en otras zonas en los últimos años? De ser sí ¿Cuáles son?

Respuestas: Todos los productores consultados consideraron que esos eventos extremos del clima impactan negativamente sobre la producción, también manifiestan haber observado esos impactos negativos en otras zonas productoras de cacao. La disminución de la producción y la productividad, el bajo rendimiento, es decir, la disminución del peso de la almendra del cacao fueron los impactos referidos con mayor frecuencia por los productores.

Pregunta 3: ¿Además de mencionar los eventos extremos del clima como posibles causantes de las fluctuaciones en la producción del cultivo del cacao ¿qué otros factores pueden mencionar?

Respuestas: La mayoría de los productores consultados mencionaron con más frecuencia a las plagas y enfermedades, el uso de agroquímicos y el buen precio como factores causantes de las fluctuaciones en la producción.

Pregunta 4: ¿Según usted cuáles son y cómo operan las variables ambientales que más influyen en la producción del cacao?

Respuestas: Todos los productores consultados mencionaron con mayor frecuencia a la temperatura y la precipitación como las variables ambientales que más influyen en la producción.

Pregunta 5: ¿Según usted qué impactos tienen las fluctuaciones en la producción de cacao en el país?

Respuestas: Todos los productores consultados refirieron con mayor frecuencia los siguientes impactos: disminución de sus ingresos, ubicación de otras fuentes de empleos, escasez de alimentos, y disminución de su calidad de vida.

Las respuestas de los productores encuestados o entrevistados son importantes, pero quedaron en el plano de lo hipotético. No corroboran en los resultados de la investigación los criterios emitidos por ellos.

DISCUSIÓN

La discusión se centra en las variables climáticas temperatura, precipitación y su impacto sobre la producción de cacao que es el interés principal de la investigación. El criterio utilizado para incluir la precipitación junio y julio es que estos meses son de altas precipitaciones en el país. Con relación a las tendencias de las variables climáticas estudiadas, el análisis estadístico de tendencias indicó que solo hubo tendencias significativas en las variables temperatura mínima promedio y precipitación total anual. El cacao es un cultivo muy susceptible a las variaciones de las temperaturas y a las precipitaciones, una

disminución de temperatura mínima por debajo del nivel adecuado y un aumento de precipitación por encima del nivel óptimo implica anomalía en los procesos fisiológicos del cultivo y baja producción.

Respecto a las tendencias en la producción cacaotera anual, el análisis estadístico indicó la existencia de una tendencia significativa en la serie, también se observan varios años de caídas y de fluctuaciones en la producción que fueron provocadas por eventos climáticos extremos como el devastador huracán George de 1998. Los resultados encontrados por Arcentales (2019) en su investigación titulada *“Variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la región costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático”* coinciden las caídas en la producción con la ocurrencia de fenómenos climáticos y otros factores como las plagas y las enfermedades.

Uno de los principales problemas que enfrentan los productores de cacao en República Dominicana son los bajos niveles de productividad de sus predios; requiriéndose la inversión significativa de recursos para mejorar sus plantaciones. Un incremento sostenido en la producción de este rubro impactaría de manera significativa en su calidad de vida y de sus familias.

Con relación a la correlación entre las variables climáticas estudiadas y la producción, el análisis estadístico no mostró relación significativa entre ellas. Hay otros factores que también influyen en la producción de cacao, como el manejo del cultivo, las plagas y enfermedades, la asesoría a productores, la resiliencia a las variables estudiadas, los que no fueron analizados en esta investigación. Altamirano (2012) en su investigación titulada *“Propuestas de adaptación de la producción de cacao en Waslala, Nicaragua ante el cambio climático”* tampoco encontró una relación clara entre las variables climática temperatura y precipitación con la producción.

Con referencia al estado de las variables climáticas temperatura y precipitación y su variabilidad según la percepción de los productores, la totalidad de los productores entrevistados dijeron que sí han presenciado cambios y eventos extremos del clima y que dichos cambios y eventos climáticos impactan negativamente sobre el cultivo y la producción. Contrario a lo expresado por los productores, el análisis de correlación entre las variables analizadas y la producción no mostró relación significativa. Sus opiniones son interesantes, pero quedaron en el marco hipotético.

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta el objetivo y el enfoque de la investigación, el análisis estadístico de tendencias indicó que solo hubo tendencias significativas en las variables climáticas temperatura mínima promedio y precipitación total anual. También indicó la existencia de una tendencia creciente en la producción cacaotera anual en la serie.

No se encontraron relaciones claras entre las variables climáticas estudiadas, sus efectos y el cultivo del cacao, tampoco se encontraron correlaciones entre las variables climáticas temperatura, precipitación y la producción de cacao en la República Dominicana.

Hay alteraciones fisiológicas del cultivo y fluctuaciones en la producción que pueden explicarse por efectos de fenómenos climáticos y otras por factores como manejo y prácticas de cultivo, sistemas de producción, selección de germoplasma adaptado al clima local, factores edáficos, incentivos, entre otros.

Como aportaciones e implicaciones, esta investigación presenta el impacto del cambio climático no solo sobre el cultivo y la producción de cacao sino sobre las zonas rurales productoras de cacao. Identifica

vulnerabilidades del cultivo de cacao frente a variables climáticas como la temperatura y la precipitación, así como ante fenómenos extremos. Presenta como el cambio climático puede afectar la sostenibilidad del cultivo del cacao y las implicaciones para las comunidades locales. Compara los hallazgos con investigaciones similares en otros países productores de cacao y como han abordado sus propios desafíos climáticos, ofreciendo una perspectiva global sobre el problema. Aborda aspectos de sostenibilidad en la producción de cacao. Estas aportaciones contribuirán al conocimiento y a la práctica en el ámbito agrícola, específicamente en lo que respecta al cultivo del cacao en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albiño, J. (2019). *Influencia del cambio climático en la producción de los cultivos de cacao en el cantón Shushufindi* [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://acortar.link/ghSPrR>
- Altamirano, M. (2012). *Propuestas de adaptación de la producción de cacao en Waslala, Nicaragua ante el cambio climático* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://acortar.link/VWV4n6>
- Arcentales, E. (2019). *Variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la región costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador] <https://acortar.link/c6bZBr>
- Berenson, M. y Levine, D. (1996). *Estadística básica en administración: Conceptos y aplicaciones (6ª Edición)*. Prentice Hall.
- Bunn, Ch. y Castro-Llanos, F. (2019). *Impacto del cambio climático en la producción de cacao para Centroamérica y el Caribe*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://acortar.link/4ejJOq>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *Café y cambio climático en la República Dominicana Impactos potenciales y opciones de respuesta*. <https://acortar.link/ZMwxE1>
- Ministerio de Agricultura. (2022). *Comportamiento de la producción, exportación, consumo interno y divisas generadas*. División de Comercialización, Departamento del cacao. <https://acortar.link/jjPAKb>
- Morales, K. (2021). *El cambio climático y su relación con la fitopatología: Revisión de literatura* [Tesis de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras]. <https://acortar.link/O95BHN>
- Nicholls, C. y Altieri, M. (2019). Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(1), S55-S61. <https://acortar.link/ouBmHw>
- Oficina Nacional de Meteorología. (2022). *Variables climáticas Normales (°C)*. Departamento de climatología, División de procesamiento de datos <https://acortar.link/pVmbHv>
- Piña, C. E. (2019). Cambio climático, inseguridad alimentaria y obesidad infantil. *Revista Cubana de Salud Pública*, 45(3) 1-18. <https://acortar.link/Zz9za1>
- Ventura, M., María, A., González, J., De la Cruz, J. y Rodríguez, O. (2020). *Cacao: Guía técnica para su mejoramiento y productividad en la República Dominicana. 2ª Edición*. Editorial CONIAF.



GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

Hidden costs of water retained for avocado production in Mexico.

Costos ocultos del agua retenida para producción de aguacate en México.

Custos ocultos da água retida para produção de abacate no México.

Carlos Francisco Ortiz-Paniagua, Gerardo Ruiz-Sevilla
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
México

carlos.ortiz@umich.mx

Artículo científico

Recibido: 25/04/2024

Aceptado: 01/11/2024

Publicado: 18/11/2024

ABSTRACT

Tancítaro accounts for 15% of the total avocado production in Michoacán, Mexico, establishing it as the municipality that produces and exports the highest quantity of avocados globally. However, the construction of water dams (pots), fed by precipitation, rivers, springs, and wells predominantly for the irrigation of avocado orchards, significantly influences local ecosystems. Given that this water primarily originates from rainfall, it is considered freely accessible and is thus excluded from the production costs. Nonetheless, in a hypothetical scenario where this water is not to be quantified, the question arises regarding the financial implications of the retained water. This study aimed to estimate the volume of water retained and ascertain its associated cost. The methodology employed Geographic Information Systems and the development of a script in RStudio to compute the water volume and then estimate its economic value through opportunity cost scenarios. The results indicated that the cost of water constitutes approximately 50% of the total income generated from the cultivation of the irrigated area. These costs, however, remain hidden, as the price competitiveness of avocado cultivation may be jeopardized when such factors are considered.

Keywords: agricultural exports, economic valuation of water, Geographic Information Systems, water dams

RESUMEN

Tancítaro aporta el 15% de la producción total de aguacate del estado de Michoacán (México), esto lo convierte en el municipio que más produce y exporta aguacate del mundo. Sin embargo, la construcción de represas de agua (hoyas de agua), que son llenadas a partir de precipitaciones, ríos, manantiales y pozos; cuyo propósito es el regadío de los huertos de aguacate impactan significativamente en los ecosistemas locales. Por ser agua proveniente principalmente de la lluvia, se considera como de libre acceso. Por lo tanto, no se incorpora en los costos de producción, sin embargo, en caso hipotético de que se cuantificara ¿Cuál sería el costo del agua retenida? El objetivo de la presente investigación fue estimar el volumen de agua que se retiene y estimar su costo. La metodología consideró los Sistemas de Información Geográfica y la confección de un "script" en RStudio para calcular el volumen de agua y posterior a ello, se estimó el valor económico a través de escenarios de costo de oportunidad. Los resultados revelaron que el costo del agua representa cerca de 50% de los ingresos totales del cultivo de la superficie de riego, de manera que estos costos se ocultan, ya que de tomarse en cuenta la competitividad por precio del cultivo de aguacate podría verse afectada.

Palabras clave: exportaciones agrícolas, hoyas de agua, Sistemas de Información Geográfica, valoración económica del agua

RESUMO

Tancítaro contribui com 15% da produção total de abacate do estado de Michoacán (México), o que o torna o município que mais produz e exporta abacate no mundo. Porém, a construção de barragens de água (bacias hidrográficas) que são abastecidas a partir de: precipitações, rios, nascentes e poços. Seu objetivo é irrigar pomares de abacate, o que impacta significativamente os ecossistemas locais. Como a água provém principalmente da chuva, é considerada de livre acesso. Portanto, não está incorporado aos custos de produção, porém, no caso hipotético de que fosse quantificado, qual seria o custo da água retida? O objetivo deste estudo foi estimar o volume de água retido e estimar seu custo. A metodologia utilizou Sistemas de Informação Geográfica e a elaboração de um “roteiro” no RStudio, para calcular o volume de água e, em seguida, estimou-se o valor econômico através de cenários de custos de oportunidade. Os resultados revelaram que o custo da água representa perto de 50% do rendimento total do cultivo superficial de irrigação, pelo que estes custos ficam ocultos, pois se for tida em conta a competitividade de preços da cultura do abacate, esta poderá ser afetada.

Palavras chave: exportações agrícolas, potes de água, Sistemas de Informação Geográfica, valorização econômica da água

INTRODUCTION

Approximately 46% of the planet's livable land is dedicated to the agriculture Food and Agriculture Organization (2023), this activity contributes to the economy by generating jobs in society, as well as to human life and food. However, it also generates impacts on the natural environment and ecosystems (Arisoy, 2020). The market system promotes the competitiveness of the global agricultural sector, resulting in the practice of different strategies from differentiation, organic production, comparative advantages, and competitive advantages to maintain and increase its market (Ueasangkomsate et al., 2018). However, some factors are driving the competitiveness of organic agriculture, such as subsidies (Kujala et al., 2022). This situation has reconfigured production systems, focusing supply on external markets and seeking greater profitability, while supply focuses on highly productive regions (Badgley et al., 2007).

This has led to a growing and intense global competitiveness, which in most cases is detrimental to the well-being of the population and the deterioration of ecosystems; this is the hidden face of competitiveness, which is not only seen in the primary sector but also other sectors, such as textile production (Wardhani and Nugraheni, 2019). Some studies found that avocados have a water footprint estimated at 849 m³ of water consumption per ton (Sommaruga and Eldridge, 2021). Although there are economic benefits to the avocado industry, there are negative impacts on biodiversity, hydrological systems, and forest fragmentation due to the expansion of avocado production frontiers and the virtual water from countries with chronic water stress toward more water-rich regions (Caro et al., 2021; Denvir et al., 2021). In this sense, agriculture has been encouraged by the growing world population, the efficiency of transport systems, and the connectivity of supply chains (Sánchez et al., 2021). The crops of high demand and price stand out, including the Mexican avocado (*Persea americana* var. Hass) (Sibulali, 2020).

Since the end of 2022, a significant decrease in the price of the avocado began due to the increase in world production (Chaparro and Janzen, 2022) and the characteristics of the value chain, such as modular and hierarchical governance in imitation learning between participants (Reyes-Gómez et al., 2023) maintaining an organization, institutional articulation, and cooperation that has been

consolidated over 20 years, in this regard, Mexico stands as the foremost producer of avocados, contributing up to 45% of the global market and The avocado from Michoacan contributes 90% of national exports. (Cruz-López et al., 2022; Olivares-Martínez et al., 2023). In the year 2022, the cultivated area accounted for 70.6% of the national total, yielding a production of 672,149 tons, which constitutes 88% of the national total. SIAP, [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera] 2022. The fruit is produced under intensive production systems, which use large amounts of water, agrochemicals, and expansion of cultivation to forest areas through deforestation, which is unsustainable (Denvir et al., 2021; Cho et al., 2021). Of avocado agriculture in Michoacán, 63% of the surface is temporary, and 37% has irrigation (SIAP, 2023).

Of the total area that Michoacán allocates to avocado, Tancítaro represents 19% (SIAP, 2023). The irrigation area is 15%, and the rest is temporary (85%) (SIAP, 2022); however, these data do not report irrigation with dams; it is assumed there is a larger irrigation area, as demonstrated in this article. Avocado growers have significantly increased their use of dams to retain rainwater, a freely available resource without ownership boundaries. One of the transcendent aspects of damming water is that, in the last ten years, they have altered the hydrogeographic system of the basin (Ruíz-Sevilla and Ortiz-Paniagua, 2021). There is a lack of understanding regarding how water is retained in dams, the ecological processes involved, and the significance of this retention. The importance of this study lies in estimating the volume of water and its economic value under specific assumptions. However, the ecological implications of this process still require further research.

Avocado production has been associated with significant water conflicts and negative environmental and socio-economic impacts on local communities in the main production areas. Authorities, policymakers, and small producers must project future water scarcity to evaluate the critical capacity and optimal levels of avocado production (Sommaruga and Eldridge, 2021). So, ignoring the amount of water that is used and will be used in the future for avocado exports constitutes a risk for the regional economy (Caro et al., 2021). Water, an indispensable resource for ecological and socio-economic systems, provides ecosystem services based on its different uses and can be classified into intermediate or final services (Fisher & Turner, 2008; Gain et al., 2021). The efficient management of water is crucial for achieving water security. Ecosystems' well-being depends on how water is managed for agriculture, presenting a significant social challenge across various scales (Mishra, et al., 2021).

Conceiving water from this perspective, there are elements to attribute an economic value, which would otherwise remain hidden when considering it as a free input, as well as to decide the appropriate policies to achieve this objective and monitor the available indicators (Labandeira et al., 2007). So, it seeks to integrate a scheme with a vision of supply and demand, quantity and quality that considers these ecosystem services' economic and social valuation to design incentives that promote regional sustainability based on information (Escobar and Gómez, 2007). Economic valuation identifies whether the prices in the market are subsidized or covered by the producers (Martínez-Luna et al., 2021). This reveals the existence of hidden costs, which do not incentivize the farmer's competitiveness.

Implications of Avocado Production

Water is, in many regions of the world, a scarce and precious resource; efficient management and allocation must be incorporated into the study of rational decisions to promote efficient use both physically and economically because there is rarely clarity in this relationship in agricultural irrigation systems (Cai et al., 2003) At the same time, a correlation between farming areas and water reduction in China has been discovered a redistribution of water attributable to agricultural management (Zhongwei et al., 2024). In this way, the cost of water as an input is not part of the production cost

structure. Therefore, market signals are incomplete; knowing this water cost requires indirect estimates (Pulido-Velázquez et al., 2014). In addition, the estimated cost does not necessarily consider the opportunity costs of use; even ignoring deficit irrigation can lead to a significant underestimation of crop profitability and water rates and incentives for savings. Some studies do not incorporate deficit irrigation, demonstrating a more inelastic demand for water for irrigation (Sapino et al., 2022). Pots used for irrigation in the study region would have an analogous effect.

In Tancítaro and the avocado-producing region, the socioeconomic, physical, and ecological effects of avocado production can be appreciated. On the one hand, land use change has advanced significantly, and with it, erosion, landscape modification, reduction of biodiversity and soil chemical properties (Denvir et al., 2021; Pérez-Solache et al., 2023; Vega-Agavo et al., 2021), illegal logging, conflicts in land ownership, deforestation to inadequate and socially marginalized areas, undermining livelihoods and increasing their vulnerability to climatic events (Ramírez-Mejía et al., 2022) and crop changeover (Bachmann-Fuentes, 2021). It has also increased the use of agrochemicals for cultivation, eliminating beneficial organisms for the soil and the plant itself (Pérez-Solache et al., 2023; Gutierrez et al., 2015) in addition to increasing the pollution and eutrophication of water bodies and increasing diseases in communities that depend on water that has been contaminated (Hernández-Morales et al., 2014).

The production of avocados involves a water footprint, which represents the volume of water used per unit of product and has a significant environmental impact on the water sector (Hoekstra et al., 2011). In the area near Tancítaro, specifically in Ziracuaretiro, the water footprint for rainfed avocado cultivation has been estimated at 839.03 m³ per ton. At the same time, irrigation increases to 2,355.80 m³ per ton, resulting in an average of 1,597.41 m³ per ton. These figures indicate that the water usage in this region is 1.5 times higher than the global average water footprint (Fuerte-Velázquez and Gómez-Tagle, 2024).

Regarding socioeconomic aspects, avocado cultivation in the Tancítaro region has promoted the growth of criminal cells that provide "protection" in the illegal logging of the forest, forcing the session of land rights and burning large tracts of forest (Ávila, 2014) as well as rent seekers who extort avocado producers or sellers (Aguirre and Gómez, 2020). This is reflected in social conflicts and insecurity that are mainly due to the economic diversification of the drug cartels, which have found avocado production a permanent and secure source of income. This situation has increased violence because the purpose is to control the avocado zone (Linthicum, 2019). If this is not paid attention to, the water balance can lead to a lack of guarantee for the water supply in the future, which can be exacerbated by climate change (Figuerola et al., 2023).

In Michoacán, notable examples of forest governance emerge, which, owing to the active participation of the community, have effectively mitigated the encroachment of external groups. This has facilitated a more sustainable management of the forest. Although there is potential for avocado cultivation, the community continues to prioritize forest management, partly due to the recognition that a transition from forest to avocado production may engender internal divisions within the community (Rosales et al., 2023; Castro et al., 2012; Juarez, 2024). Concurrently, the region is becoming increasingly vulnerable due to its significant dependence on revenue generated by the avocado industry. Consequently, there is an urgent need for economic diversification, and alterations in agro-industrial avocado production should be earnestly contemplated by both regional and federal governments, as well as by society at large (De la Vega-Rivera and Merino-Pérez, 2021).

Regarding socioeconomic aspects, avocado cultivation in the Tancítaro region has promoted the growth of criminal cells that provide "protection" in the illegal logging of the forest, forcing the session of land rights and burning large tracts of forest (Ávila, 2014) As well as rent seekers who

extort avocado producers or sellers (Aguirre and Gómez, 2020). This is reflected in social conflicts and insecurity that are mainly due to the economic diversification of the drug cartels, which have found avocado production a permanent and secure source of income. This situation has increased violence because the purpose is to control the avocado zone (Linthicum, 2019). Michoacán represents a distinct case; however, the production of avocados has resulted in social conflicts and considerable environmental consequences in Salamina, Colombia. Although it has emerged as a substantial economic driver, it has simultaneously intensified social grievances and inequalities within local communities (Suárez, 2024). Likewise, comparable outcomes are observed in the hyper-arid coastal regions of Peru; however, the situation is more critical concerning water availability and the extension of avocado agriculture. (Esteve-Llorens et al., 2022).

The expansion of avocado cultivation has implied greater water consumption, and the strategy followed by producers is to dam it. How much water is dammed for irrigation of avocado production in Tancítaro, Michoacán? What is the competitive advantage in terms of production costs granted by damming such water? Knowing this volume is crucial because it allows us to measure the phenomenon, its possible ecological implications (water scarcity for the environment), and social (latent conflicts). At the same time, it allows us to identify the hidden costs of water as an input and its contribution to competitiveness by estimating hidden costs. The estimation and internalization of hidden costs (social and ecological) are fundamental processes to promote sustainable agriculture (He et al., 2021).

The uneven water storage has caused tension within the communities, leading to conflicts between residents and the growers. During the last dry season, organized community members dismantled multiple water reservoirs constructed to irrigate avocado orchards in the Salvador Escalante and Villa Madero municipalities. This was in response to the severe water scarcity experienced in the region (Solís, 2024).

Water for irrigation represents 72% of world freshwater extractions and constitutes an ecosystem service, and the allocation of economic value to this depends on five factors: quality, location, reliability of access, time of availability, and quantity (Koo-Oshima et al., 2024). Externalities on use must also be considered (Labandeira et al., 2007) and its taxonomy as scale, assignability, enforceability, and tradeability of property rights (Paniagua and Rayamajhee, 2020). This sense of water for the ecosystem or environment is not contemplated when the flow is diverted or hoarded in cisterns. Posing any of these circumstances as a problem, the economic value of the water ecosystem service offers a perspective to design management strategies and instruments as incentives for rational and efficient use in the agricultural sector. Water offers several ecosystem services and constitutes a drill to total services. An important study by Costanza et al., (1997) estimated the annual value of ecosystem services at US \$54 trillion (10^{12}).

The present research has two sequential objectives: 1) to estimate the volume of water retained for avocado irrigation and, from the results, 2) to assess the cost of this water as an input. The hypothesis is that the water retained by not being considered in the costs of avocado production as an input gives a competitive advantage reflected in the gross income and is significant for the producers of Tancítaro. The article is organized as follows: first, it addresses physiographic aspects and characteristics of the study area, then continues with theoretical elements and the state of the art in water, environmental economics, and competitiveness. Next, the methodology to achieve the objectives is addressed to show the study's results, discussion, and conclusions.

METHODS, TECHNIQUES, AND INSTRUMENTS

Geographical delimitation of the study area

The environmental characteristics of the municipality make the cultivation of avocado in this region one of the most successful crops, being the combination of physical and environmental factors that determine the potentiality of an area for a given plant species so that the agroclimatic characterizations that play a determining role in planning activities and decision-making for the implementation of agricultural programs (Garrido-Ramírez, 2018). Tancítaro is part of the well-known "avocado strip," an agroecological zoning with similar characteristics related to its suitability and potential to produce hass avocado covering other municipalities.

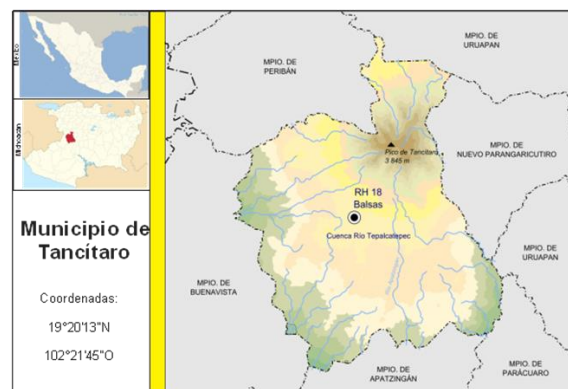
Tancítaro is supplied by 16 basins that make up the Pico de Tancítaro, and these depend on the population, see Figure 1 (Fuentes-Junco, 2011, p. 33). This municipality is located between the minimum UTM coordinates: X = 762557.59 and Y = 2122112.02 and maximum: X = 795089.85 and Y = 2162107.23, has a minimum altitude of 820 MAMSL and a maximum of 3,840 MAMSL. It comprises an area of 715,056 km² (71,505.68 ha), representing 1.22% of the state's total and a population of 29,414 inhabitants (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015).

At the highest municipal elevation lies the Tancítaro Peak, established as Flora and Fauna Protection Area, (forward FPPA), recognized as an area of importance for the conservation of birds (AICA number C05) and Priority Terrestrial Region number 114 (RTP-114). A place where there are forests of high-altitude pine, oyamels, oaks, pines of various species, and pastures, as well as temporary agriculture in the low areas. It is also considered the most critical avocado-producing area in the country. It is part of the so-called "Avocado Strip," whose forms of agricultural production demand a large amount of water (Fuentes-Junco, 2011).

This FPPA covers the municipalities of Tancítaro, Periban de Ramos, Nuevo Parangaricutiro, and Uruapan, decreed as national parks on July 27, 1940. It is currently under the category of "Flora and Fauna Protection Area (FFPA)", since August 19, 2009, management to the National Commission of Protected Natural Areas (CONANP Spanish abbreviation) Region: West and Central Pacific and has a total area of 23,405.92 ha (234.0592 km²) (DOF [Diario Oficial de la Federación], 2013). Various pines, oaks, cedars, and firs represent the vegetation. At the same time, several mammals, birds, amphibians, and various endemic species are in the fauna (CONANP, 2022). The agro-climatic and physical characteristics of the study area have supported the successful production of avocados in this important area.

The combination of these environmental factors has resulted in the capture of water, which, as an ecosystem service in the region, has generated the conditions that have allowed for enhanced avocado production. Avocado cultivation is one of the most successful in the world because of its high profitability.

Figure 1. Geographic location of Tancítaro, Mexico.



Source: Own elaboration based on INEGI (2014 and 2015).

Construction of dam map to store water in Tancitaro

A base map was built in UTM coordinates with a Transverse Mercator Projection located in zone thirteen, WGS_1984_UTM_Zone_13N, to count the dams that dam water in the municipality. From the vector data, the primary inputs were formed: a TIN (Irregular Networks of Triangles) and a Digital Elevation Model (DEM) that used altimetric information, scale 1:50,000, with a resolution of 10x10m/cell (Cell Size X, Y).

To determine the number of dams, a base map was made with the location and dimensions of the dams (dams) by visual interpretation of satellite images initially using Google Earth Pro V. 7.3.3.7721 (64-bit) software that uses Google Earth Image images [Google Earth Pro (2021) CNES/Airbus 2020 and Maxar Technologies 2020] before coupling of the municipal boundary and digitized under a grid of 1 x 1 km, This was done at an eye height of between 65.61 km to 500 m to obtain the highest possible resolution. The reservoirs detected for surface and rainwater collection (dams or pots) were digitized with these elements. This program allows the 3D visualization of physical features in the territory and provides advanced tools for measuring distances and areas. It also allows you to couple and visualize your data with base cartography, supporting three-dimensional geospatial data through files with *kml* extension.

The vector data that were used to couple to the satellite image were obtained from the charts E13B28, E13B29, E13B38, E13B39, E13B48, and E13B49 of the (INEGI, 2014) scale 1:50,000 representing the main features such as localities, springs, primary runoff, and altitudinal data. This procedure allowed locating the most significant number of dams up to 3.5m x 3.5m (12.25 m²) near the localities and communication routes, in addition to the better observance of them and thus their subsequent export to ArcGIS 10.5 (McGwire et al., 1996; Haynes, 2020). Then, a new project was carried out within the ArcGIS 10.5 software, configured with the coordinates of the area, and the native Google Earth file (*.kml) was imported. With it, attributes were assigned to the tables, providing information on areas, perimeters, and centroids for use (Alonso, 2015).

Once digitized, they were classified according to the surface, considering the construction specifications of water dams referred to in the technical sheets of Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]) (SAGARPA, 2017a and SAGARPA, 2017b). In this way, the volume estimation was carried out according to the formula presented by the (United States Department of Agriculture, 1997) and the script formulation described in the software. "RStudio"¹; using next formula: $V=(A+B+C) * D$ (1).

Where:

V = Excavation volume

A = Excavation area at surface level

B = Excavation area at half the depth

C = Excavation area at maximum depth

D = Maximum depth

Once the surfaces and sizes were identified, a classification was made by ranges in six classes ranging from 12 m² to more than 10 000 m².

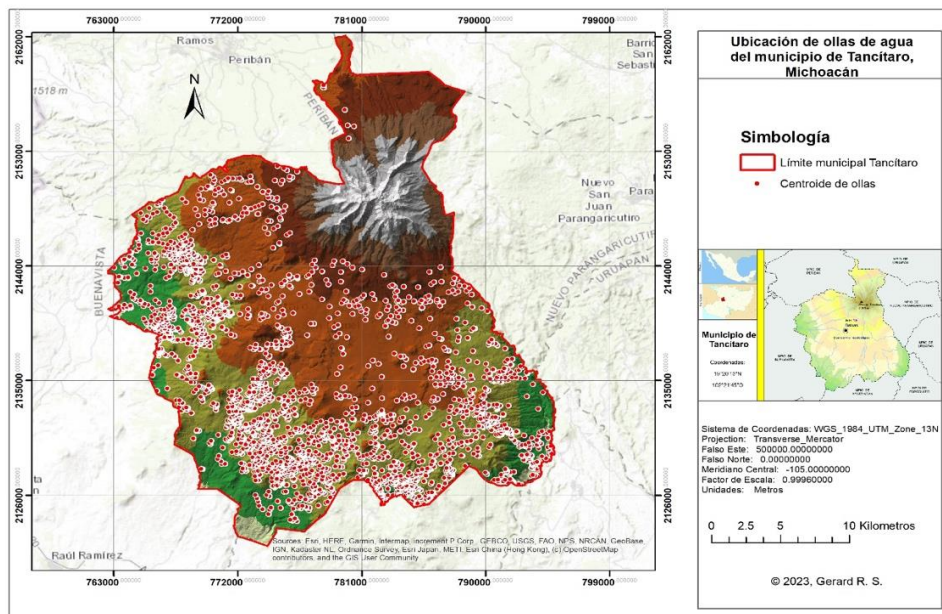
¹ Details about script: RStudio 2024.04.2+764 "Chocolate Cosmos" Release (e4392fc9ddc21961fd1d0efd47484b43f07a4177, 2024-06-05) for Windows. zilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) RStudio/2024.04.2+764 Chrome/120.0.6099.291 Electron/28.3.1 Safari/537.36, Quarto 1.4. 555.RS.

RESULTS AND DISCUSSION

Estimation of the amount of water dammed in Tancítaro

Figure 2 represents the record of 2,900 water dams located and distributed in the municipality of Tancítaro, which have different dimensions and capacities. With this classification by surface (m^2), it was more affordable to determine the depth allowing us to estimate the volume (m^3). Figure 3 shows that taking advantage of a cineritic cone, it is coated with a geomembrane for water storage as one of the liquid collection techniques. The most common is excavating the surface well lined with plastic geomembrane. Based on satellite imagery and field visits, dam sizes were classified.

Figure 2. Distribution of rainwater catchment dams in Tancítaro, 2021.



Source: Own elaboration, based on INEGI (2014) and Google Earth Pro (2021).

The dams were classified into six different sizes (Table 2) in which the "tiny" dams of between $12 m^2$ and $163 m^2$ are the ones that most dominate the territory, being those of $1,626 m^2$ and up to more than $10,000 m^2$ the ones with the lowest frequency of appearance and that have been built taking advantage of the geomorphology of the terrain. The total area is 163.45 hectares, where approximately $9,757,054.01 m^3$ ($9,757.05 hm^3$) of water are collected, which can be compared to $650,470.27$ water tankers with a capacity of $15,000$ liters each. For example, see Figure 3, the angles and scales of a dam of water waterproofed with geomembrane taking advantage of the geomorphology of the land, whose size reaches 1.51 ha, and its approximate volume is $121,202.58 m^3$.

Figure 3. Angles and scales of a waterproofed water dam.



Source: Google Earth Pro (2023) and Ruíz-Sevilla and Ortiz-Paniagua (2021).

Table 1. Classification of dams according to surface area.

Class	Classification Tuition (m ²)	Water dams (dams) quantity	Class	Water volume (m ³)
A	12 – 163	779	Very small	156,362.032
B	163.1 – 325.0	713	Small	507,216.108
C	325.1 – 652.0	717	Medium	1,655,920.056
D	652.1 – 1626.0	510	Large	3,053,930.352
E	1,626 and more	181	Very large	4,383,625.464
TOTAL		2,900		9,757,054.013

Source: Own elaboration.

Estimation of the economic value of water dammed in Tancítaro

Lake Cuitzeo contains 920 hm³, Lake Patzcuaro contains 220 hm³, and Lake Zirahuén 208.22 hm³ (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2023). The volume of water dammed in the municipality of Tancítaro would be equivalent to approximately 4.68% of the volume of water from Lake Zirahuén to have the perspective in magnitude. As shown in table 2 and taking as an example of estimation, only Class A (very small) would need 10,424.14 water tankers (pipes) with a capacity of 15 thousand liters per unit to store the water contained in the total dams used for irrigation in the dry season (February, March, April, and May). If water were acquired at a market price of USD 118.00 per five m³, size of a tanker truck o cistern truck, it would reach a cost of \$20,848,270.93 (Twenty million eight hundred forty-eight thousand two hundred and seventy and ninety-three cents) (Mexican pesos equivalent to USD \$1,158,237.2) renting the transport of this water to irrigate the orchards during the dry season.

By 2022, there was a planted area of 24,805 hectares in the municipality of Tancítaro (SIAP, 2023), and of these, 3,815 hectares corresponded to irrigation. With this information and considering that an average cultivated hectare consumes around 9,717.90 liters per hectare per day (Gómez-Tagle and Morales, 2018) would imply the use of 37,073,788.50 liters of water (37,073.788 m³) for a total production of 41,437 tons equivalent to a production value of 950,954.58 thousand pesos; (USD \$52,830,810.0).

Assuming a four-month dry season, from February to May, using weekly irrigation would require 44,889 tanker trucks, costing 2,000 pesos (USD 118) each. So, the simulated expenditure on water of 9.36% of the total value of avocado production is equivalent to 455 million pesos (USD \$26.7 million) of the value of irrigation avocado production and 1.8% (88.9 million pesos). It refers to the value of the production of 2021, which amounted to 4,863,531,060.00 Mexican pesos (\$286 million USD).

Therefore, considering the cost of water at market price would reduce 9.36% of the total income of Tancítaro avocado producers, specifically 48% (455/950) of the income of avocado producers who use irrigation. So, the conditions of competitiveness would change significantly if the costs were not considered or hidden costs for irrigation with water damming were contemplated.

The production model used in Michoacan, known as primary export, is based on utilizing its natural resources as a competitive advantage (McKay *et al.*, 2021). The agricultural export sector heavily relies on water and soil, taking advantage of favorable environmental conditions. With an intense concentration and reconfiguration in terms of its specialization, Michoacán is highly specialized (Vargas-Canales *et al.*, 2020).

The specific type of market entry represented by this form of engagement in international markets has proven successful in exporting various crops in different regions of Mexico (Vargas-Canales *et al.*, 2020). However, with the paramount importance of water as an input, the proliferation of water reservoirs for retention has grown significantly. This growth shows signs of disturbances in the hydrological cycle, leading to an increased focus on avocado cultivation and consequently resulting in monoculture in the region. This monoculture negatively affects water retention, biodiversity, and the regional microclimate (Ruíz-Sevilla and Ortiz-Paniagua, 2021).

The specialization has led to increased regional wealth, but it has not translated into improved regional welfare levels due to unequal distribution. There has been a significant impact on water extraction, with virtual water trade growing rapidly and a notable increase in international avocado trade. Specifically, the global virtual water trade of avocados increased from 408 mm³ to 2238 mm³ between 2000 and 2016, in line with the rise in international trade volume from 0.4 Mt to 1.9 Mt over the same period (Caro *et al.*, 2021).

Understanding the quantity of retained water used to irrigate avocado crops is an essential factor for effectively managing growth, water allocation, and identifying environmentally friendly alternatives. Additionally, it provides valuable insight into the economic impact on the competitiveness of the crop. The availability and management of water are crucial for economic and social development, especially in regions where agriculture is a significant industry. One such example is the municipality of Tancítaro in Michoacán, Mexico. The estimations reveal a significant volume of 9,757,054.01 m³ of dammed water in Tancítaro, a vital resource for agricultural production, particularly avocado farming. This region is known for its abundant water supply, with 30 million m³ available annually. This plentiful water supply supports agricultural activities and domestic use by the municipality's inhabitants (Fuentes and Bocco, 2003).

Despite Mexico's seemingly plentiful water resources, the water poverty index (HPI) analysis shows that the country faces significant challenges compared to other nations. Mexico's HPI is the lowest, indicating a high-water poverty level. This index comprises five indicators: resources, Use, Access, Capacity, and Environment. It reflects the limitations in equitable and sustainable access to water (Olivas and Camberos, 2021).

Please note the study's limitations: 1) The study did not account for other costs such as water use or storage. 2) Field verification of the depth and size of a representative dam sample was impossible due to the region's security conditions. 3) More field verification with producers is needed to determine the cost of water for a representative sample of producers, as well as the cost of the tanker truck at different points of the basin.

The paradox of Tancítaro is evident in its abundant water resources, yet its population still grapples with poverty. This underscores the challenges of managing and distributing resources equitably. While the water available in the region could support agricultural production and spur economic growth, its potential is limited due to ineffective water management policies and inadequate infrastructure. Furthermore, the significant cost of water in the market and its impact on the competitiveness of local producers must be addressed. Economic analysis indicates that if hidden water costs are reflected in market prices, the profitability of avocado cultivation could be severely affected.

Other studies indicate that more efficient irrigation practices can be implemented for avocados. However, this may result in specific effects, such as reduced yield, in exchange for alleviating water stress. Consequently, the authors refer to deficit irrigation as a potential alternative for conserving water and achieving environmental benefits in avocado cultivation, albeit with acceptable yield reductions (Cárceles *et al.*, 2023). This suggests that there are alternatives to minimize water retention in pots. Nevertheless, these techniques must be widely disseminated. These actions could be feasible due to some studies showing that a reduction in the growth of avocado fruit was observed with induced water deficit. Still, the isohydric stomatal behavior of the leaves helped to minimize negative changes in water balance. Also, there was substantial recovery after re-watering; hence, the short-term water stress did not decrease avocado fruit size. Negative impacts might appear if the drought treatment were prolonged (Teruko *et al.*, 2024).

The findings highlight the significance of comprehensive water management that considers not just agricultural requirements but also ecological and social considerations. Unequal access and the uneven distribution of benefits across sectors can exacerbate environmental and social tensions, particularly in neighboring areas that rely on the same water sources, especially for those communities residing at lower elevations (Olivas and Camberos, 2021). It's important to highlight that this study is pioneering in its use of techniques, including the implementation of geographic information systems and the script for measuring the depth of the dams. The study's approach and comparison methods for estimating the monetary value of retained water are also noteworthy.

Meanwhile, a study examined the water footprint of avocado production in Michoacán. The study emphasized the substantial water usage in agriculture, significantly contributing to Mexico's overall water footprint. The research highlighted the significant water footprint of avocado production, underscoring its challenge to water sustainability in the region (Fuerte-Velázquez and Gómez-Tagle, 2024). It is essential to recognize that specific community production models have demonstrated relative success in mitigating the negative environmental and social impacts associated with the crop without necessitating land use changes and with sufficient economic support for implementing appropriate practices. Furthermore, these models have fostered forest conservation (Ramírez *et al.*, 2024).

Addressing the challenges of water scarcity requires attention to the water footprint of avocado production and implementing policies promoting sustainable water management. Essential steps include improving infrastructure, enhancing water use efficiency in agriculture, and advocating for sustainable agricultural practices. Collaborative efforts among the government, local communities, and the private sector are crucial for equitable and efficient water resource management (Olivas and Camberos, 2021; Fuerte-Velázquez and Gómez-Tagle, 2024). Emphasizing a holistic approach to water management that considers human and environmental needs is vital for ensuring sustainable development in Mexico.

The issue of ecological degradation and its ramifications on water resources, alongside the societal impacts stemming from avocado production in the region, ought to be regarded as a broader concern that adheres to the dynamics of demand and international markets. Consequently, consumers must also accept responsibility for internalizing externalities (De la Vega-Rivera and Merino-Pérez, 2021) while simultaneously assessing the region's carrying capacities and optimal production levels of avocados.

CONCLUSIONS

In avocado production, water is a fundamental element of social development, and to give continuity and permanence to this activity, it is necessary to guarantee a constant flow and quality of water. However, today, the construction of water dams is a factor that is affecting the ecosystem significantly, which has implications on the hydrological cycle (Ruíz-Sevilla and Ortiz-Paniagua, 2021), climate, aquifer recharge, water stress, and water for other sectors, ecosystems, or domestic use for human populations. That is why studying the implications of water dams is relevant to understanding the magnitude of the phenomenon.

This study estimated the amount of dammed water at 9,757,054,013 m³, equivalent to approximately 4.68% of the water in Lake Zirahuén. In terms of extension and stored water, this Lake is the third most crucial lake in Michoacan. This estimate used geographic information systems and satellite imagery.

The present study aimed to estimate the volume of water retained in dams for irrigation of avocado orchards, allowing us to know the hidden costs and assign price to water as an input. The main finding of the work reveals that the cost of water as input is equivalent to 48% of the value of irrigation production and 9.36% of the total output (irrigation and temporary) of the municipality of Tancítaro. So, the competitiveness of avocados in this municipality (the largest producer in the world) is based on the availability of water resources. Given its reliance on price elasticity, if a value were placed on water and factored into market prices, it could impact competitiveness. The study implies the need to implement measures for regulating water retention. These measures should encompass a comprehensive framework for ecological considerations and the importance of preventing degradation to safeguard the productive capacities of the ecosystem. Additionally, it is crucial to explore actions aimed at redistributing the gains from exports and averting conflicts related to water usage in the region.

In the social aspect, water disputes can intensify, especially with the lower altitude municipalities that have significant agriculture production and are located at the border to Tancítaro (Buena Vista Tomatlán, Tepalcatepec, Apatzingán, and Parácuaro), giving rise to socio-ecological conflicts that imply the defense or privilege of the resource. The production of avocado in the municipality of Tancítaro is not sustainable because incorporating the water element as one of the inputs to be paid, as is done with light or the salary of day laborers and agrochemicals, among others, it would be

observed that it would not be profitable, becoming a product of high economic value that few could pay or have access to generating local and focused wealth.

Water scarcity is a priority situation today that must be addressed through public policies that raise awareness and regulate water use among users. It is, therefore, essential to observe the laws and make the necessary reform proposals to include this type of work that significantly impacts the ecosystem and hydrological cycle. If there is not the organized will and intention of all users to achieve harmony with the environment and thus obtain better goods and services (healthier food, clean water, abundant resources, better use), simply the tendency to impoverishment, social inequality, and a deteriorated ecosystem will be part of the life of the new generations. The extension of avocado cultivation is causing changes in the ecological environment, hydrological balance, and modifications in the use of soil. Authorities and avocado producers must attend to the issue and prevent the consequences as possible from social conflicts regarding access to water.

In Tancítaro, the benefits of successful avocado cultivation have not been distributed equitably, which can be seen in a high percentage of the population living in poverty and organized crime (Aguirre and Gómez, 2020). In the case of water for ecosystems, this is a distant issue in the minds of producers, who are more concerned with short-term profitability, ignoring possible alterations to the hydrological cycle (Ruíz-Sevilla and Ortiz-Paniagua, 2021) because of water retention. Water expenditure indicates avocado water use, as demonstrated (Sommaruga and Eldridge, 2021; Caro *et al.*, 2021). However, when this is put in economic terms, the idea of the magnitude of the savings that producers present and that are not compensated, for example, for ecological restoration and improving the capture of water from ecosystems, becomes more apparent.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Aguirre, J. and Gómez, M. (2020). Competitive strategies in contexts of organized crime: the case of the avocado industry in Mexico. *International Journal of Criminal Justice Sciences*, 15(1), 114-126. <https://doi:10.5281/zenodo.3822110>
- Alonso, D. (2015). How to extract kml in Google Earth Pro and import it into QGIS as a shape. *MappingGis*. <https://acortar.link/9ci26e>
- Arisoy, H. (2020). Impact of agricultural supports on the competitiveness of agricultural products. *Agricultural Economics–Czech*, 66, 286–295. <https://doi:10.17221/416/2019-AGRICECON>
- Ávila, G. P. (2014). Evaluación social regional. Sistema de microcuencas prioritarias Pátzcuaro-Zirahuén. En *Proyecto de bosques y cambio climático*. SEMARNAT-UNAM. <https://acortar.link/MumBFw>
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Avilés-Vázquez, K., Samulon, A. and Perfecto, I. (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(2), 86–108. <https://doi:10.1017/s1742170507001640>
- Bachmann-Fuentes, R. I. (2021). La inseguridad alimentaria y la tragedia del campo en México: consecuencias de las políticas agrícolas neoliberales. *Espacio Regional. Revista de Estudios Sociales*, 1(11), 89-108. <https://acortar.link/7080Ej>
- Cai, X. M., Rosegrant, M. W., and Ringler, C. (2003). Physical and economic efficiency of water use in the river basin: Implications for efficient water management. *Water Resources Research*, 39(1), 1-12. <https://doi.org/10.1029/2001WR000748>

- Cárceles R. B., Durán Z. V. H., Franco T. D., Cuadros T. S., Sacristan P. C., García-Tejero I. F. (2023). Irrigation Alternatives for Avocado (Persea americana Mill.) in the Mediterranean Subtropical Region in the Context of Climate Change: A Review. *Agriculture*, 13(5), 1049. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051049>
- Caro, D. A., Alessandrini, F., Sporchia and Borghesi, S. (2021). Global virtual water trade of avocado. *Journal of Cleaner Production*, 285, e124917. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124917>
- Chaparro, G. N., and Janzen, J. (2022) Guacamole is Back: Seasonal Production from South America Lowered Avocado Prices. *Farmdoc Daily*, (12), 196. <https://acortar.link/bK0k51>
- Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., Newell, J. P. (2021). Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management*, 278(1), 111482. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111482>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2022). *Área Natural Protegida, Pico de Tancítaro. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación*. <https://acortar.link/iHs63g>
- Costanza, R., d'Arge R., de Groot, R., Farber S., Grasso M., y Hannon, B. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., and Reza Salgado, J. (2022). Competitiveness of Mexico's Hass avocado exports in the world market. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(2), 355–362. <https://doi.org/nqcm>
- De la Vega-Rivera A., and Merino-Pérez, L. (2021). Socio-Environmental Impacts of the Avocado Boom in the Meseta Purépecha, Michoacán, México. *Sustainability*, 13(13), 7247. <https://doi.org/10.3390/su13137247>
- Denvir, A., Arima, E. Y., González-Rodríguez, A., and Young, K. R. (2021). Ecological and human dimensions of avocado expansion in México: Towards supply-chain sustainability. *Ambio*, 51(1), 152-166. <https://doi:10.1007/s13280-021-01538-6>
- Diario Oficial de la Federación. (2013). *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro*. Secretaría de Gobernación. <https://acortar.link/18fhXh>
- Escobar, L. A., and Gómez, A. P. (2007). El valor económico del agua para riego un estudio de valoración contingente. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (6), 16-32. <https://acortar.link/1ePKEN>
- Esteve-Llorens, X., Ita-Nagy, D., Parodi, E., González-García, S., Moreira, M. T., Feijoo, G., and Vázquez-Rowe, I., (2022). The environmental footprint of critical agro-export products in the Peruvian hyper-arid coast is a case study for green asparagus and avocado. *Science of The Total Environment*, 818, e151686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151686>
- Figuroa, E. J. R., Rentería, E. R., and Martín, P. (2023). La gestión de los recursos hídricos en el municipio de Culiacán, Sinaloa, México. *Estudios Regionales en Economía, Población y Desarrollo*, 13(73). <https://doi.org/10.20983/epd.2023.73.1>

- Fisher, B., and Turner, K. (2008). Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141(5), 1167–1169. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.019>
- Food and Agriculture Organization. (2023). *World food and agriculture. Statistical Yearbook 2023*. <https://doi.org/10.4060/cc8166en>
- Fuentes, J. J., and Bocco, G. (2003). El Agua: dinámica y análisis regional. En A. Velásquez, A. Torres y G. Bocco (Comps.). *Las Enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales* (I Ed., pp. 95-126). Instituto Nacional de Ecología. <https://acortar.link/mKua97>
- Fuentes-Junco, J. J. A. (2011). *Estimación del Recurso Hídrico Superficial en el Pico de Tancítaro, Michoacán: Oferta, Demanda y Escenarios de Disponibilidad* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://acortar.link/L2rphR>
- Fuerte-Velázquez, D. J. and Gómez-Tagle, A. (2024). Water Footprint and Water Sustainability of Agroindustrial Avocado Production in a Warm Tropical Climate Municipality: A Case Study in the Michoacan Avocado Belt in Central México. *Water*, 16(12), 1719. <https://doi.org/10.3390/w16121719>
- Gain, A. K., Hossain, S., Benson, D., Di Baldassarre, G., Giupponi, C., and Huq, N. (2021). Social-ecological system approaches for water resources management. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 28(2), 109–124. <https://doi.org/gjpsrz>
- Garrido-Ramírez, E. (2018). Áreas potenciales para el cultivo de Aguacate (*Persea americana* L.) cultivas "Hass" en el Estado de Guerrero, México. *Agro Productividad*, 6(5), 52-57. <https://acortar.link/ztunSH>
- Gómez-Tagle, A. and Morales, Ch. R. (November 2018). *Hydrological impact of the green gold (avocado culture) in central Mexico; rainfall partition and water use comparison with native forests*. [Conferece]. Conferencia conjunta de bosques y agua, Valdivia, Chile. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18644.65921>
- Gutiérrez, G. D. F., Ruíz, M. R. and Xoconoxtle, C. B. (2015). *El estado actual de los cultivos genéticamente modificados en México y su contexto internacional*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Pp. 190. <https://acortar.link/PSv1au>
- Haynes, K. B. (2020). *The Urban Morphology of Hyderabad, India: A Historical Geographic Analysis* [Theses Masters, Western Michigan University]. <https://acortar.link/f5acgt>
- He, D. C., Ma, Y. L., Li, Z. Z., Zhong, C. S., Cheng, Z.B., and Zhan, J. (2021). Crop Rotation Enhances Agricultural Sustainability: From an Empirical Evaluation of Eco-Economic Benefits in Rice Production. *Agriculture*, 11(2), e91. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020091>
- Hernández-Morales, R., Hidalgo-Anguiano, M., Murillo, M. D. R. O., and Ríos, M. S. A. (2014). Factores abióticos que rigen la presencia y permanencia del género *Microcystis* Kützing ex Lemmermann en un lago tropical profundo. *Biológicas*, 16(1), 33-42. <https://acortar.link/ey0SXD>
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., and Mekonnen, M.M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*. Earthscan. <https://acortar.link/VF7RHO>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Conjunto de datos vectoriales de información topográfica. Cartas: E13B28, E13B29, E13B38, E13B39, E13B48 y E13B49 escala 1:50.000 serie III*. <https://acortar.link/K8c3rs>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). *Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades*. <https://acortar.link/1SCdRw>
- Juarez S., I. (2024). *Green Gold: The Political Ecology of the Avocado Agribusiness in Mexico*. [Thesis Degree of Bachelor, Middlebury College] <https://acortar.link/rRR4yK>
- Koo-Oshima, S., Mejías-Moreno, P., Khazal, K. and Kiersh, B. (2024). Agricultura y desarrollo rural. En: Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2024. Pp. 31-46. <https://doi.org/10.18356/9789233002296c009>
- Kujala, S., Hakala, O., and Viitaharju, L. (2022). Factors affecting the regional distribution of organic farming, *Journal of Rural Studies*, 92(226-236). <https://doi.org/gqk5h4>
- Labandeira X., J. Carmelo L., and M. X. Vázquez (2007). *Economía Ambiental*. Pearson Educación.
- Linthicum, K. (November 2019). Inside the Bloody Cartel War for Mexico's Multibillion-Dollar Avocado Industry. *Los Angeles Times*. <https://acortar.link/7irBex>
- Martínez-Luna, D. Mora-Flores, J., Exebio-García, A., Arana-Coronado, O., and Arjona-Suárez, E. (2021). Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100, Alfajayucan, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.544>
- McGwire, K. C., Estes, J. E., and Star, J. L. (1996). A comparison of maximum likelihood-based supervised classification strategies. *Geocarto International*, 11(2), 3–13. <https://doi.org/crzcjt>
- McKay, B. M., Fradejas, A. A., and Ezquerro-Cañete, A. (Eds.). (2021). *Agrarian Extractivism in Latin America*. Routledge.
- Mishra, B.K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water* 2021, 13, 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>
- Olivas, M. J., and Camberos, M. (2021). El índice de pobreza hídrica para México: una comparación con países de la OECD. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 15(29), 54-62. <https://doi.org/nqj6>
- Olivares-Martinez, L.D., Gomez-Tagle, A., Pérez-Salicrup, D.R. (2023). Regional Drivers behind the Burning of Remnant Forests in Michoacán Avocado Belt, Central Mexico. *Fire*, 6, 81. <https://doi.org/10.3390/fire6030081>
- Paniagua, P., Rayamajhee, V. (2023). On the nature and structure of externalities. *Public Choice*. <https://doi.org/10.1007/s11127-023-01098-1>
- Pérez-Solache, A., Vaca-Sánchez, M.S., Maldonado-López, Y., De Faria, M.L., Borges, M.A.Z., Fagundes, M., and Cuevas-Reyes P. (2023). Changes in land use of temperate forests associated to avocado production in Mexico: Impacts on soil properties, plant traits, and insect-plant interactions. *Agricultural Systems*, 204, e103556. <https://doi.org/nqj9>

- Pulido-Velázquez, M., Cabrera, E., and Garrido C., A. (2014). *Economía del agua y gestión de recursos hídricos*. *Ingeniería del Agua*, 18(1), 99–110. <https://doi.org/3qd>
- Ramírez-Mejía, D., Levers, C. and Mas, J. F. (2022). Spatial patterns and determinants of avocado frontier dynamics in Mexico. *Regional Environmental Change*, 22, (28). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01883-6>
- Ramírez, M. I., Špirić, J., and Orozco-Meléndez, F. (2024). Sustainability of the community model of avocado production in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Michoacán, México. *GeoJournal*, 89(189). <https://doi.org/10.1007/s10708-024-11195-3>
- Reyes-Gómez, H., Martínez-González, E. G., Aguilar-Ávila, J., and Aguilar Gallegos, N. (2023). Gobernanza de la cadena global de valor del aguacate en México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:3120
- Rosales, A. G., León, V. C. I. and Ortiz-Paniagua C. F. (2023). Gobernanza forestal en México desde la perspectiva del análisis estructural. *Regions and Cohesion*, 13(1), 52-73. <https://doi.org/10.3167/reco.2023.130104>
- Ruíz-Sevilla, G. and Ortiz-Paniagua, C. F. (2021). Implicaciones de la Producción de Aguacate en el Balance Hídrico desde una Perspectiva de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), 2011-2019 (2021). *Revista de Investigaciones CIMEXUS*, 17(2), 11-27. <https://acortar.link/Dqy7Yy>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017a). *Diseño y construcción de ollas de agua* (Segunda Edición).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017b). *Diseño y construcción de jagueyes* (Segunda Edición).
- Sánchez, S. Y., Pérez, C. J. A., Sangroni, L. N., Cruz B. C., and Medina N., Y. E. (2021). Retos actuales de la logística y la cadena de suministro. *Ingeniería Industrial*, 42(1), 169-184. <https://acortar.link/04TQgl>
- Sapino, F., C. D. Pérez-Blanco, C. Gutiérrez-Martín, A. García-Prats, and M. Pulido-Velázquez. (2022). Influence of crop-water production functions on the expected performance of water pricing policies in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 259, e107248. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107248>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios* (2022). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). *Área y volumen de almacenamiento de lagos principales*. Recuperado en agosto de 2023 de <https://acortar.link/Jldczy>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Escenario mensual de productos agroalimentarios* (2023). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>
- Sibulali, A. (2020). *Avocado: Market Intelligence report*. Western Cape Government. <https://acortar.link/AHtz7z>

- Solís, A. (2024). Angry farmers in a once-lush Mexican state target avocado orchards that suck up too much water. *Associated Press*. <https://acortar.link/L6QoYZ>
- Sommaruga, R. and Eldridge, H.M. (2021). Avocado Production: Water Footprint and Socio-economic Implications. *EuroChoices*, 20(2), 48-53. <https://doi.org/h3nf>
- Suárez, A. (2024). Critical overview of the expansion of Hass avocado plantations in Salamina, northern Caldas, Colombia. *Journal of Land Use Science*, 19(1), 230-238. <https://doi.org/nqr9>
- Teruko, K., Gould, N., Campbell, D. and Clearwater, M. J. (2024). Clearwater, Isohydic stomatal behaviour alters fruit vascular flows and minimizes fruit size reductions in drought-stressed 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.). *Annals of Botany*, 133(7), 969-982. <https://doi.org/gt4j5c>
- Ueasangkomsate, P., Suthiwartnarueput, K., and Chaveesuk, R. (2018). Understanding Competitive Advantage of Organic Agriculture through the Natural-Resource-Based View: Case Studies of Three Organic Rice Producer Networks. *Thammasat Review*, 21(2), 179-200. <https://acortar.link/XxOILj>
- United States Department of Agriculture. (1997). *Ponds planning, design, construction*. <https://acortar.link/S5TCmA>
- Vargas-Canales, J. M., Carbajal-Flores, G., Bustamante-Lara, T. I., Camacho-Vera, J. H., Fresnedo-Ramírez, J., Palacios-Rangel, M. I., and Rodríguez-Haros, B. (2020). Impact of the Market on the Specialization and Competitiveness of Avocado Production in Mexico. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup3), S1942-S1958. <https://doi.org/nqsd>
- Vega-Agavo, M. I., Suazo-Ortuño, I., Lopez-Toledo, L., Gómez-Tagle, A., Sillero, N., Pineda-López, R., and Alvarado-Díaz, J. (2021). Influence of avocado orchard landscapes on amphibians and reptiles in the trans-Mexican volcanic belt. *Biotropica*, 53(6), 1631-1645. <https://doi.org/10.1111/btp.13011>
- Wardhani, E. and Nugraheni, S. (2019). Competitiveness with (out) sacrificing environment: Estimating economic cost of groundwater pollution. In A. G. Abdullah, I. Widiaty and C. Abdullah (Eds), *Global Competitiveness: Business Transformation in the Digital Era* (pp. 81-84). Taylor and Francis Group. <https://doi.org/nqsk>
- Zhongwei, H., Xing, Y., Peng, J., Siao S., and Leng, G. (2024). Shifts in trends and correlation of water scarcity and productivity over China. *Journal of Hydrology*, 635, e131187. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131187>



GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Comportamiento de la movilidad vehicular en ciudades pequeñas. Estudio de caso: Tunja, Boyacá, Colombia.

Behavior of vehicular mobility in small cities.
Case study: Tunja, Boyacá, Colombia.

Comportamento da mobilidade veicular em cidades pequenas. Estudo de caso: Tunja, Boyacá, Colômbia.

Rubén Dario Calixto Morales

Universidad Centro Panamericano de
Estudios Superiores, Colombia
argrubencalixto@gmail.com

Estudio de caso

Recibido: 7/02/2024

Aceptado: 30/07/2024

Publicado: 1/08/2024

RESUMEN

Determinar cuándo un problema vehicular condiciona la función de una ciudad implica identificar las características y consecuencias que afectan directamente la movilidad y otras funciones urbanas. Los problemas de congestión vehicular son recurrentes en las ciudades, independientemente de su tamaño, incluso con el uso de nuevas tecnologías para mejorar la movilidad, como la semaforización inteligente. Sin embargo, las ciudades pequeñas enfrentan una problemática particularmente relevante, ya que aparentemente no deberían experimentar tal situación. Esta problemática condiciona la calidad de vida y afecta negativamente al medio ambiente. Entre los problemas más comunes derivados de esta situación se encuentran la congestión del tráfico, la dependencia excesiva del automóvil, la infraestructura vial inadecuada, el aumento de accidentes entre vehículos y peatones, y la contaminación del aire. El objetivo del presente artículo es comprender cómo la falta de lineamientos para promover la movilidad urbana sostenible está estrechamente ligada a una movilidad efectiva, la implementación de parámetros de planificación urbana y un proceso de participación ciudadana. Tomando como caso de estudio la ciudad de Tunja (Colombia), se busca entender las problemáticas generales de una ciudad pequeña y sus particularidades.

Palabras clave: congestión vehicular, dependencia del automóvil, participación comunitaria, tráfico vehicular

ABSTRACT

Determining when a vehicle problem conditions the function of a city involves identifying the characteristics and consequences that directly affect mobility and other urban functions. Traffic congestion problems are recurrent in cities, regardless of their size, even with the use of new technologies to improve mobility, such as smart traffic lights. However, small cities face a particularly relevant problem, since apparently, they should not experience such a situation. This problem conditions the quality of life and negatively affects the environment. Among the most common problems arising from this situation are traffic congestion, excessive dependence on automobiles, inadequate road infrastructure, increased accidents between vehicles and pedestrians, and air pollution. The objective of this article is to understand how the lack of guidelines to promote sustainable urban mobility is closely linked to effective mobility, the implementation of urban planning parameters and a process of citizen participation. Taking the city of Tunja (Colombia) as a case study, we seek to understand the general problems of a small city and its particularities.

Keywords: car dependency, community participation, vehicular congestion, vehicular traffic

RESUMO

Determinar quando um problema veicular condiciona o funcionamento de uma cidade envolve identificar as características e consequências que afetam diretamente a mobilidade e outras funções urbanas. Os problemas de congestionamento de trânsito são recorrentes nas cidades, independentemente do seu tamanho, mesmo com o uso de novas tecnologias para melhorar a mobilidade, como semáforos inteligentes. Contudo, as pequenas cidades enfrentam um problema particularmente relevante, uma vez que aparentemente não deveriam passar por tal situação. Esse problema afeta a qualidade de vida e afeta negativamente o meio ambiente. Entre os problemas mais comuns decorrentes desta situação estão o congestionamento do tráfego, a dependência excessiva dos automóveis, a infra-estrutura rodoviária inadequada, o aumento dos acidentes entre veículos e pedestres e a poluição atmosférica. O objetivo deste artigo é compreender como a falta de diretrizes para promover a mobilidade urbana sustentável está intimamente ligada à mobilidade efetiva, à implementação de parâmetros de planejamento urbano e a um processo de participação cidadã. Tomando como estudo de caso a cidade de Tunja (Colômbia), buscamos compreender os problemas gerais de uma pequena cidade e suas particularidades.

Palavras chave: congestionamento de veículos, dependência de carros, participação da comunidade, tráfego de veículos

INTRODUCCIÓN

El término "ciudad pequeña" tiene diversas definiciones que dependen del contexto demográfico y geográfico de cada país. En Colombia no existe una definición oficial para "ciudad pequeña". La Ley 388 de 1997, que regula el ordenamiento territorial, establece instrumentos de planificación para ciudades de diferentes tamaños. Por ejemplo, ciudades con menos de 30,000 habitantes usan un Esquema de Ordenamiento Territorial, entre 30,000 y 100,000 habitantes utilizan un Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), y aquellas con más de 100,000 habitantes adoptan Planes de Ordenamiento Territorial (POT). Además, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) clasifica las ciudades y municipios según su tamaño poblacional en varias categorías: metropolitana, especial, primera, segunda, tercera y cuarta. Tunja, con aproximadamente 183,000 habitantes, se clasifica como de categoría "tercera" (50,000-200,000 habitantes).

Los términos congestión y tráfico vehiculares, aunque son conceptos relacionados, tienen diferencias específicas en su significado y aplicación. La congestión se refiere a la acumulación excesiva y obstrucción del flujo vehicular en las vías y ocurre cuando el volumen de vehículos supera la capacidad de la infraestructura vial. El tráfico vehicular, por otro lado, hace referencia al movimiento de vehículos en una determinada red vial, sin tener en cuenta necesariamente si hay congestión o no. Puede haber tráfico vehicular sin congestión, especialmente en zonas específicas y en horarios de mayor o menor demanda (Arenas, 2017).

El Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para vías multicarril (2022) del Ministerio de Transporte de Colombia proporciona criterios técnicos para evaluar y gestionar el flujo de tráfico. Incluye información sobre la capacidad de las vías, la demanda de tráfico, niveles de servicio, factores de ajuste y metodologías de análisis. La capacidad de una vía es la cantidad máxima de vehículos que puede acomodar de manera segura y eficiente. La demanda de tráfico se refiere a la cantidad de vehículos que usan la vía en un periodo específico. Los niveles de servicio evalúan la calidad que proporciona la vía en términos de velocidad, fluidez del tráfico, tiempo de viaje y comodidad

percibida por los conductores. Los factores de ajuste consideran características específicas de las vías multicarril como intersecciones y transporte público.

Para determinar problemas vehiculares en una ciudad, se pueden usar estudios de flujo y conteo de tráfico, modelado de transporte y encuestas de movilidad y percepción de usuarios. Los estudios de flujo y conteo recopilan datos de tráfico como volúmenes de vehículos y patrones de movimiento. El modelado de transporte utiliza herramientas matemáticas y computacionales para simular el comportamiento del tráfico. Las encuestas de movilidad recogen información sobre patrones de viaje y percepciones sobre problemas de movilidad. Según Jeff Speck, urbanista reconocido en el ámbito internacional, la movilidad es crucial para la calidad de vida y la productividad económica de una ciudad. En el 8vo Congreso Internacional de Movilidad y Transporte (2018), Speck afirmó que un entorno amigable para caminar es esencial para que las personas estén dispuestas a usar el transporte público. Esto se logra mediante un enfoque holístico en la planificación urbana. Por su parte, García y López (2019) desarrollaron una metodología para investigar la movilidad en Montecristi (Ecuador) donde en su investigación, incluyeron estudios de campo como visitas al lugar, verificación de normativas de diseño vial, conteo vehicular, mapas temáticos y encuestas. Concluyeron que la falta de coordinación entre entidades de tránsito y la falta de planificación y ejecución de proyectos de infraestructura son las principales causas de los problemas de movilidad.

Aunque las ciudades pequeñas tienen menos tráfico en comparación con las grandes metrópolis, la concentración de vehículos por habitante puede ser alta, contribuyendo a la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero (Guidoni *et al*, 2020). Además de la congestión, otros problemas afectan directamente la seguridad vial, la accesibilidad y la conectividad (Hidayati *et al*, 2021). La infraestructura vial limitada en las ciudades pequeñas puede resultar en mayores riesgos de accidentes. La falta de alternativas de desplazamiento como ciclorrutas y senderos peatonales reduce la conectividad entre diferentes partes de la ciudad, dificultando el acceso a servicios y oportunidades.

La falta de concordancia entre las leyes de ordenamiento territorial y el Código Nacional de Tránsito Terrestre en Colombia puede deberse a varios factores. Estas leyes se centran en aspectos distintos, con objetivos y consideraciones específicas. Además, fueron desarrolladas en contextos y momentos diferentes, lo que puede generar regulaciones que no se integran de manera coherente. Las modificaciones y actualizaciones de estas leyes a lo largo del tiempo pueden haber generado discrepancias.

Con lo anterior, es evidente que existen diferencias y desafíos en la concordancia entre las leyes de ordenamiento territorial y el Código Nacional de Tránsito Terrestre. Estas diferencias pueden deberse a los enfoques y objetivos distintos de cada ley, a los procesos legislativos separados y a los cambios normativos a lo largo del tiempo. De acuerdo con lo revisado por García (2014) frente a lo manifestado por Jan Gehl, es importante reconocer estas discrepancias y trabajar en su armonización para lograr una regulación coherente y eficiente en el ámbito del tránsito y la movilidad urbana. Esto podría implicar la revisión y actualización de ambas leyes, así como una coordinación más estrecha entre las autoridades responsables de su implementación. La concordancia entre las leyes de ordenamiento territorial y el Código Nacional de Tránsito Terrestre es crucial para garantizar un desarrollo urbano sostenible y una movilidad segura y eficiente en nuestras ciudades.

El análisis de Robert (2022) subraya cómo los sistemas de transporte pueden llegar a consumir tiempo de manera ineficiente, afectando la calidad de vida y el funcionamiento urbano argumentando que la dependencia excesiva del automóvil y la falta de una planificación urbana adecuada contribuyen a crear entornos donde el transporte se convierte en un "devorador de tiempo," reduciendo significativamente el tiempo disponible para actividades más productivas y

personales. En el contexto de Tunja, las problemáticas de congestión vehicular, infraestructura vial inadecuada y dependencia del automóvil mencionadas anteriormente resuenan con sus observaciones, sobre los efectos negativos del transporte mal gestionado. Los desafíos que describe destacan la necesidad urgente de implementar estrategias que promuevan una movilidad más eficiente y sostenible para mejorar la calidad de vida urbana y reducir el tiempo perdido en desplazamientos innecesarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

En ciudades pequeñas alrededor del mundo, los métodos más frecuentes para mejorar la movilidad y gestionar el tráfico han incluido la mejora del transporte público, el fomento del transporte no motorizado, la planificación urbana inteligente, la gestión del estacionamiento y la implementación de peajes o pagos de congestión (Salinas *et al*, 2022). A continuación, se describen los principales enfoques y herramientas utilizados:

- **Planificación eficiente de rutas:** Se utilizaron algoritmos de optimización y sistemas de información geográfica (SIG) para analizar y diseñar rutas más eficientes y directas, basándose en la demanda de los usuarios y la densificación de la ciudad. Esto garantizó una mejor conectividad y un tránsito adecuado.
- **Sistemas de información en tiempo real:** Se implementaron aplicaciones móviles, pantallas de información en paradas y vehículos para proporcionar datos sobre la frecuencia de los buses, tiempos de recorrido y posibles retrasos. Esto mejoró la confiabilidad y conveniencia del transporte público, fomentando su uso al permitir a los usuarios recibir notificaciones y hacer comentarios sobre el servicio.
- **Tarifas y sistemas de pago integrados:** Se utilizaron tarjetas inteligentes y aplicaciones móviles para simplificar el proceso de pago. Este método se integró en diversos modos de transporte (buses, tranvías, trenes, ciclovías, metro), mejorando la eficiencia y conveniencia para los usuarios.
- **Infraestructura física:** Se crearon carriles exclusivos para el transporte público y bicicletas, mejorando la efectividad, seguridad y accesibilidad del desplazamiento. Esto también incluyó adaptaciones para personas con diferentes capacidades cognitivas y físicas.
- **Participación comunitaria:** Se realizaron estudios que involucraron a la comunidad mediante encuestas, grupos focales, talleres y reuniones. Esta participación fue clave para recopilar información, priorizar necesidades y mejorar la planificación del transporte público y otras alternativas de movilidad.

Además de estas estrategias, se desarrollaron otras metodologías en ciudades pequeñas para abordar problemas de tráfico y movilidad:

- **Modelado de tráfico y simulación:** Se crearon modelos y simulaciones de tráfico que consideraron las características específicas de la infraestructura vial de la ciudad pequeña. Esto ayudó a entender mejor los patrones de flujo de tráfico y a proponer soluciones efectivas.
- **Diseño y planificación urbana:** Se investigaron estrategias de diseño urbano para mejorar la movilidad y reducir problemas de tráfico. Esto incluyó la optimización de la red vial existente, la planificación de rutas de transporte público eficientes e integración de infraestructuras para peatones y ciclistas.
- **Tecnologías inteligentes de transporte:** Se utilizaron sistemas de transporte inteligente, sensores de tráfico, algoritmos de optimización y aplicaciones móviles para mejorar la eficiencia del tránsito, la seguridad vial y la experiencia del usuario.

- **Movilidad sostenible:** Se promovieron formas de transporte sostenibles como la movilidad en bicicleta, el uso compartido de vehículos, la promoción de transporte público eficiente y la adopción de vehículos eléctricos.

Estos métodos y estrategias buscaron mejorar la movilidad y reducir los problemas de tráfico en ciudades pequeñas, adaptándose a sus características y necesidades particulares para lograr una movilidad más eficiente, segura y sostenible.

Lo anterior fue basado en el método de recopilación y estudio de información, incluyendo revisión de bibliografía y documentos referenciales. Se analizaron publicaciones académicas, informes técnicos y estudios previos relacionados con la movilidad urbana sostenible y la gestión del tráfico en ciudades pequeñas. Esta revisión permitió identificar y adaptar enfoques y herramientas relevantes, así como comprender las mejores prácticas y los desafíos específicos en el contexto de Tunja.

RESULTADOS

Freiburg, en Alemania, es un ejemplo destacado en la gestión de la movilidad vehicular mediante la planificación urbana sostenible. La ciudad ha implementado una serie de medidas innovadoras para promover un sistema de transporte sostenible y reducir el uso del automóvil (Trb, 2020). Entre estas medidas se incluyen:

- **Fomento del Transporte Público:** Freiburg ha invertido en la expansión y mejora de su red de transporte público, incluyendo autobuses y trenes. Esto ha hecho que el transporte público sea más accesible, confiable y atractivo para los residentes, reduciendo la dependencia del automóvil privado.
- **Infraestructura de Ciclorutas:** La ciudad ha desarrollado una extensa red de ciclorutas y ha promovido el uso del transporte no motorizado mediante la creación de estacionamientos seguros y rutas convenientes para los ciclistas.
- **Peatonalización y Diseño Urbano:** Freiburg ha priorizado los espacios peatonales y ha diseñado áreas urbanas amigables para los peatones, promoviendo la circulación y permanencia en zonas seguras y accesibles sin necesidad de servicios de transporte.
- **Planificación Urbana Compacta:** La ciudad ha evitado la expansión descontrolada mediante una planificación que fomenta la mezcla de usos del suelo, lo que minimiza los desplazamientos innecesarios.
- **Participación Ciudadana:** Freiburg ha involucrado activamente a la comunidad en la toma de decisiones sobre movilidad sostenible, asegurando que las necesidades y preferencias de los residentes sean consideradas.

Por su parte, Curridabat (Costa Rica), una pequeña ciudad de alrededor de 34,000 habitantes ha implementado medidas que han transformado su enfoque de movilidad:

- **Infraestructura de Ciclorutas:** Se ha desarrollado una red de ciclorutas priorizando la seguridad de los usuarios.
- **Mejora del Transporte Público:** La ciudad ha mejorado el servicio de autobuses e introducido métodos de pago como las tarjetas inteligentes.
- **Planificación Urbana Amigable para el Peatón:** Las reformas legales han buscado crear una ciudad más caminable, reduciendo la importancia del vehículo y aumentando las facilidades de tránsito en corredores importantes.

Según el Reglamento del Plan Regulador (2022), las reformas a las Leyes de Planificación Urbana en su Artículo 2 son: crear una ciudad más amigable para el peatón, es decir, una ciudad caminable... Buscando disminuir la importancia al vehículo, aumentando las facilidades de tránsito en los corredores más importantes y creando más conexiones de Norte a Sur... Además de densificar, aumentar la altura y promover las zonas verdes y el espacio público.

Villa Allende, en la provincia de Córdoba (Argentina), ha implementado estrategias de planificación urbana sostenible (ITDP, 2015) que han incluido:

- Movilidad Activa: Desarrollo de redes exclusivas para bicicletas, facilitando los desplazamientos cortos.
- Espacios Peatonales: Creación de plazas y áreas verdes, reduciendo el espacio dedicado al estacionamiento de vehículos.
- Campañas de Educación y Concientización: Promoción de la movilidad sostenible desde las escuelas y la comunidad, sensibilizando a la población sobre sus beneficios.

Según la IPCC (2023), otros casos exitosos de ciudades con una similar configuración de densidad y problemáticas en su movilidad son:

- Ciudad de Vaasa (Finlandia): destaca por la implementación de un plan de movilidad sostenible que fomenta el uso de bicicletas y transporte público. Mejoraron las infraestructuras para bicicletas, aumentaron las rutas de autobús y establecieron estacionamientos disuasorios para incentivar el uso de medios de transporte alternativos (International Journal of Sustainable Transportation, 2018).
- Groningen (Países Bajos): Conocida como una ciudad ciclista ejemplar, ha implementado una red bien planificada de ciclovías, estacionamientos para bicicletas y restricciones de tráfico vehicular en el centro urbano (Transport Reviews, 2016).
- Burlington (Estados Unidos): Ha implementado un programa de gestión del estacionamiento en el centro de la ciudad para desincentivar el uso del automóvil. Establecieron límites de tiempo y aumentaron las tarifas de estacionamiento, fomentando el uso del transporte público y de la bicicleta (Journal of the American Planning Association, 2010).

En cuanto a las acciones adelantadas en Tunja frente al tema de movilidad, se encuentran:

- Implementación del Sistema Estratégico de Transporte Público (Setp): En el que se preveía iniciar operación en 2024, con la implementación del 30% de los buses sean 100% eléctricos y el 70% restante, con combustible tipo diésel. Este proyecto fue presentado a finales del 2022 al Ministerio de Transporte quién tendrá que hacer verificación de requisitos para determinar su cofinanciación frente al marco normativo vigente (Ministerio de Transporte de Colombia, 2022). Dichos requisitos establecidos en la Ley 1955 de 2019, deben estar soportados en los estudios de factibilidad técnica, ambiental, legales y financieros del proyecto.
- Ciclovías y promoción del uso de la bicicleta: Según la Secretaría de Tránsito y Transporte de Tunja, la ciudad cuenta con 4.5 kilómetros de ciclorrutas y más de 4,500 ciudadanos inscritos como biciusuarios. Cabe resaltar que dichas ciclorrutas no están constituidas por una calzada exclusiva conforme a la regulación del Ministerio de Transporte, sino por el cambio de uso de vehículo a bicicleta únicamente en días feriados. Actualmente se encuentran en obra algunos barrios de la ciudad en los que se están implementando ciclorrutas, pero la misma comunidad se ha manifestado en que ese tipo de acciones condiciona la movilidad en el sector y que así mismo, tampoco fueron informados para la ejecución de ese tipo de obras,

lo que resalta la falta de comprensión tanto de las necesidades de tránsito como de la búsqueda de una solución eficiente y planeada (Boyacá Siete Días, 2023).

- Campañas de Educación Vial: Este tipo de campañas se han realizado para la concientización y educación vial dirigidas a conductores, peatones y ciclistas. Estas campañas buscan promover el respeto a las normas de tránsito y fomentar comportamientos seguros en las vías.
- Plan de semaforización de Tunja: La Dirección de Tránsito y Transporte de la ciudad ha implementado la instalación de nuevos semáforos inteligentes sobre varios puntos críticos de la ciudad, de los cuales se tiene un control permanente (Periódico El Tiempo, 2023). Así mismo, se generan inversiones por consultoría y compra de semaforización vial por más de 7,000 mil millones de pesos (1,6 millones de dólares, aproximadamente), como cumplimiento de la meta del Plan de Desarrollo del Municipio (Muñoz y Sosa, 2019).

Con lo anterior, se observa que existen intenciones de solución a tal problemática, pero muchas de las decisiones se consideran por muchos, como poco probables por varias razones:

- Primero, a junio de 2024, es decir medio año después de la puesta en marcha de la implementación del Setp, de los algo más de 400 buses de transporte público con los que cuenta Tunja no se ha dispuesto ningún bus con tales especificaciones. Toda la flotilla permanece con uso de combustible tipo diésel (Universidad de Boyacá, 2021).
- Segundo, las únicas ciclorrutas reguladas y/o reglamentadas se encuentran en una zona particular de la ciudad y no están ligadas una con otra. De la totalidad del trazado vial de la ciudad, las ciclorrutas no están presentes sobre las vías principales; no están ubicadas sobre los corredores viales de mayor facilidad para la conectividad norte-sur; no hay dispuestas ciclorrutas sobre las diferentes zonas de Tunja ni menor ni mayormente consolidadas; ninguna llega a sitios de interés público como espacios públicos o escenarios deportivos; tampoco hay dispuestas este tipo de infraestructuras sobre ninguna de las vías transversales que atraviesan la ciudad; y no se cuenta obviamente con los demás usos establecidos por la norma como parqueaderos de bicicletas, estaciones, paraderos, pasos a nivel, etc. No hay a la fecha un plano general de proyección de una red de bicirrailes que le permita a la comunidad, conocer la ubicación de estas. La incorporación de 810 metros de ciclorrutas en Tunja (Boyacá Siete Días, 2023) no tiene ningún tipo de articulación con el trazado existente, por lo que no tiene lógica ese tipo de acciones.
- Tercero, las campañas de seguridad vial se han realizado con la finalidad de sensibilizar e indicar a los peatones que no utilicen ciertos sectores de la ciudad por los diferentes riesgos a los que se puedan ver sometidos, por la falta de una infraestructura adecuada para peatones y ciclistas (Secretaría de Tránsito y Transporte, 2022).
- Cuarto, la incorporación de los semáforos se finalizó entre los meses de febrero y marzo de 2023, sin embargo, con su entrada en funcionamiento fue tal la congestión generada en todas las zonas de la ciudad, que a la fecha permanecen desconectados, es decir sin uso, ya que los diferentes sectores de la ciudad, colapsaban porque los tiempos de los semáforos eran diferentes a las itinerancias en el tráfico vehicular, generando congestión y condicionando significativamente, todo tipo de desplazamiento del peatón, bicicleta, transporte público, etc.

Muchas de las anteriores intenciones pueden considerarse como improvisaciones para la búsqueda de mejoras en las condiciones actuales de movilidad en Tunja. Sin embargo, la improvisación en la toma de decisiones para resolver problemas de movilidad puede tener repercusiones negativas, como la ineficiencia, la falta de planificación a largo plazo, impactos adicionales no deseados, la falta de participación ciudadana y el desperdicio de recursos financieros. Es fundamental promover una

planificación cuidadosa y basada en evidencia, así como la participación de todos los actores relevantes para lograr soluciones efectivas y sostenibles en materia de movilidad.

DISCUSIÓN

En términos de movilidad, dentro de la problemática de Tunja, resalta lo indicado por Santamaría (2022) que manifiesta que: todos estos planes estuvieron desarticulados y tuvieron alcances reducidos, frente a lo cual cobra protagonismo la propuesta alterna de movilidad, haciendo alusión a varias promesas de solucionar el problema de movilidad peatonal y vehicular en algunos sectores de la ciudad desde el año 2012 aproximadamente. Asimismo, manifiesta que la propuesta alterna de movilidad debe incluir un sistema de transporte sostenible que vaya de norte a sur con una estación intermodal. Si bien esto es cierto, es apenas una posible alternativa que debe ser analizada junto con otras alternativas de movilidad que respondan a las condiciones específicas de cada zona (Calixto, 2023), ya que resolver todas las problemáticas de movilidad y desplazamiento que tienen varias zonas de la ciudad, responden a unas particularidades propias.

A pesar de que existen diversas soluciones y estrategias para mejorar el tráfico vehicular en ciudades pequeñas, la falta de implementación efectiva puede estar relacionada con varios desafíos y limitaciones. Algunos de los principales factores que contribuyen a la no implementación pueden ser:

- Las ciudades pequeñas a menudo tienen recursos financieros y técnicos limitados en comparación con las grandes ciudades. Esto puede dificultar la inversión en infraestructura de transporte y en la implementación de medidas de gestión del tráfico más avanzadas. La falta de fondos y personal capacitado puede obstaculizar la adopción de soluciones efectivas (Romero, 2011).
- La implementación de medidas para mejorar el tráfico vehicular puede requerir cambios significativos en las políticas y en la infraestructura existente. En algunos casos, puede haber resistencia por parte de los residentes, comerciantes u otros actores locales que se oponen a los cambios propuestos. La falta de consenso y apoyo puede dificultar la implementación exitosa de soluciones.
- Muchas ciudades pequeñas no han incorporado una planificación urbana adecuada, lo que ha llevado a un crecimiento desordenado y a una infraestructura vial insuficiente. La falta de una visión a largo plazo y de una planificación integral puede dificultar la implementación de soluciones efectivas para abordar los problemas de tráfico.
- La falta de conciencia sobre los beneficios de soluciones de movilidad sostenible y la falta de participación ciudadana en la toma de decisiones pueden limitar la implementación de medidas efectivas. La participación activa de la comunidad y la educación son fundamentales para generar apoyo y compromiso en la adopción de soluciones de transporte más eficientes.

Frente a lo anterior se generan una serie de preguntas para la reflexión, como son:

- ¿Cuáles son las principales limitaciones financieras y técnicas que dificultan la implementación de soluciones efectivas para mejorar el tráfico vehicular en ciudades pequeñas?
- ¿Cuál es el papel de la resistencia al cambio por parte de los residentes y otros actores locales en la falta de implementación de soluciones frente a los problemas de congestión vehicular?
- ¿Qué factores contribuyen a la falta de una planificación urbana adecuada en Tunja y cómo afecta esto la implementación de soluciones para mejorar la movilidad vehicular?
- ¿En qué medida la falta de conciencia sobre los beneficios de la movilidad sostenible y la participación ciudadana han afectado la implementación de soluciones efectivas en Tunja?

- ¿Por qué no se analiza la metodología con la que fueron resueltos algunos casos exitosos para la implementación de soluciones con el fin de mejorar la congestión vehicular y qué lecciones se pueden aprender de ellos en términos de superar los desafíos de su implementación?
- ¿Cuál es el papel de las políticas gubernamentales y la coordinación entre diferentes entidades y organismos en la falta de implementación de soluciones de planificación urbana sostenible para controlar la congestión vehicular en Tunja?
- ¿Cómo se puede superar la falta de recursos financieros y técnicos para facilitar la implementación de soluciones efectivas en Tunja y mejorar las condiciones de movilidad?
- ¿Cuáles son los principales desafíos relacionados con la infraestructura vial existente en ciudades pequeñas y cómo afecta esto la implementación de soluciones para mejorar el tráfico vehicular?
- ¿Cuál es el impacto económico y social de la falta de implementación de soluciones efectivas para mejorar el tráfico en ciudades pequeñas?
- ¿Qué estrategias podrían utilizarse para aumentar la conciencia y la participación ciudadana en la implementación de soluciones de tráfico en ciudades pequeñas?

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de implementar estrategias de movilidad urbana sostenible en ciudades pequeñas como Tunja. Comparando los casos exitosos de ciudades como Freiburg, Curridabat y Villa Allende, es evidente que medidas como la planificación urbana compacta, la promoción del transporte público y la infraestructura de ciclorutas, son cruciales para mejorar la movilidad y reducir la dependencia del automóvil. Los estudios experimentales futuros podrían enfocarse en evaluar la efectividad de estas estrategias en el contexto específico de Tunja, implementando intervenciones piloto y recopilando datos a través de metodologías robustas como encuestas, análisis de datos de tráfico en tiempo real y estudios de impacto ambiental. Además, sería beneficioso involucrar activamente a la comunidad en el proceso de toma de decisiones para asegurar que las soluciones propuestas sean viables y respondan a las necesidades reales de los ciudadanos. La comparación de estos estudios con ciudades de características similares puede proporcionar información valiosa para ajustar y optimizar las políticas de movilidad urbana en Tunja.

CONCLUSIONES

La implementación y evaluación de estrategias de movilidad urbana sostenible en Tunja, inspiradas en casos exitosos de otras ciudades, representan un avance significativo en la planificación urbana. Teóricamente, se amplía la comprensión sobre cómo adaptar políticas de movilidad sostenible a contextos específicos de ciudades pequeñas, considerando sus limitaciones y necesidades únicas. Prácticamente, la generación de datos y experiencias puede orientar decisiones más informadas, mejorar la eficiencia de las intervenciones y fortalecer la participación ciudadana. Estos aprendizajes no solo son beneficiosos para Tunja, sino que también pueden servir como referencia para otras ciudades enfrentando desafíos similares, promoviendo así un enfoque más efectivo hacia la movilidad urbana sostenible.

La falta de aplicación de políticas efectivas y la ausencia de nuevas iniciativas de planificación urbana sostenible en ciudades pequeñas como Tunja es preocupante. Esta negligencia, combinada con el incumplimiento de los organismos responsables de seguimiento y control, agrava la saturación vehicular y la congestión vial. La movilidad ha sido descuidada durante décadas, y los problemas se intensifican en múltiples aspectos de la ciudad. La falta de una visión a largo plazo y la orientación política hacia soluciones a corto plazo, junto con recursos limitados, perpetúan decisiones improvisadas e ineficaces que no abordan de manera integral los problemas de movilidad. Además, la falta de coordinación entre diferentes entidades gubernamentales complica aún más la aplicación y el cumplimiento de normativas de tránsito y movilidad.

Los escasos recursos financieros y humanos asignados a la planificación urbana son una barrera constante para mejorar la movilidad y aplicar políticas eficaces en ciudades pequeñas como Tunja. Esta limitación impide la expansión de infraestructuras necesarias, como sistemas de monitoreo de tráfico y programas educativos viales, esenciales para mitigar la saturación vehicular y la congestión. La corrupción y la falta de aplicación rigurosa de sanciones debilitan la confianza ciudadana en las autoridades y dificultan aún más la implementación de medidas necesarias. Para superar estos desafíos, se requiere un enfoque integral que incluya un aumento en el financiamiento, mayor colaboración entre entidades gubernamentales, fortalecimiento de capacidades técnicas, mejoras en la infraestructura vial y una mayor promoción de la conciencia y participación ciudadana.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Arenas, O. (2017). Cultura del automóvil y subjetividades en Colombia. Universidad de Los Andes. Colombia. <https://acortar.link/3ruAef>
- Boyacá Siete Días. (2023). Habitantes del barrio Las Quintas de Tunja, inconformes por la implementación de ciclorruta en este sector. <https://shre.ink/Dfvi>
- Calixto, R. (2023). Contraste del urbanismo táctico como aporte social en ciudades de Colombia. Centro Panamericano de Estudios Superiores. México. <https://shre.ink/DfKN>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2023). República de Colombia. <https://www.dane.gov.co>
- El Tiempo. (2023). Continúa el Plan de Semaforización electrónica en la ciudad de Tunja. <https://shre.ink/DfKU>
- Estupiñán, K. (2018). 8vo Congreso Internacional de Movilidad y Transporte. <https://shre.ink/DfXn>
- Freiburg Wirtschaft Touristik und Messe GmbH & Co. KG. (2023). Cómo llegar y moverse en Freiburg. Información Turística en la Plaza del Ayuntamiento. <https://shre.ink/Dfv4>
- García, G. y López, A. (2019). Movilidad y Territorio. Análisis de Caso: Vía Montecristi, Manta - Colisa. Universidad San Gregorio de Portoviejo. Ecuador. <https://shre.ink/DfKF>
- García, L. (2014). Ciudades para la gente. Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina. <https://shre.ink/DfKX>
- Gobierno de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997. Ley de Desarrollo Territorial. <https://shre.ink/DfvG>
- Gobierno de Colombia. (2002). Ley 769 de 2002. <https://shre.ink/DfvC>
- Guidoni, D., Maia, G., Souza, F., Villas, L. y Loureiro, A. (2020). Vehicular Traffic Management Based on Traffic Engineering for Vehicular Ad Hoc Networks. Federal University of São João del-Rei. Brazil. <https://acortar.link/dKkkWa>
- Hidayati, I., Yamu, C. & Tan, W. (2021). You have to drive: Impacts of planning policies on urban form and mobility behavior in Kuala Lumpur, Malaysia. Journal of Urban Management. <https://shre.ink/DfKu>

- Instituto de Políticas de Transporte y Desarrollo ITDP. (2015). Villa Allende. Argentina. <https://shre.ink/DfK3>
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2023). La acción climática urgente puede garantizar un futuro habitable para todos. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. <https://shre.ink/DfK5>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2010). Resolución 3027 de 2010. Reglamento Técnico de Inspección, Vigilancia y Control de Vehículos Automotores. <https://shre.ink/DfX2>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2022a). Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles. Tercera versión. <https://shre.ink/Dfvb>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2022b). Ministerio de Transporte recibió proyecto de Sistema Estratégico de Transporte Público de Tunja para empezar revisión de los requisitos. <https://shre.ink/Dfvf>
- Municipalidad de Curridabat. (2022). Reglamento de Plan Regulador. <https://shre.ink/DfXd>
- Muñoz, G. y Sosa, I. (2019). Calidad y nivel de servicio de Transporte Público Colectivo Urbano de la ciudad de Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia. <https://shre.ink/DfKM>
- Robert, J. (2022). Los cronófagos, la era de los transportes devoradores de tiempo. Itaca.
- Romero, L. (2011). La exploración de la movilidad urbana en ciudades pequeñas: un problema creciente. Análisis a partir del municipio metropolitano de Aldaya (Valencia). Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://www.redalyc.org/pdf/3330/333027082008.pdf>
- Salinas, D., Hechavarría, J. & Pin, M. (2022). Strategic Urban Mobility Plan: Case Study in the Central Area of Daule City, Ecuador. Faculty of Architecture and Urbanism, University of Guayaquil. Ecuador. <https://shre.ink/DfKB>
- Santamaría, L. (2022). Alternativa de movilidad para el borde noroccidental del Centro Histórico de Tunja. Revista Ciudades, Estados y Política. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. <https://acortar.link/9mL9f5>
- Secretaría de Tránsito y Transporte de Tunja. (2022). Campaña de seguridad vial para la protección de la vida de los peatones. <https://shre.ink/DfKH>
- Transportation Research Board (TRB). (2020). Critical Issues in Transportation. <https://shre.ink/DfKQ>
- Universidad de Boyacá. (2021). ¿Por dónde se movilizan los ciclistas en Tunja? <https://shre.ink/DfXs>



GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Evaluación de los impactos ambientales asociados a la expansión urbana en Malabo, Guinea Ecuatorial.

Evaluation of Environmental Impacts Associated with Urban Expansion in Malabo, Equatorial Guinea.

Avaliação dos Impactos Ambientais Associados à Expansão Urbana em Malabo, Guiné Equatorial.

Feliciano Moro MBA

Universidad Internacional Iberoamericana, México
feliciano.moro@doctorado.unini.edu.mx

Roberto García Lara

Universidad Internacional Iberoamericana, México
roberto.garcia@unini.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 01/05/2024

Aceptado: 09/11/2024

Publicado: 20/11/2024

RESUMEN

La expansión de la ciudad de Malabo durante las últimas dos décadas ha provocado un incremento significativo en los problemas ambientales, debido a la ausencia de una gestión adecuada. Este estudio tuvo como objetivo identificar y evaluar los impactos ambientales asociados al crecimiento urbano mediante el uso del método *Rapid Impact Assessment Matrix* (RIAM), que permite una valoración sistemática y multicriterio en cuatro categorías: fisicoquímica, biológica, social y económica. Entre los principales impactos detectados se destacan la contaminación de las aguas y los suelos, la disminución en la calidad del aire, la contaminación acústica y la alteración del paisaje. Para mitigar estos efectos adversos, se proponen alternativas como la implementación de sistemas de gestión de residuos, la adopción de tecnologías limpias en la construcción y la planificación urbana sostenible, que priorice la preservación del entorno natural y social. Los resultados obtenidos subrayan la necesidad urgente de adoptar medidas integrales y sostenibles para abordar estos desafíos ambientales y asegurar un desarrollo equilibrado.

Palabras clave: calidad ambiental, ciudad, condiciones de vida, gestión sostenible

ABSTRACT

The expansion of the city of Malabo over the last two decades has caused a significant increase in environmental problems, due to the lack of adequate management. This study aimed to identify and evaluate the environmental impacts associated with urban growth by using the *Rapid Impact Assessment Matrix* (RIAM) method, which allows a systematic and multi-criteria assessment in four categories: physicochemical, biological, social and economic. Among the main impacts detected are water and soil pollution, decreased air quality, noise pollution and alteration of the landscape. To mitigate these adverse effects, alternatives are proposed such as the implementation of waste management systems, the adoption of clean technologies in construction and sustainable urban planning, which prioritizes the

preservation of the natural and social environment. The results obtained underline the urgent need to adopt comprehensive and sustainable measures to address these environmental challenges and ensure balanced development.

Keywords: city, environmental quality, living conditions, sustainable management

RESUMO

A expansão da cidade de Malabo durante as últimas duas décadas causou um aumento significativo dos problemas ambientais, devido à ausência de uma gestão adequada. Este estudo teve como objetivo identificar e avaliar os impactos ambientais associados ao crescimento urbano através da utilização do método Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM), que permite uma avaliação sistemática e multicritério em quatro categorias: físico-química, biológica, social e econômica. Entre os principais impactos detectados destacam-se a contaminação da água e do solo, a diminuição da qualidade do ar, a poluição sonora e a alteração da paisagem. Para mitigar esses efeitos adversos, são propostas alternativas como a implantação de sistemas de gestão de resíduos, a adoção de tecnologias limpas na construção e o planejamento urbano sustentável, que prioriza a preservação do meio ambiente natural e social. Os resultados obtidos sublinham a necessidade urgente de adoptar medidas abrangentes e sustentáveis para enfrentar estes desafios ambientais e garantir um desenvolvimento equilibrado.

Palavras chave: cidade, condições de vida, gestão sustentável, qualidade ambiental

INTRODUCCIÓN

La protección ambiental se ha convertido en un tema de relevancia global, tanto en países desarrollados como en desarrollo. El concepto de desarrollo sostenible implica la satisfacción de las necesidades de la población mediante el uso racional y sostenido de los recursos naturales, garantizando al mismo tiempo el equilibrio entre progreso económico, bienestar social y preservación ambiental (Naciones Unidas, 1987).

La expansión urbana no planificada y el crecimiento acelerado de ciudades han generado preocupaciones ambientales significativas a nivel mundial. La expansión urbana descontrolada conlleva impactos negativos (Festus *et al.*, 2020) como la fragmentación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación ambiental; afectando gravemente la calidad de vida y los medios de subsistencia en las áreas afectadas. En el caso de Malabo, estos desafíos se agravan debido a la falta de planificación efectiva y gestión ambiental adecuada.

En Guinea Ecuatorial, el interés por los problemas ambientales ha tenido lugar a partir del 3 de agosto de 1979; fecha en que el gobierno tomó acciones e iniciativas para instar a la población, tanto urbana como rural, al cuidado y utilización racional de los recursos naturales (Ley Núm. 7, 2003). Por ello, esta investigación versa sobre el impacto que el desarrollo urbano de la isla de Bioko (Antigua Fernando Poo) viene generando en los medios de vida de los residentes de la ciudad de Malabo en las dos últimas décadas y su posible remediación.

Malabo cuenta actualmente con una población estimada en 300,000 habitantes y ha experimentado una expansión urbana significativa, en la que la superficie construida ha crecido notablemente. Sin embargo,

este crecimiento no planificado ha generado problemas ambientales, incluyendo la contaminación del agua, suelo y aire, así como el deterioro de la calidad de vida de sus residentes (Arellano y Guarachi, 2021). Para abordar estos desafíos, la implementación de herramientas como la Evaluación Ambiental Estratégica y la Evaluación de Impacto Ambiental es crucial. Estas metodologías permiten integrar consideraciones ambientales en la planificación urbana y prevenir la sobrecarga de los ecosistemas, asegurando un desarrollo más equilibrado (Rodríguez *et al.*, 2021).

El contexto específico de Malabo revela la necesidad de medidas locales adaptadas a la realidad del país. Las autoridades tienen la capacidad de incidir en los determinantes sociales y ecológicos que afectan la salud de las comunidades, tanto urbanas como rurales, creando entornos más saludables y sostenibles (Mortueruel *et al.*, 2022). Para ello, es fundamental que las políticas ambientales se alineen con los problemas principales, como la degradación de suelos, la contaminación en asentamientos humanos y la pérdida de biodiversidad, tal como lo ha demandado el nivel de desarrollo socioeconómico alcanzado (Rodríguez, 2019).

Por otro lado, la interdependencia entre los seres humanos y el resto de la naturaleza, así como los peligros que enfrenta la salud humana debido a la degradación ambiental, se ha estudiado en la actualidad, determinando los peligros asociados que afectan directamente a la salud humana (Moreno, 2022). Es por ello por lo que la planificación de proyectos urbanos, como el programa de desarrollo de la ciudad de Malabo en la Isla de Bioko, requiere protocolos de política ambiental, como la Evaluación de Impacto Ambiental, los cuales han sido deficientemente aplicados en Guinea Ecuatorial (Alcántara *et al.*, 2022). Para revertir esta situación, es necesario mejorar la gestión ambiental y maximizar los beneficios económicos y sociales del desarrollo, mientras se minimizan los impactos negativos (Esono, 2016).

El punto de partida es la identificación de aspectos ambientales y la evaluación del impacto ambiental en aras de analizar y evaluar los efectos y modificaciones que pueden tener un sistema, organización, proyecto o sitio de construcción (Yáñez, 2008). Desafortunadamente, la falta de datos científicos sobre los impactos ambientales negativos asociados a la actividad constructiva en países como Guinea Ecuatorial dificulta la toma de decisiones para mitigar dichos impactos, poniendo en peligro la calidad de vida y la salud de los ciudadanos. Además, la contaminación del agua, suelo y aire en la Isla de Bioko, particularmente en la ciudad de Malabo, ha generado problemas de salud pública como la propagación de enfermedades como la malaria y la tifoidea (Nguema y Pavageau, 2013).

En este sentido, la investigación sobre las condiciones ambientales en Guinea Ecuatorial es escasa, remontándose algunos trabajos a la época colonial española (Engonga *et al.*, 2019). Además, en el informe realizado por el Gobierno de Guinea Ecuatorial para la Organización de las Naciones Unidas [ONU] en 2015 se hace alusión a la necesidad de hacer frente a los desafíos que se derivan de los Tratados y Convenciones Ambientales Internacionales para el efectivo cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, los cuales, indican en el mismo sentido la importancia de abordar los desafíos ambientales (Ministerio de Pesca y Medio Ambiente de la República de Guinea Ecuatorial, 2015).

El punto de partida es la identificación de los aspectos ambientales y la evaluación de sus impactos en áreas críticas. El método RIAM, utilizado en esta investigación, facilita el análisis multidimensional de los impactos en categorías fisicoquímicas, biológicas, sociales y económicas; proporcionando una visión integral (Pastakia y Jensen, 1998). La hipótesis central postula que el crecimiento urbano desordenado en Malabo conlleva impactos significativos sobre los recursos esenciales como el agua, el suelo y el aire; comprometiendo la sostenibilidad ambiental de la región.

De esta forma, el objetivo principal de este estudio fue evaluar los impactos derivados de esta actividad y proponer alternativas para evitar y redimir los impactos adversos en la ciudad de Malabo. Además, se busca contribuir al mejoramiento continuo de los servicios de gestión ambiental en todo el país. Para lograr este objetivo general, se establecieron los siguientes objetivos específicos: estudiar el programa actual de desarrollo urbano en la Isla para comprender mejor la situación actual de los problemas ambientales e identificar y describir de manera detallada los impactos ambientales negativos asociados específicamente al desarrollo urbano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo no experimental analítico descriptivo para evaluar el impacto ambiental en Malabo; un enfoque que integra datos cuantitativos para formular propuestas de políticas ambientales contextualizadas. Las fuentes primarias incluyeron encuestas a la población local, mientras que las secundarias abarcaron informes gubernamentales y estudios académicos previos, para contextualizar y respaldar el análisis. Además, también se hizo uso de diferentes archivos oficiales de la oficina del Comité Nacional de Protección de Medio Ambiente en el Ministerio de Pesca y Medio Ambiente de la República de Guinea Ecuatorial [CNPMA] (2015), de la oficina de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) e informes de las ONG presentes en el país. Del mismo modo, también se diseñó una lista de verificación visual basada en los estándares, objetivos y recomendaciones de la CONAMA.

Tabla 1. *Criterios y descripción de lista de verificación.*

Criterio/Aspecto	Descripción
Enfoque de Investigación Ámbito de Estudio	Cuantitativo no experimental analítico descriptivo Impacto medioambiental en Malabo, Guinea Ecuatorial.
Fuentes de Datos	Primarias: Encuestas a la población local. Secundarias: Informes gubernamentales, estudios académicos previos, archivos oficiales (CNPMA, CONAMA), informes de ONG.
Categorías Ambientales	Método de Evaluación Ambiental Medio ambiente clasificado en cuatro categorías, con selección de componentes ambientales susceptibles al impacto.
Criterio A (Relevancia de la Condición)	A1 (Importancia del Impacto): Escala de 0 a 4, donde 4 es importancia nacional/internacional y 0 es sin importancia.
Criterio B (Desarrollo de la Condición)	B1 (Permanencia del Impacto): Escala de 1 a 3, donde 1 es sin cambio, 2 es temporal y 3 es permanente.

Fuente: Elaborada por el autor.

La metodología RIAM (*Rapid Impact Assessment Matrix*) es un sistema de evaluación que organiza y valora los impactos ambientales en proyectos específicos. RIAM clasifica los componentes ambientales en cuatro categorías: fisicoquímico, biológico-ecológico, sociocultural y económico-operacional. Para cada componente, se asignan puntajes según dos grupos de criterios: aquellos que definen la condición ambiental (importancia y magnitud) y aquellos que evalúan la permanencia, reversibilidad y acumulación del impacto. Estos puntajes se combinan mediante fórmulas matemáticas para obtener un valor final (ES) que determina la magnitud del impacto.

En esta investigación se trabajó con datos sobre la calidad del aire, agua y suelo, evaluando los impactos ambientales en Malabo. Para el procesamiento y análisis de los datos, se utilizó un software especializado para calcular los puntajes de impacto. Los resultados se presentan gráficamente, clasificando los impactos en categorías que van desde “gran impacto positivo” hasta “gran impacto negativo”, lo que facilita la interpretación de los hallazgos y la toma de decisiones.

En este sentido, el estudio se centró en evaluar el impacto del desarrollo urbano en los ecosistemas y los medios de vida social, considerando variables específicas y sus interrelaciones, para lo cual se usó en la evaluación el método de Evaluación Rápida del Impacto Ambiental (RIAM), propuesto por Pastaka en 1998 (Márquez y Espinoza, 2022). Además, se clasificó el ambiente en cuatro categorías y se seleccionaron componentes ambientales susceptibles al impacto en cada una de ellas. De este modo, la metodología RIAM se aplicó para evaluar los impactos y definir criterios de evaluación. El proceso evaluación cuenta con dos criterios, A y B. El Criterio A, que evalúa la relevancia de la condición, se divide en dos componentes: A1 y A2.

El Componente A1 clasifica la importancia del impacto en una escala de 0 a 4, donde 4 indica una importancia nacional o internacional, 3 señala una importancia regional o nacional, 2 denota una importancia local y de áreas inmediatas, 1 se refiere a una importancia solo local y 0 representa una condición sin importancia. El Componente A2, por su parte, evalúa los beneficios o perjuicios del impacto en una escala de -3 a +3. Un valor de +3 indica grandes beneficios, +2 señala mejoras significativas del estado general, +1 representa mejoras del estado general, 0 implica que no hay cambios, -1 denota cambios negativos del estado general, -2 indica cambios negativos significativos y -3 señala grandes cambios negativos.

El Criterio B, que se asocia al desarrollo de la condición, considera tres aspectos: permanencia del impacto, reversibilidad del impacto y acumulación del impacto. Para la permanencia del impacto (B1), los valores varían de 1 a 3, donde 1 significa sin cambio, 2 es temporal y 3 es permanente. La reversibilidad del impacto (B2) también se mide en una escala de 1 a 3, con 1 representando sin cambio o no permisible, 2 indicando que es reversible y 3 que es irreversible. Finalmente, la acumulación del impacto (B3) se evalúa en función de la permisibilidad y acumulación, donde 1 indica sin cambio o no permisible, 2 representa un impacto permisible y simple, y 3 denota un impacto irreversible y acumulativo o sinérgico. Este enfoque sistemático permite una evaluación integral de los impactos ambientales, considerando tanto su relevancia como su desarrollo en términos de permanencia, reversibilidad y acumulación.

RESULTADOS

El programa actual de expansión urbana en Malabo representa un esfuerzo ambicioso por modernizar la infraestructura y mejorar las condiciones en la Isla de Bioko; un desarrollo que incluye la construcción de nuevas viviendas, edificios gubernamentales, carreteras y áreas industriales. Este ensanchamiento ha planteado serios desafíos ambientales, afectando diversos componentes del medio físico-químico, biológico, económico y social. Sin una planificación urbana sostenible y una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales el desarrollo de Malabo podría resultar en un deterioro progresivo, comprometiendo la salud ambiental y el bienestar de las futuras generaciones. Para alcanzar el objetivo principal se procedió a analizar los diferentes componentes definidos previamente.

Los datos para el análisis de los resultados se obtuvieron de forma secundaria de la CONAMA. Los cálculos de los componentes del medio fisicoquímico son esenciales para comprender y evaluar la calidad ambiental. En el caso del agua, implican la medición de parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y la presencia de contaminantes como metales pesados. Para el suelo, se consideran propiedades físicas y químicas, como textura, contenido de materia orgánica y presencia de pesticidas. En cuanto al aire, se calculan contaminantes como dióxido de carbono y partículas suspendidas, fundamentales para evaluar el impacto de las actividades humanas en la calidad del aire.

El componente de agua se evaluó mediante varios parámetros. El parámetro A1 recibió un valor de 4, indicando un impacto negativo importante con una puntuación de -108 y un rango ambiental de -5 (E). El parámetro A2 fue valorado en -3, mientras que B1, B2 y B3 obtuvieron un valor de 3 cada uno. El producto total de A1 y A2 (AT) resultó en -12, y la suma de B1, B2 y B3 (BT) fue de 9. Estos valores arrojaron un rango de impacto positivo de 72 a 108, aunque el impacto negativo importante (ES) se mantuvo en -108.

El suelo recibió un valor de 3 para A1, lo que indica un impacto negativo significativo con una puntuación de -81 y un rango ambiental de -5 (E). A2 también fue valorado en -3, y B1, B2 y B3 obtuvieron un valor de 3 cada uno. La combinación de AT y BT generó un impacto positivo con un rango de 72 a 108, aunque el impacto negativo significativo (ES) se mantuvo en -81.

El componente del aire se evaluó con un valor de 4 para A1, indicando un impacto negativo significativo con una puntuación de -72 y un rango ambiental de -5 (E). A2 fue valorado en -3, y B1 y B2 obtuvieron un valor de 2, mientras que B3 recibió un 3. El resultado de AT fue -12, y BT fue 6, lo que también generó un impacto positivo dentro del rango de 72 a 108, aunque el impacto negativo significativo (ES) permaneció en -72.

El parámetro A1 del ruido obtuvo un valor de 2, indicando un impacto negativo moderado con una puntuación de -24 y un rango ambiental de -3 (C). A2 fue valorado en -2, y B1 y B2 recibieron un valor de 2 cada uno, mientras que B3 obtuvo un 3. La suma de AT fue -4, y BT fue 6, lo que resultó en un impacto positivo moderado dentro del rango de 19 a 35, aunque el impacto negativo moderado (ES) se mantuvo en -24.

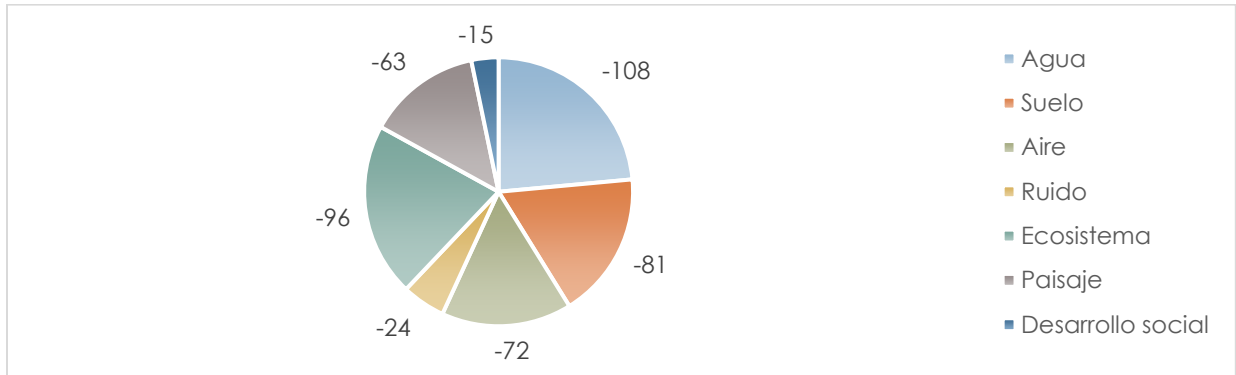
El componente del ecosistema se evaluó con un valor de 4 para A1, indicando un impacto negativo importante con una puntuación de -96 y un rango ambiental de -5 (E). A2 fue valorado en -3, y B1 y B3 obtuvieron un valor de 3, mientras que B2 recibió un 2. La combinación de AT fue -12, y BT fue 8, generando un impacto positivo importante dentro del rango de 72 a 108, aunque el impacto negativo importante (ES) permaneció en -96.

El paisaje obtuvo un valor de 3 para A1, indicando un impacto negativo significativo con una puntuación de -63 y un rango ambiental de -4 (D). A2 fue valorado en -3, y B1 y B2 recibieron un valor de 2 cada uno, mientras que B3 obtuvo un 3. La suma de AT fue 9, y BT fue 7, lo que resultó en un impacto positivo significativo dentro del rango de 36 a 71, aunque el impacto negativo significativo (ES) se mantuvo en -63.

En cuanto al desarrollo social se evaluó con un valor de 3 para A1, indicando un impacto negativo menor con una puntuación de -15 y un rango ambiental de -2 (B). A2 fue valorado en -1, y B1 recibió un valor de 2, mientras que B2 y B3 obtuvieron valores de 1 y 2, respectivamente. La combinación de AT fue -3, y BT fue 5, generando un impacto positivo menor dentro del rango de 10 a 18, aunque el impacto negativo menor (ES) permaneció en -15.

Estos resultados revelan que los impactos ambientales en Malabo son severos en componentes clave como agua, suelo y ecosistemas, destacando la necesidad de implementar estrategias de gestión ambiental centradas en la mitigación de la contaminación y la conservación del entorno natural. Las áreas de intervención clave identificadas incluyen la mejora de la gestión de residuos, la restauración de suelos y la regulación del crecimiento urbano.

Figura 2. Descripción de los impactos según el puntaje de cada componente ambiental evaluado.



Fuente: Elaborada por el autor.

DISCUSIÓN

La evaluación del medio físico y químico, que abarca agua, suelo, aire y ruido, reveló un impacto negativo importante en el agua de Malabo, con un puntaje de (-108), según RIAM. En este sentido, se identificó que la contaminación del agua proviene de vertidos de construcción y aguas residuales, con una magnitud de cambio negativo (A2= -3) y una relevancia nacional/internacional (A1= 4). Por lo tanto, se extrae de estos datos la necesidad de medidas urgentes para abordar la contaminación del agua, ya que existen impactos que perduran de manera permanente e irreversible atendiendo a los valores de (B1, B2, B3= 3). Sobre esto, cabe indicar que la evaluación total destaca la importancia de intervenciones inmediatas y sostenibles a nivel local y global para garantizar el acceso a agua potable de calidad en Malabo.

La evaluación del suelo revela un impacto negativo importante, con un puntaje de (-81) según RIAM, indicando contaminación del suelo debido a materiales extraños y desechos tóxicos, generando desequilibrios físicos, químicos y biológicos. Por otro lado, el componente suelo se clasifica con un alto rango numérico (-5) y un rango ambiental (-E), confirmando su importancia y necesidad de mediación.

Asimismo, la evaluación del aire muestra un puntaje de (-72) con un rango numérico de (-5), señalando una mala calidad del aire en Malabo, lo que aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias y cardíacas. De este modo, la relevancia nacional/internacional (A1= 4) y la magnitud del cambio negativo (A2= -3) destacan la gravedad de la situación, resaltando la necesidad de medidas inmediatas para abordar estos problemas ambientales. No obstante, aunque la permanencia y acumulación del impacto (B1, B3= 2) sugieren que los efectos persisten y se acumulan de manera permanente, la reversibilidad (B2= 2) indica cierta capacidad de recuperación.

Por todo ello, el impacto del aire se posiciona como uno de los principales desencadenantes de problemas de salud en la ciudad, y la exposición constante a un aire contaminado se asocia con el riesgo incrementado de enfermedades respiratorias e incluso cardíacas. Además, el cambio negativo en la calidad del aire en la Isla de Bioko representa una amenaza directa para la salud pública, elevando la probabilidad de infecciones respiratorias y enfermedades cardiovasculares entre los residentes.

Por otro lado, la evaluación ambiental del aire en Malabo arroja un puntaje de (-72), reflejando un impacto negativo importante según RIAM, con un rango numérico de (-5) y un rango ambiental de (-E). Sobre este dato, resulta necesario indicar nuevamente la urgencia de abordar la alteración en la calidad del aire como un problema preeminente. Por lo que respecta a la relevancia nacional e internacional de este impacto, (A1= 4) indica su trascendencia más allá de las fronteras locales, mientras que la magnitud del cambio negativo (A2= -3) señala la seriedad del deterioro. Como se ha indicado, la necesidad de medidas inmediatas y sostenibles es evidente, considerando la permanencia y acumulación del impacto (B1, B3= 2) y la reversibilidad (B2= 2).

Por el contrario, la evaluación del ruido revela un impacto negativo moderado, con un puntaje de (-24), un rango numérico de (-3) y un rango ambiental de (-C), categorizándolo como un impacto negativo moderado. Además, a pesar de que existe una importancia local (A1= 2), la magnitud del cambio negativo (A2= -2) indica mejoras significativas posibles. Sin embargo, si bien es cierto, la existencia de impacto del ruido se confirma por la ubicación de obras de infraestructura en zonas urbanas y rurales, generando contaminación acústica perceptible, y en relación con la reversibilidad del impacto (B2= 2), parece indicar que es posible mitigar los efectos en cierta medida.

El desarrollo urbano en Malabo ha desencadenado un impacto significativo en los ecosistemas locales, con un puntaje ambiental de (-96), un rango numérico de (-5) y un rango ambiental de (-E), categorizándolo como un impacto negativo importante según RIAM. Asimismo, la actividad constructiva asociada al desarrollo urbano ha generado diversos impactos adversos, incluyendo la generación de residuos sólidos, emisión de polvo, contaminación acústica y atmosférica, alteración en la calidad del agua, cambios climáticos, modificación del uso del suelo y emisiones peligrosas.

La evaluación del componente ecosistema en Malabo indica un impacto negativo importante, respaldado por una relevancia nacional/internacional (A1= 4) y una magnitud del cambio negativo (A2= -3), subrayando la urgencia de abordar estos problemas (RIAM). La permanencia, reversibilidad y acumulación del impacto (B1, B2, B3= 3) indican que estos efectos perduran de manera permanente e irreversible. En el análisis del impacto en el paisaje de Malabo muestra que este fenómeno está directamente relacionado con la generación de residuos sólidos urbanos por la actividad cotidiana de la ciudad. Además, la acumulación de basura y su gestión ineficiente han dejado una marca significativa en el entorno visual, transformando negativamente el paisaje local. Sobre esto, cabe indicar que este impacto tuvo un puntaje ambiental de (-63), con un rango numérico de (-4), y un rango ambiental de (-D), indicando un impacto negativo significativo (RIAM).

En el caso del componente paisaje destaca un impacto negativo significativo, respaldado por la importancia local (A1= 3) y la magnitud del cambio negativo (A2= -3), reflejando la transformación visual generada por la acumulación de residuos. La permanencia y acumulación del impacto (B1, B3= 2) sugieren que estos cambios persisten y se acumulan de manera permanente en el paisaje local. Sin embargo, la reversibilidad (B2= 2) indica cierta capacidad de recuperación, señalando que, con intervenciones adecuadas, es posible revertir parcialmente estos efectos. Asimismo, en cuanto al impacto social derivado

del desarrollo urbano desmedido en Malabo, revela una serie de consideraciones cruciales relacionadas con la dinámica sociocultural y económica. Aunque este componente obtuvo un puntaje ambiental de (-15), reflejando un impacto no permanente, la profundización del análisis permite identificar matices significativos en la afectación social generada por el proceso de desarrollo.

Finalmente, la evaluación del componente desarrollo local en Malabo revela un impacto negativo menor en la dimensión socioeconómica, con una importancia local ($A1= 3$) y una magnitud del cambio negativo ($A2= -1$), indicando alteraciones menores en la comunidad. La permanencia y acumulación del impacto ($B1, B3= 2$) sugieren cambios que persisten temporalmente, mostrando una adaptación gradual de la sociedad local a las transformaciones. De este modo de la evaluación se extrae que hay un impacto no permanente, pero se debe indicar que la realidad social de las zonas rurales muestra que son los más afectados por el desarrollo desigual, por tanto, aunque en zonas urbanas se muestra un progreso alto, en las urbanas es necesario intervenir dado que están afectadas por la proliferación de enfermedades y la alteración de paisajes.

Algunos estudios del paisaje local han sido llevados a cabo en Malabo, entre ellos *Principales efectos ambientales de la autovía nacional Malabo-Luba (Isla de Bioko, Guinea Ecuatorial) y propuesta de medidas correctoras desde un enfoque de restauración Ecológica*. En este trabajo, Esono (2016) describe como principales efectos ambientales la contaminación de agua residuales, destrucción de paisajes y proliferación de residuos sólidos efectos resultantes del impacto de la actividad constructiva de la autovía.

La similitud de los resultados obtenidos en diferentes trabajos presenta como denominador común el impacto ambiental generado por la actividad de la expansión urbanística. Los problemas ambientales de Malabo requieren una atención inmediata y una acción coordinada a nivel nacional para abordar los desafíos ambientales y garantizar un futuro más saludable y sostenible para el país y su población. El estudio aporta una evaluación exhaustiva y novedosa sobre los impactos negativos en los componentes agua, suelo, aire, ruido y paisaje. Utilizando el método RIAM para caracterizar y priorizar los efectos: grado crítico de contaminación de agua, el deterioro del suelo y la calidad de aire. No obstante, una de las limitaciones más significativas es la falta de propuestas específicas y detalladas para abordar cada problema identificado. Además, el enfoque ambiental del análisis podría complementarse con un estudio social y económico más profundo.

CONCLUSIONES

La evaluación exhaustiva de los impactos ambientales del desarrollo urbano descontrolado en Malabo, Isla de Bioko, Guinea Ecuatorial, ha destacado la urgencia de abordar una serie de problemas críticos. Por su parte, la contaminación del agua, tanto superficial como subterránea, debido a las actividades de construcción y aguas residuales, representa una seria amenaza para la salud pública y el bienestar de la población. De este modo, en relación con la contaminación del suelo, principalmente por la introducción de desechos y materiales tóxicos, también plantea riesgos para los ecosistemas y la salud humana. Por tanto, existe la necesidad inmediata de medidas para mejorar la calidad y disponibilidad del agua potable, así como para gestionar adecuadamente los desechos sólidos y controlar las actividades que contribuyen a la contaminación del suelo.

El aumento de la urbanización en Malabo ha resultado en la deforestación y la pérdida de hábitats naturales, afectando la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. De esta manera, la expansión urbana ha causado la destrucción de áreas verdes y la fragmentación de hábitats, lo que dificulta la

movilidad de la fauna silvestre y reduce la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios como la regulación del clima, la purificación del agua y la polinización. Además, la gestión de los residuos sólidos urbanos se ha convertido en un problema debido al aumento en la generación de basura. Por su parte, la falta de infraestructura adecuada y prácticas de gestión de residuos sostenibles ha llevado a la acumulación de basura en espacios públicos, ríos y áreas naturales, representando riesgos para la salud pública y los ecosistemas. Para paliar este problema son necesarias estrategias con un enfoque holístico que considere no solo los criterios ecológicos, sino también los sociales y económicos del desarrollo urbano.

Las conclusiones de este estudio resaltan la necesidad de implementar políticas urbanas más sostenibles y la planificación adecuada para mitigar los impactos negativos identificados. La evaluación ambiental realizada ofrece una herramienta práctica para guiar estas intervenciones, aportando datos cruciales sobre la calidad del agua, suelo, aire y ecosistemas en Malabo. Además, se sugiere la apertura de nuevas líneas de investigación centradas en la gestión de recursos naturales y la evaluación a largo plazo de la biodiversidad, lo que fortalecería aún más la base para futuras decisiones de planificación urbana y conservación ambiental. Se sugiere implementar Sistemas de Gestión de Residuos (ISGR): regulaciones ambientales en aspectos de prevención, minimización, reusó, reciclaje y depósitos, reducción del número de vertederos públicos, implementación de medidas preventivas y gestión eficiente de residuos, adopción de tecnologías limpias en la construcción (placas solares, materiales sostenibles etc.), el uso de materiales reciclados o reciclables (hormigón reciclado, acero reciclado). Planificación urbana sostenible, procesos de integración de elementos naturales, planificación de espacios verdes y abiertos, adaptación de los edificios y parques según el clima de la Isla (clima local) y fomentar la participación ciudadana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, F. B., Cantalapiedra, I. R., Fernández, M. P. y Masseck, T. (2022). *¿Cómo medir el impacto de las iniciativas ciudadanas en la sostenibilidad urbana?* *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 17(9). <https://doi.org/10.5821/ace.17.49.10413>
- Arellano, G. y Guarachi, F. (2021). Protección del medio ambiente en el contexto de una nueva constitución: recomendaciones en base a la experiencia comparada. *Estudios constitucionales*, 19(1), 66-110. <https://acortar.link/oadNnx>
- Bartra, J. y Delgado, J. M. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos y su impacto medioambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4(2), 993-1008. <https://acortar.link/cGCo07>
- Engonga, S. F.; Malavo, P.; Orbe, G.P. (Eds.). (2019). *Primera comunicación nacional a la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. Dirección General de Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Bosques y Medio Ambiente de Guinea Ecuatorial. <https://acortar.link/D7VOxu>
- Esono, S. N. (2016). *Principales efectos ambientales de la Autovía Nacional Malabo-Luba (isla de Bioko, Guinea Ecuatorial) y propuesta de medidas correctoras desde un enfoque de restauración ecológica* [Tesis de Maestría, Universidad de Alcalá]. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/26478>
- Festus, I. A., Omoboye, I.F. y Andrew, O.B. (2020). Urban sprawl: environmental consequence of rapid urban expansion. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 5(6), 110-118. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v5i6.411>

- Ley 7 de 2003. *Ley reguladora del medio ambiente*. Boletín Oficial del Estado. <https://acortar.link/cPK47h>
- Márquez, V. A. y Espinoza, J. E. (2022). *Estudio de impacto ambiental del sistema de abastecimiento de agua potable del área urbana del municipio Moncagua departamento de San Miguel año 2019* [Tesis Doctoral, Universidad de El Salvador]. <https://acortar.link/P4MGNW>
- Ministerio de Pesca y Medio Ambiente de la República de Guinea Ecuatorial. (2015). *Informe del Gobierno para la oficina del programa de las Naciones Unidas para el desarrollo*. Gobierno de Guinea Ecuatorial.
- Moreno, A. R. (2022). Salud y medio ambiente. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 65(3), 8-18. <https://acortar.link/yeY9xV>
- Morteruel, M., Bacigalupe, A. y Moreno, A. (2022). Hacia el buen gobierno por la salud: incorporación de la diversidad de percepciones en salud urbana. *Gaceta Sanitaria*, 36(1), 25-31. <https://acortar.link/W9tbwG>
- Naciones Unidas. (1987). *Brundtland Report*. <https://acortar.link/bnjGin>
- Naciones Unidas. (2015). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://acortar.link/FHlsbX>
- Nguema, J., y Pavageau, C. (2013). *Adaptación y atenuación en Guinea Ecuatorial: Actores y procesos políticos*. Center for International Forestry Research. <https://doi.org/10.17528/cifor/004082>
- Pastakia, C.M.R. y Jensen, A. (1998) The Rapid Impact Assessment Matrix (RIAM) for EIA. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(5), 461-482. [http://dx.doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00018-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00018-3)
- Rodríguez, A. (2019). La protección del medioambiente en Cuba, una prioridad gubernamental. *Revista Novedades en Población*, 15(30), 113-122. <https://acortar.link/HbyVRa>
- Rodríguez, D. W., Castillo, B., Cueva, O. y Cuevas, Rodríguez, M. (2021). Conciencia ambiental en la conservación de parques y jardines. *Hacedor-AIAPÆC*, 5(2), 96-106. <https://acortar.link/lqHSDF>
- Yáñez, A. (2008). Impacto ambiental y metodologías de análisis. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 1(1), 7-15. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2008.1.16844>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTALES

Red colaborativa para el desarrollo sostenible: una estrategia innovadora en capacitación agropecuaria.

Mauricio Javier López Leyva

Escuela Ramal del Ministerio de la Agricultura, Cuba

mauriciojavierlopezleyva@gmail.com

Collaborative network for sustainable development: an innovative strategy in agricultural training.

Leydis Sierra García, José Rey Correa Pérez

Artículo científico

Rede colaborativa para o desenvolvimento sustentável: uma estratégia inovadora na formação agrícola.

Recibido: 4/5/2024

Aceptado: 1/12/2024

Publicado: 4/12/2024

RESUMEN

La red colaborativa de gestores de capacitación técnica agropecuaria surge de una estrategia innovadora de capacitación para directivos del sistema agropecuario municipal, con el objetivo de abordar limitantes profesionales y promover el desarrollo sostenible. Mediante un estudio descriptivo y no experimental, se recopilieron datos teóricos y empíricos para evaluar la pertinencia de la red, apoyándose en la estadística descriptiva. Los hallazgos resaltan mejoras en la coordinación y liderazgo (30%), intercambio de conocimientos (43%), calidad en las actividades agrícolas (13%) y ganaderas (8%), y colaboración entre expertos (63%). Se concluye que la propuesta impacta positivamente en el desarrollo sostenible del municipio, recomendándose su continuación y perfeccionamiento para otros contextos similares.

Palabras clave: coordinación, gestores del desarrollo, liderazgo, municipio, tomadores de decisión

ABSTRACT

The collaborative network of agricultural technical training managers arises from an innovative training strategy for executives of the municipal agricultural system, aimed at addressing professional limitations and promoting sustainable development. Through a descriptive and non-experimental study, theoretical and empirical data were collected to assess the relevance of the network, relying on descriptive statistics. The findings highlight improvements in coordination and leadership (30%), knowledge exchange (43%), quality in agricultural activities (13%) and livestock activities (8%), and collaboration among experts (63%). It is concluded that the proposal positively impacts the sustainable development of the municipality, and its continuation and enhancement for similar contexts are recommended.

Keywords: coordination, decision-makers, development managers, leadership, municipality

RESUMO

A rede colaborativa de gestores de capacitação técnica agropecuária surge de uma estratégia inovadora de capacitação para diretores do sistema agropecuário municipal, com o objetivo de abordar limitações profissionais e promover o desenvolvimento sustentável. Por meio de um estudo descritivo e não experimental, foram coletados dados teóricos e empíricos para avaliar a pertinência da rede, apoiando-se na estatística descritiva. Os achados ressaltam melhorias na coordenação e liderança (30%), intercâmbio de conhecimentos (43%), qualidade nas atividades agrícolas (13%) e pecuárias (8%), e colaboração entre especialistas (63%). Conclui-se que a proposta impacta positivamente no desenvolvimento sustentável do município, recomendando-se sua continuidade e aprimoramento para outros contextos semelhantes.

Palavras-chave: coordenação, gestores de desenvolvimento, liderança, município, decisores

INTRODUCCIÓN

El desarrollo agropecuario municipal en Cuba enfrenta diversos problemas a pesar de los esfuerzos por avanzar con eficiencia desde el aprovechamiento de sus potencialidades. Resultan necesarias transformaciones estratégicas que se adapten a la realidad y evolucionen con los gestores locales. Se enfrentan desafíos demográficos, ecológicos, económicos y socio-productivos relacionados con nuevos actores y elementos que generan debate sobre la capacidad de respuesta. Según Rofman *et al.* (2016), las tendencias observadas en décadas recientes y las esperadas para las próximas implican importantes desafíos para la dinámica macroeconómica y las instituciones y tendrán implicancias importantes para el desarrollo económico y el bienestar de la población; elementos básicos para abordar las demandas de capacidades en el desarrollo sostenible en este ámbito.

Una concepción de desarrollo sostenible que impulsa las iniciativas locales para revitalizar la dimensión municipal de los procesos y perfeccionarlos. Su esencia está en el modelo de gestión territorial cubano que le otorga al gobierno municipal la necesaria descentralización de una economía centralmente planificada y la facultad de implementar instrumentos que posibiliten la aplicación integral de la concepción del desarrollo sostenible para la solución a contradicciones que se sintetizan o se derivan del proceso en curso. Es parte del proceso de actualización porque se integra al modelo económico cubano y al Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030 (León, 2013).

El desarrollo sostenible, como proceso de construcción teórica y alternativa a modelos convencionales, inicia su sistematización a partir de la década de los 70 del Siglo XX, cuando se recomienda como nuevo paradigma que presenta una forma de análisis del comportamiento de variables socioeconómicas. El desarrollo sostenible que se pretende consiste en reestructurar el sistema productivo, mejorar el nivel de vida de la población y aumentar el empleo, con un uso racional de los recursos. Sumario de asuntos que requieren de capacidades materiales e intelectuales generadoras de riquezas, mecanismos de distribución equitativa, consumo racional e intercambio justo (Gómez, 2014).

Los conocimientos constituyen un recurso esencial; razón por la que se estudia la generación y el acceso a estos para alcanzar “una concepción del desarrollo centrada en la persona como totalidad cultural concreta, así como en sus vínculos solidarios y en una relación armónica y sostenible con el ambiente” (Lima da Silveira, 2022). Para constatar el estado actual de esos aspectos en el municipio Sagua de Tánamo, provincia Holguín, Cuba; se realiza un estudio preliminar que muestra la persistencia de ideas

que se basan en una visión tradicional para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria que limita las posibilidades de transformar ese enfoque por uno que se adecue a las exigencias del contexto.

Insuficiencia que corrobora limitaciones en la consolidación de un sistema integral para la gestión de la capacitación, y que manifiesta, como una contradicción, la necesidad de contar con actores locales capaces de gestionar los procesos agropecuarios a partir de los conocimientos técnicos requeridos. Además, se evidencia la falta de una visión innovadora y fortalecida que le brinde las herramientas necesarias para contribuir al desarrollo sostenible en el contexto de la dinámica agropecuaria municipal. Por esta razón, se declara como problema científico: las deficiencias que presentan los directivos del Sistema Agropecuario Municipal para gestionar la capacitación técnica agropecuaria, las cuales obstaculizan la resolución de los problemas que se presentan en los diversos contextos socio-productivos que impulsan el desarrollo sostenible.

El análisis identifica causas que generan contradicción en las insuficientes acciones dirigidas a aprovechar las potencialidades de la capacitación en el Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo. Estas acciones son esenciales para abordar de manera transversal los contenidos relacionados con la implementación y el control de las políticas agrarias. Se observan limitaciones en la preparación científico-metodológica de los facilitadores del proceso de capacitación, lo que dificulta la sistematización de conocimientos, habilidades y valores. Es crucial destacar el potencial investigativo que ofrece el contexto socio-productivo agrícola. Asimismo, se evidencian dificultades en la concepción de un sistema integrado de gestión de la capacitación, lo que impacta en la promoción de soluciones a los problemas agropecuarios, limitando así el desarrollo sostenible. Estas causas subrayan la imperante necesidad de perfeccionar el proceso y confirman la existencia de un problema científico en el siguiente objeto de investigación: la gestión del proceso de capacitación técnica agropecuaria en el marco del desarrollo municipal.

Es pertinente destacar que existen numerosas investigaciones, reconocidas desde diversas perspectivas, que contribuyen al proceso de capacitación técnica agropecuaria y al desarrollo sostenible. Entre las más sobresalientes se encuentran las realizadas por Reyes *et al.* (2019), Carpio-Domínguez (2021) y Westreicher (2024). Estos estudios evidencian que, a pesar de los esfuerzos por garantizar una capacitación técnica agropecuaria que fomente una sólida cultura integral en los directivos del sistema y otros tomadores de decisiones a nivel local, con el objetivo de mejorar su desempeño profesional en el marco de los principios del desarrollo sostenible, persisten las siguientes carencias teóricas:

- Necesidad de considerar las potencialidades endógenas, como contexto docente socio-productivo.
- Se modela la gestión de capacitación técnica agropecuaria desde una dinámica pedagógica que no tiene en cuenta la necesidad del tratamiento transversal de los contenidos inherentes al proceso de implementación y control de las políticas agrarias en función del desarrollo sostenible para el Sistema Agropecuario Municipal, lo que limita su comprensión, implementación y control.
- Limitado tratamiento teórico del componente investigativo mediante la gestión de la capacitación técnica para la innovación agropecuaria y la integración de sus resultados al desarrollo sostenible.

A partir de estos elementos, se establece como objetivo de investigación el diseño de una red colaborativa destinada a los gestores de capacitación técnica agropecuaria, orientada hacia el desarrollo integral de los directivos y tomadores de decisiones del sistema agropecuario en Sagua de Tánamo.

La investigación se orienta desde la siguiente hipótesis: si se implementa una red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria que integre de modo transversal sus contenidos en el Sistema Agropecuario Municipal, se debe favorecer la comprensión de las políticas agrarias y su implementación en función del desarrollo sostenible. Para contrastar su validez se desarrollan las siguientes tareas de investigación:

- Fundamentar, desde la teoría, la incidencia de la integración de modo transversal de los contenidos de la capacitación técnica agropecuaria en la gestión del desarrollo sostenible.
- Evaluar el estado actual de la gestión de la capacitación técnica agropecuaria, teniendo en cuenta el desarrollo integral de los directivos del municipio Sagua de Tánamo.
- Elaborar una red colaborativa de gestores de capacitación técnica agropecuaria en función del desarrollo integral del municipio Sagua de Tánamo.
- Valorar la factibilidad de la red colaborativa de gestores de capacitación técnica agropecuaria en función del desarrollo integral del municipio.

Estos fundamentos se sustentan en que el desarrollo integral y equitativo es resultado de la participación y la creatividad consciente y colectiva que tiene en cuenta que los recursos intelectuales, son susceptibles al examen que permite reconocer que el desarrollo de este proceso formador de capacidades tiene particularidades en cuanto a los métodos para lograrlo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sagua de Tánamo es uno de los 14 municipios de la provincia Holguín, en el norte oriental de la isla de Cuba (latitud: 20° 34' 55" N y longitud: 075° 14' 29" O). Este municipio es un territorio montañoso, enmarcado en el macizo Sagua-Baracoa, limita al Norte con el municipio Frank País, al Este con el municipio Moa, al Sur con la provincia Guantánamo y al Oeste con el municipio Frank País y la provincia Guantánamo. Cuenta con una importante red hidrográfica y es uno de los lugares de mayor pluviosidad de la provincia. Tiene una extensión territorial de 704 km².

Al inventariar las necesidades de información y formación y conocer la disponibilidad de conocimientos, se emplean los procesos de la metodología AMIGA ("Metodología integral para la determinación y la satisfacción dinámica de las necesidades de formación e información en las organizaciones y comunidades"). Se tiene en cuenta que para gestionar información, conocimiento o aprendizaje; cada proceso es cíclico o iterativo y genera resultados parciales que aportan beneficios y registros de información sobre recursos de información, de conocimiento o de aprendizaje. En todos los casos se realizan ajustes a los elementos que propone la autora desde sus procesos (Núñez, 2004).

Procedimiento metodológico para gestionar la capacitación técnica agropecuaria desde la visión socio-profesional del desarrollo sostenible en Sagua de Tánamo.

Proceso I. Diagnóstico de la organización y de su entorno. El proceso de diagnóstico de la organización y su entorno del Sistema Agropecuario Municipal requirió la identificación de oportunidades y la solución de problemas de forma continua, liderado por el gestor del aprendizaje. La comprensión del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo se basó en la planificación, sistemas de información y comunicación, recursos disponibles y la evaluación de su funcionamiento interno y externo. Es crucial analizar la cultura organizacional, la comunicación con el entorno, la infraestructura tecnológica y la situación económica y

financiera para obtener una visión integral y actualizarla constantemente para reflejar con exactitud la realidad del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo.

Proceso II. Identificación y registro de usuarios/clientes potenciales. Los usuarios o clientes potenciales de la gestión de la capacitación técnica agropecuaria son aquellos cuya actividad se vincula, directa o indirectamente, con el cumplimiento de la misión y de los objetivos estratégicos del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo y se distribuyen entre sus entidades. Otras organizaciones y grupos externos, identificados como colaboradores, competidores, suministradores, distribuidores, reguladores y clientes. Se considera la estructura del sistema de información y comunicación, para determinar usuarios potenciales y definir variables para este registro y las fuentes, para extraer sus valores. El proceso actualiza organiza y maneja datos relativos a la estructura funcional del SAM. Su actualización constituye un producto/servicio de utilidad.

Proceso III. Determinación de segmentos y grupos de usuarios/clientes potenciales. Es importante la determinación de los participantes y lo que cada uno necesita y puede aportar para la solución del problema; establecer categorías, segmentos o grupos, el dominio de las técnicas de trabajo en grupo y desarrollo de la creatividad. Se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Disponibilidad de conocimientos, habilidades, capacidades, motivaciones, sentimientos y valores que poseen las personas y grupos, que pueden aportar al Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo.
- Segmento; visto como grupo real o convencional cuyos miembros tienen en común aspectos esenciales de sus necesidades o disponibilidades y comportamientos similares ante determinados mensajes, situaciones o estrategias de comunicación.

Proceso IV. Determinación de prioridades. Se debe asumir el rol de "Líder del cambio organizacional" para trazar una estrategia que priorice las necesidades de la organización y de los usuarios/clientes. Esto implica definir variables como temáticas, tipo de actividad y condiciones socioeconómicas, así como determinar grupos priorizados y registrar usuarios/clientes potenciales con sus respectivas prioridades. Todo esto con el objetivo de lograr una gestión del conocimiento más eficaz que contribuya al logro de la misión y objetivos estratégicos del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo.

Proceso V. Definición de la política diferencial de la oferta. La política diferencial de la oferta es un proceso que busca garantizar que los usuarios de menor prioridad reciban una calidad de formación e información igual o mejor que la que recibían previamente a la investigación de sus necesidades. Se utilizan variables identificadas a partir del diagnóstico de flujos de datos e información para mejorar la oferta para cada segmento, lo que requiere la selección cuidadosa de variables y características específicas para cada grupo. Este proceso es flexible y se puede adaptar a cambios en los objetivos del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo, por lo que debe ser registrado, actualizado y comunicado a la dirección para garantizar una asignación eficiente de recursos y esfuerzos.

Proceso VI. Determinación de necesidades y disponibilidades de capacitación técnica agropecuaria. El proceso se enfoca en identificar las demandas específicas de formación de los grupos, a través de un análisis detallado de la información disponible. Se deben seguir normas metodológicas para recopilar datos precisos, considerando la complejidad de algunas variables y la selección adecuada de momentos y lugares para obtener información. Las fuentes estables y dinámicas se consultan de manera diferente y se debe realizar un seguimiento continuo de las fuentes personales. El procesamiento de datos se realiza por usuario o de forma horizontal para identificar las necesidades comunes y realizar un análisis de las

variables que determinan las prioridades.

Es esencial mantener un registro actualizado de necesidades de formación e información de usuarios, que sirva de memoria de la gestión de capacitación y garantice la continuidad del servicio. Se debe actualizar en los procesos iniciales y reflejar los cambios en las demandas y disponibilidades a lo largo del tiempo. La determinación de necesidades y disponibilidades es un paso crucial para diseñar una oferta de capacitación técnica eficaz y adaptada a las demandas reales de los grupos.

Proceso VII. Diseño de la oferta (productos/servicios). Se identifican, segmentan y priorizan los usuarios/clientes potenciales. La política diferencial de la oferta se adapta a las necesidades y disponibilidades detectadas a través de la consulta de fuentes y la elaboración de estudios e informes.

Las ofertas a la medida y de mayor valor agregado se caracterizan por acciones de comunicación que promueven la creatividad, el desarrollo de la inteligencia organizacional y social. El diseño de la oferta se realiza en conjunto con el usuario, requiriendo preparación en técnicas de trabajo en grupo, habilidades de comunicación y dominio de tecnologías para garantizar un máximo aprovechamiento.

Proceso VIII. Sistematización de la tecnología de gestión de capacitación técnica agropecuaria. Permite que los procesos sean coherentes y respondan a las necesidades de los usuarios. Es importante incorporar el registro de usuarios y sus necesidades de aprendizaje, así como tener en cuenta la estructura funcional del sistema para garantizar una gestión efectiva. Se debe trabajar en grupo para desarrollar la inteligencia organizacional y asegurar que los procesos se realicen de manera integral por un mismo equipo, evitando distorsiones en la comunicación. Es necesario contar con normas flexibles para garantizar un flujo tecnológico eficiente.

Proceso IX. Evaluación de calidad y utilidad de la gestión de capacitación técnica agropecuaria. Se basa en la obtención y comunicación adecuada de información, su registro y procesamiento, autoevaluación del proceso de gestión del conocimiento y la satisfacción de necesidades de aprendizaje. La metodología AMIGA facilita la evaluación de la calidad de la preparación del personal y resultados de la implementación. La comunicación constante y dinámica permite conocer criterios de los interlocutores en el Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo y adaptarse a sus necesidades y disponibilidades de formación e información. La evaluación se realiza de forma continua a lo largo del proceso, con la posibilidad de hacer cortes evaluativos en momentos específicos si es necesario.

Se realizaron talleres metodológicos para preparar a los integrantes de la red colaborativa de gestores de capacitación técnica agropecuaria, teniendo en cuenta la concepción de sus acciones. Se llevó a cabo un diagnóstico del Sistema Agropecuario de Sagua de Tánamo, se identificaron y registraron usuarios/clientes potenciales, se determinaron segmentos y grupos de usuarios/clientes potenciales, se jerarquizaron prioridades entre grupos para gestionar la capacitación técnica agropecuaria y se definió la política diferencial de la oferta. Esto condujo al diseño de ofertas específicas de productos y servicios con la metodología desarrollada para determinar grupos de participantes en cada taller, temas a trabajar, orden de realización, calendario de ejecución y diseño estructural de los talleres.

Los talleres se estructuran en una introducción para socializar, presentar los objetivos y fundamentos teóricos, seguido por el desarrollo mediante análisis y debate, registro de intervenciones y conclusiones que resumen aspectos fundamentales. Al finalizar cada taller, se analizan los elementos registrados para perfeccionar la propuesta, revelando la dinámica de la gestión de capacitación técnica agropecuaria a partir de la observación de cambios posteriores a la puesta en práctica de la red colaborativa de gestores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron talleres considerados como preparatorios para la construcción colectiva de una red colaborativa en la gestión de la capacitación técnica agropecuaria que se centraron en tres áreas clave:

- Capacitación de los participantes en técnicas de Educación Popular.
- Desarrollo colectivo de potencialidades para el ordenamiento productivo agrícola, forestal y ganadero, en el marco del Sistema Alimentario Local.
- Presentación de la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria.

Uno de los talleres se enfocó en preparar a los participantes en técnicas de Educación Popular y en la gestión del Sistema Alimentario Local, en consonancia con la Ley de Seguridad y Soberanía Alimentaria Nutricional. Durante este taller, se evidenció un alto interés por parte de los asistentes (95%) en adquirir conocimientos que les permitan actuar de manera efectiva en sus comunidades. Se identificó (100% de los participantes) la necesidad de profundizar en el uso de tecnologías de la información y la comunicación para mejorar la gestión de las iniciativas agropecuarias.

En otro taller, se abordó la importancia de la capacitación técnica como herramienta fundamental para la ejecución de las funciones estatales del Ministerio de Agricultura. Se seleccionaron tres expertos en el tema (agrícola, ganadero y en gestión de archivos agropecuarios) y se designaron facilitadores con preparación específica en la gestión agropecuaria (11; uno por cada función estatal) para guiar el proceso de construcción de la red colaborativa.

Finalmente, en un tercer taller, se presentó formalmente la red colaborativa, alineada con los objetivos de desarrollo sostenible a nivel municipal. Se detallaron las funciones específicas de cada ámbito laboral involucrado y se destacó la relevancia de una capacitación técnica profunda para fortalecer el desarrollo agropecuario en el ámbito municipal.

La evaluación de estos talleres por parte de los participantes reflejó un reconocimiento de los logros alcanzados y un compromiso renovado hacia la formación continua y la colaboración en la gestión agrícola. El interés manifestado por ampliar sus conocimientos y habilidades es un indicativo positivo del impacto de estos esfuerzos formativos.

Valoración del nivel de pertinencia y relevancia de la propuesta.

Se perfeccionó la propuesta, incorporando las sugerencias surgidas de los talleres de construcción colectiva enfocados en las potencialidades gestoras del ordenamiento productivo agrícola, forestal y ganadero en relación con el Sistema Alimentario Local. Tomando en cuenta los aportes significativos de diversos autores en cuanto a:

- El “análisis (con) base en la experiencia y conocimientos de profesionales o especialistas en áreas específicas para determinar la validez o fiabilidad de resultados obtenidos” (Patton, 2002).
- El proceso de “consulta a personas especializadas en determinado campo para obtener información o consejo sobre un tema específico” (Fisher, 1993).
- La “recopilación y análisis de información a partir de la opinión y juicio de personas con experiencia y conocimientos especializados en un campo determinado” (Creswell, 2014).

- El enfoque utilizado para validar la calidad o relevancia de un estudio o investigación mediante la revisión y evaluación de expertos en el tema (Yin, 2003).
- La utilización sistemática del juicio intuitivo de un grupo de expertos para obtener un consenso de criterios informados (Valdés y Pérez, 1999).

Especial interés se presta a la metodología propuesta por Moráguez (2001), la que se considera adecuada para la investigación, al facilitar la selección de expertos y proporcionar procedimientos para:

- La definición del objeto de estudio antes de seleccionar a los expertos para tener claridad sobre el tema o área de investigación. Esto implica identificar los objetivos del estudio y las preguntas de investigación que se pretenden responder.
- La definición de los criterios de selección, claros y específicos que los expertos deben cumplir. En este sentido, se asumen los siguientes criterios: a) formación académica y profesional en el área de estudio, b) experiencia relevante en el campo, c) reconocimiento por pares (publicaciones, conferencias, etc.), y d) participación en proyectos similares.
- La identificación de expertos, fase que se lleva a cabo mediante un proceso de búsqueda y selección de candidatos potenciales que cumplen los criterios establecidos. Para ello, se realizan consultas a bases de datos académicas, se utilizan redes profesionales y se piden recomendaciones a colegas e instituciones.
- La evaluación de candidatos una vez identificado los potenciales expertos. Se procede a evaluar su adecuación mediante entrevistas, revisión de publicaciones, currículum y referencias. La evaluación asegura que los candidatos son expertos en la materia, y que tienen habilidades de comunicación y disposición para colaborar.
- La selección final con base en la evaluación, del grupo de expertos que se considera adecuado para el proyecto. Una selección flexible, que permite elegir expertos para diferentes áreas o preguntas de investigación.
- La consulta y participación activa de los expertos seleccionados a lo largo del proyecto; en este sentido se utilizan espacios como reuniones, talleres y entrevistas en las que se pueden involucrar los investigadores y recoger opiniones y aportaciones.
- La reflexión y ajuste sobre el proceso de selección y el desempeño de los expertos durante el estudio que permite ajustar criterios y metodologías futuras y asegura que se logren los objetivos planteados.

La metodología que propone Moráguez (2001) subraya la importancia de un proceso riguroso y estructurado que considera la experiencia y conocimientos de los expertos, su disposición a colaborar y su capacidad para comunicar sus ideas efectivamente. Esto garantizó un trabajo robusto y basado en perspectivas informadas y relevantes que condujo a que los expertos señalaran que la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria:

- Es una estrategia novedosa que fomenta la participación activa, el intercambio de conocimientos y el compromiso entre sus integrantes.
- Tiene un carácter inclusivo e innovador en la gestión de la comunicación, así como su sistema de evaluación y mejora continua.
- Tiene potencial para resolver problemas relacionados con la organización del Sistema Alimentario Local, la incorporación de elementos teóricos y metodológicos para establecer alianzas externas, y el uso de tecnologías y herramientas digitales para solucionar problemas en este ámbito.

- Establece importantes relaciones para la sistematización de contenidos.

La red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria se centra en fortalecer y optimizar las capacidades de los actores involucrados en el Sistema Alimentario Local. A continuación, se presentan algunas recomendaciones que ofrecen los expertos para perfeccionar la red y sus acciones:

- Realizar sistemáticamente el diagnóstico conjunto para identificar necesidades específicas de capacitación en el sector agropecuario, considerando las particularidades de cada ámbito del sector (presupuestado, empresarial estatal y cooperativo), la demarcación y los actores involucrados (directivos, productores, procesadores, distribuidores y comercializadores).
- Promover la colaboración entre la Universidad de Holguín, la Universidad de Moa, el Centro Universitario Municipal de Sagua de Tánamo, cooperativas, y organismos gubernamentales; para compartir recursos y experiencias en capacitación técnica agropecuaria.
- Ofrecer programas de capacitación que incluyan aspectos técnicos agropecuarios, enfoques sobre sostenibilidad, agroecología, seguridad alimentaria y nutricional y economía circular.
- Implementar metodologías de enseñanza que favorezcan el aprendizaje práctico, como talleres, visitas técnicas, y tutorías; así como aumentar los recursos en línea que puedan facilitar el acceso a la información y la formación continua.
- Establecer un sistema de evaluación y seguimiento de los programas de capacitación, que permita medir su eficacia y realizar ajustes oportunos en función de los resultados.
- Incluir en los programas de capacitación contenidos que aborden habilidades empresariales, acceso a mercados, y estrategias de comercialización, para empoderar a productores para que mejoren su situación económica.
- Asegurar que las capacitaciones sean inclusivas, promoviendo la participación de grupos vulnerables, como mujeres, jóvenes y personas con necesidades especiales, para garantizar que todos los actores del Sistema Alimentario Local tengan igualdad de oportunidades.
- Integrar el uso de tecnologías digitales en los procesos de capacitación, facilitando el acceso a información actualizada, herramientas de gestión, y redes de contacto que puedan beneficiar a los productores.
- Difundir casos de éxito y buenas prácticas en la gestión agropecuaria, para inspirar e incentivar a otros productores y actores del Sistema Alimentario Local a adoptar métodos y estrategias que lleven al desarrollo sostenible.
- Mantener un canal de comunicación abierto donde los participantes de las capacitaciones puedan brindar retroalimentación, sugerencias y compartir experiencias, que permita ajustar y mejorar los programas a lo largo del tiempo.

Los expertos destacan la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria como una herramienta indispensable y muy adecuada en el contexto del Sistema Alimentario Local, lo cual sugiere que su implementación es clave para desarrollar y fortalecer capacidades técnicas, favorecer la colaboración entre distintos actores, promover el intercambio de conocimientos y mejores prácticas. La introducción gradual de la red, concebida como un enfoque estratégico, permitirá realizar ajustes basados en retroalimentación y resultados, asegurando su alineación con las necesidades del sector agropecuario y estableciendo un sistema de capacitación efectivo y pertinente.

Introducción de la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria.

La red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria se centró en la colaboración de diferentes actores clave y busca mejorar las capacidades en el sector mediante intercambios de conocimientos, coordinación de acciones y evaluación de impacto. A continuación, se desglosan:

1. Las ideas centrales relacionadas con:

Colaboración entre actores clave:

- Participación del Delegado Municipal del Ministerio de la Agricultura.
- Involucramiento de la Metodóloga Municipal de la Escuela Ramal del Ministerio de la Agricultura.
- Asesores técnicos y equipos de gestión.
- Evaluadores que miden el impacto de las acciones ejecutadas.

Intercambio de conocimientos:

- Facilitación de un entorno que comparte experiencias, técnicas y buenas prácticas.
- Creación de un repositorio digital accesible a todos los miembros de la red.

Coordinación y Soporte:

- Mejorar la coordinación de actividades entre los actores involucrados.
- Proporcionar apoyo técnico y herramientas adecuadas para la capacitación.

Evaluación de Impacto:

- Evaluación continua para identificar áreas de mejora.
- Utilización de métricas claras para medir el éxito de las iniciativas.

Uso de Tecnologías Digitales:

- Incorporación de plataformas digitales y redes sociales para difundir la información.
- Uso de aplicaciones de mensajería para la comunicación entre los participantes.

Estrategia de Participación Activa:

- Implementación de estrategias para incentivar la participación en las capacitaciones.
- Creación de espacios para la discusión y el aprendizaje colaborativo.

2. Principales resultados de su implementación:

Incremento en la participación:

- Aumentado el número de beneficiarios que asisten a las capacitaciones un 10%.
- Mayor involucramiento de la comunidad agrícola en las actividades programadas.

Mejora de la calidad de capacitación:

- Capacitación de gestores de conocimiento con un enfoque en la calidad y relevancia.
- Desarrollo de materiales y recursos educativos que responden al sector.

Fortalecimiento de la coordinación y liderazgo:

- Mejora en la capacidad de liderazgo del Delegado Municipal y otros actores clave.
- Mayor eficiencia en la planificación y ejecución de actividades.

Aumento en el Intercambio de conocimientos:

- Creación de un ecosistema de aprendizaje continuo y colaborativo.
- Difusión de buenas prácticas y soluciones innovadoras en el sector agropecuario.

Evaluación y mejora continua:

- Identificación de áreas críticas que requieren atención y mejora (consolidación del Sistema Alimentario Local, ordenamiento del sistema agroindustrial municipal y cultura cooperativa).
- Ajustes en la planificación estratégica basada en la retroalimentación recogida. (Plan único municipal de capacitación agropecuaria)

Sostenibilidad y desarrollo a corto, mediano y largo plazo:

- Formación de una red sólida que pueda operar de manera sostenible en el tiempo.
- Establecimiento de alianzas externas que enriquezcan el proceso de formación.

Fortalecimiento de capacidades locales:

- Empoderamiento de las comunidades para que gestionen de forma autónoma sus procesos de capacitación.
- Reducción de la dependencia de recursos externos.

La implementación de la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria tiene el potencial de transformar de manera significativa el sector, creando un entorno más colaborativo, eficiente y sostenible. Al maximizar la coordinación y el intercambio de conocimientos, se espera mejorar la capacitación, e impulsar un desarrollo agrícola más robusto y exitoso a largo plazo.

CONCLUSIONES

La gestión de la capacitación técnica agropecuaria de directivos tiene un impacto significativo en el desarrollo sostenible de un municipio, ya que la formación y capacitación de los líderes locales puede influir en la implementación de prácticas sostenibles en el sector agropecuario y en otros ámbitos del municipio Sagua de Tánamo.

El diagnóstico realizado sobre la gestión de la capacitación técnica agropecuaria de directivos en Sagua de Tánamo reveló deficiencias que limitan la visión socio-profesional del desarrollo sostenible. La elaboración de una red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria específica para el municipio constituye un paso importante para mejorar la visión socio-profesional del desarrollo sostenible.

La valoración de la factibilidad y pertinencia de la red colaborativa para la gestión de la capacitación técnica agropecuaria en función de la visión socio-profesional del desarrollo sostenible del municipio facilitó la identificación de obstáculos y desafíos y la propuesta de alternativas para superarlos a partir de su implementación efectiva como contribución en la identificación de oportunidades para su éxito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carpio-Domínguez, J. L. (2021). Crimen organizado (narcotráfico) y conservación ambiental: El tema pendiente de la seguridad pública en México. *Revista CS*, 33, 237–274. <https://acortar.link/wiSxIS>
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (4th Ed.). Sage. <https://acortar.link/DJQx9c>
- Fisher, R. J. (1993) *Social Desirability Bias and the Validity of Indirect Questioning*. *Journal of Consumer Research*, 20, 303-315. <http://dx.doi.org/10.1086/209351>
- Gómez, J. L. (2014). Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, XXII (1), 115–136. Universidad Militar Nueva Granada. <https://www.redalyc.org/journal/123/1234567890.html>
- León, S. (2013). *La formación de promotores ambientales comunitario para la actividad físico-deportiva* [Tesis de doctorado, Universidad de Granma]. Repositorio Dialnet. <https://acortar.link/VgAk44>
- Lima da Silveira, L. (2022). Diálogos sobre ciência do desenvolvimento regional: Entrevista com o doutor Rogério Leandro Lima da Silveira. *DRd – Desenvolvimento Regional em debate*, 12(Edición especial 3),26-32. <https://doi.org/10.24302/drd.v12ied.esp.3.4264>
- Moráguez, A. (2001). *Propuesta de indicadores para evaluar la eficiencia externa de las escuelas politécnicas industriales de la provincia de Holguín* [Tesis de maestría no publicada]. Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño.
- Núñez, I. (2004). AMIGA: Una metodología integral para la determinación y la satisfacción dinámica de las necesidades de formación e información en las organizaciones y comunidades. *ACIMED*, 12(4), 1-31. <https://acortar.link/z5YlF>
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods*. Sage Publishing.
- Reyes, J. y Moros, H. (2019). La cultura organizacional: Principales desafíos teóricos y metodológicos para su estudio. *Revista Estudios del Desarrollo Social. Cuba y América Latina*, 7(1), 201-217. <https://acortar.link/XahNU2>
- Rofman, R., Amarante, V. y Apella, I. (Eds.). (2016). *Cambio demográfico y desafíos económicos y sociales en el Uruguay del siglo XXI*. Naciones Unidas. <https://acortar.link/jS5OFL>
- Valdés, H. y Pérez, F. (1999). *Calidad de la educación básica y su evaluación*. Pueblo y Educación.
- Westreicher, G. (2024). Planificación: Qué es, tipos y ejemplos. *Economipedia*. <https://acortar.link/B5Jhs5>
- Yin, R. K. (2003). *Applications of case study research* (Vol. 34). Sage. <https://acortar.link/6chjyz>



EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Percepción de la sustentabilidad en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Estudio de caso en la comuna Concepción, Chile.

Sustainability Perception in the Context of the Sustainable Development Goals: A Case Study in the Commune Concepción, Chile.

Percepção da Sustentabilidade no Contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Estudo de Caso na Comuna Concepción, Chile.

Josefa Antonia Montoya Yañez
Universidad de Concepción, Chile
jmontoya2017@udec.cl

Marcela Andrea Salgado Vargas y
Ana Carolina Baeza Freer

Estudio de caso

Recibido: 22/1/2024
Aceptado: 19/12/2024
Publicado: 25/12/2024

RESUMEN

En este estudio se analiza la relación entre la percepción ambiental y la actitud ciudadana en Concepción, Chile, así como su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Utilizando un enfoque secuencial y metodologías mixtas, se analizaron respuestas de 100 residentes a encuestas presenciales y online, empleando el software SPSS para el análisis estadístico. Observándose que la población encuestada, mayoritariamente femenina, mostró una percepción ambiental intermedia a alta, con especial énfasis en la crítica sobre la calidad del aire y la gestión de residuos; además de una actitud proactiva hacia el cambio climático y la gestión ambiental. Se encontró una correlación significativa entre la percepción ambiental y la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en temas de agua, energía, ciudades sostenibles, consumo responsable y acción climática. Los resultados subrayan la importancia de la sensibilización, participación ciudadana y educación ambiental para avanzar en la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se recomienda reforzar la educación ambiental y la participación comunitaria para enfrentar eficazmente los retos ambientales y lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la comuna.

Palabras clave: comportamiento ambiental, conciencia ambiental, educación ambiental, gestión ambiental local, participación ciudadana, política ambiental local

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between environmental perception and citizen attitude in Concepción, Chile, as well as its contribution to the Sustainable Development Goals. Using a sequential approach and mixed methodologies, responses from 100 residents to in-person and online surveys were analyzed, using SPSS software for statistical analysis. It was observed that the surveyed population, mostly female, showed an intermediate to high environmental perception, with special emphasis on criticism regarding air quality and waste management; in addition to a proactive attitude towards climate change and environmental management. A significant correlation was found between environmental perception

and contribution to the Sustainable Development Goals, especially in issues of water, energy, sustainable cities, responsible consumption and climate action. The results underline the importance of awareness, citizen participation and environmental education to advance the implementation of the Sustainable Development Goals. It is recommended to strengthen environmental education and community participation to effectively face environmental challenges and achieve the Sustainable Development Goals in the commune.

Keywords: environmental awareness, environmental behavior, environmental education, citizen participation, local environmental management, local environmental policy

RESUMO

Este estudo analisa a relação entre percepção ambiental e atitude cidadã em Concepción, Chile, bem como sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Utilizando uma abordagem sequencial e metodologias mistas, foram analisadas as respostas de 100 moradores a pesquisas presenciais e online, utilizando o software SPSS para análise estatística. Observou-se que a população pesquisada, majoritariamente feminina, apresentou percepção ambiental intermediária a alta, com destaque para críticas quanto à qualidade do ar e ao gerenciamento de resíduos; além de uma atitude proativa em relação às mudanças climáticas e à gestão ambiental. Foi encontrada uma correlação significativa entre a percepção ambiental e a contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente em questões de água, energia, cidades sustentáveis, consumo responsável e ação climática. Os resultados ressaltam a importância da conscientização, da participação cidadã e da educação ambiental para promover a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Recomenda-se fortalecer a educação ambiental e a participação da comunidade para enfrentar efetivamente os desafios ambientais e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na comuna.

Palavras-chave: comportamento ambiental, consciência ambiental, educação ambiental, gestão ambiental local, participação cidadã, política ambiental local

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible representa uno de los mayores desafíos de la sociedad actual, requiriendo ciudadanos conscientes de los riesgos e impactos ambientales de sus acciones (Li *et al.*, 2022). La percepción ambiental juega un rol fundamental en este contexto, siendo un reflejo en la conciencia del ser humano de los elementos que conforman el ambiente, influenciando sus actitudes y acciones (Zeng *et al.*, 2020). La crisis climática y otros problemas ambientales actuales, evidenciados por la urgencia de actuar para contrarrestar el deterioro de ecosistemas, han llevado a que la percepción ambiental se convierta en un factor crítico para la sociedad (Shutaleva *et al.*, 2021).

En Chile, la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2015 marcó un compromiso en la lucha contra problemáticas como la pobreza y la protección del planeta (Sianes *et al.*, 2022). La VIII región del Bio-Bio, y específicamente la comuna Concepción, representa un caso de estudio relevante, donde la percepción ambiental de la población y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible son de particular interés. Este estudio analizó cómo la percepción ambiental en Concepción contribuyó al alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, centrándose en la sensibilización, educación y responsabilidad individual.

La percepción ambiental se define como el reflejo en la conciencia humana de los elementos del entorno, afectando las actitudes y decisiones (Fernández, 2008). Esta percepción no se encuentra aislada, ya que intervienen una variedad de características personales y sociales (Rajapaksa *et al.*, 2018).

En el debate sobre percepción ambiental se destaca la discrepancia entre la percepción del riesgo ambiental y los comportamientos de protección ambiental (Liu *et al.*, 2021). Mientras algunos estudios sugieren una relación directa, otros indican que las percepciones de riesgo no siempre conducen a comportamientos proambientales consistentes (Yuan *et al.*, 2022).

Las variables que influyen en la percepción ambiental incluyen aspectos personales, culturales y del entorno físico. Estas variables se analizan en términos de conocimiento, percepción y disposición al cambio (Alptekin *et al.*, 2020).

Los factores que determinan la percepción de los riesgos ambientales incluyen características como sexo, edad, valores culturales y niveles económicos (Zeng *et al.*, 2020). La percepción de la población sobre los riesgos ambientales más perjudiciales para la salud es un aspecto clave para medir la evolución de la opinión ciudadana sobre estas temáticas.

Las concepciones sobre el ambiente varían, incluyendo visiones naturalistas, éticas, prácticas y político-sociales, todas ellas influyendo en la percepción de la sostenibilidad (Groves, 2019). Estas concepciones evolucionan a lo largo de la historia y su estudio debe ser constante (Mustonen *et al.*, 2016).

La investigación se centró en evaluar si la percepción del riesgo ambiental y la actitud ciudadana contribuían al alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la comuna Concepción. El objetivo general fue analizar el nivel de percepción de la sostenibilidad en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con objetivos específicos orientados a caracterizar la población de la comuna, medir su percepción ambiental y determinar su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible a nivel local.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología implementada se rigió por un enfoque secuencial meticuloso y estratégico, perfectamente alineado con los objetivos trazados para la investigación en la comuna Concepción, un entorno geográfico y demográfico singular, caracterizado por su subdivisión en 13 macrosectores. Este enfoque permitió un análisis exhaustivo y detallado de las dinámicas ambientales y sociales presentes en esta región.

Al abordar el estudio de la población comunal, se examinó minuciosamente un amplio espectro de 238,661 habitantes, basándose en datos demográficos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas correspondientes al año 2017 y proyecciones actualizadas hasta el 2025. Este análisis no solo consideró la distribución demográfica en términos de edad y género, sino que también capturó las dinámicas socioeconómicas que moldean la realidad local.

El análisis de la situación ambiental se convirtió en una exploración profunda y multidimensional, abordando aspectos cruciales como la calidad del aire, el estado del saneamiento ambiental, la gestión de residuos, la pureza del agua y la conservación de los ecosistemas locales, incluyendo humedales y bosques. Este enfoque holístico permitió comprender la complejidad de los desafíos ambientales que enfrenta la comuna Concepción.

En el desarrollo de las actividades de investigación, se desplegó un esfuerzo exhaustivo para recopilar datos precisos y relevantes, aprovechando fuentes certificadas y recursos en línea de alta calidad. Esta fase de recopilación de datos sentó las bases, lo suficientemente sólidas, para un análisis riguroso y objetivo, garantizando la fiabilidad y validez de los hallazgos obtenidos.

La selección de la muestra se llevó a cabo de manera estratégica, utilizando criterios meticulosos que garantizaban una representación adecuada de la diversidad y complejidad de la comunidad. Esta aproximación permitió capturar una amplia gama de perspectivas y experiencias, enriqueciendo así la validez y la robustez de los resultados del estudio. La muestra se calculó utilizando un enfoque de muestreo por conglomerados, seleccionando juntas de vecinos de diferentes macrosectores de la comuna Concepción (norte, sur, este, oeste y centro). Esto permitió abarcar el mayor territorio posible y garantizar la representación geográfica. Dentro de cada conglomerado, la selección de participantes se realizó por conveniencia, debido a las limitaciones de recursos y tiempo.

La elaboración de una encuesta, tanto presencial como en línea, representó un hito importante en el proceso de investigación. Esta herramienta permitió explorar las percepciones y actitudes de la población hacia su entorno, proporcionando una visión invaluable para comprender las necesidades y preocupaciones de la comunidad.

La aplicación del instrumento de investigación se llevó a cabo con la colaboración activa de organizaciones locales, lo que facilitó un acceso más amplio y una participación más significativa de la comunidad en el proceso de investigación. Esta colaboración fortaleció la legitimidad y relevancia de los hallazgos obtenidos, al tiempo que fomentó un sentido de propiedad y compromiso con los resultados del estudio.

El análisis de datos, realizado con herramientas estadísticas avanzadas como SPSS, permitió identificar patrones y tendencias significativas en las respuestas recopiladas. Este análisis riguroso proporcionó una comprensión más profunda de las complejidades y dinámicas subyacentes que influyen en las percepciones y actitudes de la comunidad hacia su entorno.

Finalmente, la interpretación de los resultados no solo arrojó luz sobre las percepciones ambientales en la comuna Concepción, sino que también exploró cómo estos resultados se relacionan con las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Este enfoque integrado resalta la importancia de la investigación empírica en la formulación de políticas y estrategias para abordar los desafíos ambientales globales.

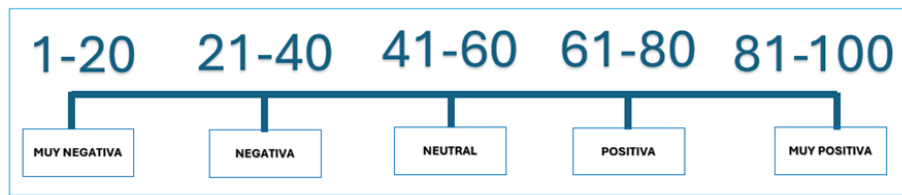
En términos de limitaciones y brechas del estudio, se reconocieron y abordaron aspectos críticos como las barreras de acceso, la complejidad de la percepción ambiental, el analfabetismo funcional y los sesgos culturales en la interpretación de los datos. Estas reflexiones críticas sirvieron como punto de partida para futuras investigaciones y acciones destinadas a mejorar la comprensión y gestión de los desafíos ambientales en la comuna Concepción.

Figura 1: Escala de medición de variables.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 2: Escala de medición de percepción ambiental.

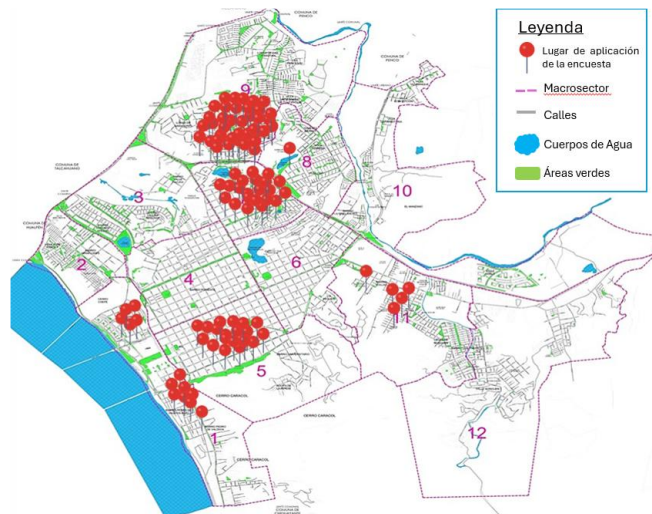


Fuente: Elaborada por los autores.

RESULTADOS

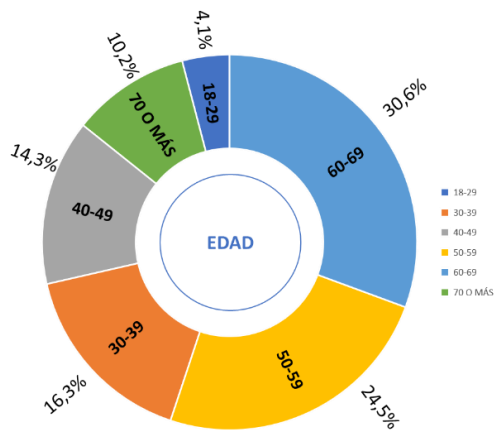
Se realizó un análisis demográfico exhaustivo de 100 participantes de Concepción (*figura 3*), desglosando los datos por edad, sexo y nivel educativo. Los resultados se presentan visualmente para facilitar su comprensión y respaldar los hallazgos clave. Se destacó una representación mayoritaria de adultos, especialmente en la franja de 60-69 años (*figura 4*) y una predominancia femenina del 74% (*figura 5*). Estos hallazgos sugieren una posible correlación entre el género, la edad y la percepción ambiental, ofreciendo una base sólida para explorar las dinámicas subyacentes que influyen en las actitudes hacia el ambiente.

Figura 3: Plano de macro sectores de la comuna de Concepción y lugares de encuestas aplicadas.



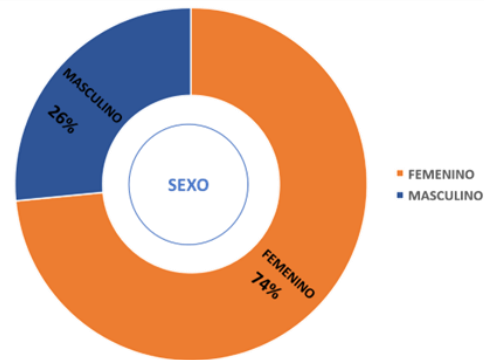
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 4: Distribución por edades.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 5: Distribución por género.



Fuente: Elaborada por los autores.

Para comprender mejor la percepción ambiental, se realizó un análisis de cuatro variables clave utilizando el programa SPSS, basándose en respuestas específicas de la encuesta. Este enfoque permitió identificar tendencias significativas y patrones emergentes en la forma en que los participantes perciben su entorno. El análisis reveló una percepción generalizada de deterioro ambiental, con un 30.6% de los participantes identificando el estado del medio ambiente como problemático. Específicamente, la calidad del aire y la gestión de residuos surgieron como áreas de preocupación, con la mayoría de los encuestados calificándolas como regulares o deficientes. Además, un alto porcentaje expresó la urgencia de tomar medidas contra el cambio climático, reflejando una creciente conciencia sobre este tema crucial.

En cuanto a la responsabilidad ambiental, los resultados señalaron una tendencia entre los encuestados a considerar aspectos ecológicos en sus decisiones de consumo, aunque estas decisiones también estuvieron influenciadas por factores económicos. Además, se identificó una fuerte percepción de responsabilidad individual y comunitaria en la gestión ambiental, lo que sugiere un compromiso palpable con la protección del ambiente.

En términos de actitud ambiental e intención de incorporarse al cambio, se observó una inclinación hacia comportamientos proambientales, aunque moderada por consideraciones económicas personales. Las respuestas también indicaron una disposición para educarse más sobre temas ambientales y apoyar legislaciones más estrictas, lo que subraya un impulso hacia la acción y la mejora continua.

Respecto a la formación ambiental, si bien se identificó un nivel medio de conocimiento ambiental, también se destacó la necesidad de una educación adicional, especialmente en áreas como biodiversidad y comprensión del cambio climático. Este hallazgo destaca la importancia de fortalecer los programas educativos en materia ambiental para fomentar una mayor conciencia y comprensión entre la población. Para cuantificar las respuestas, se aplicó una metodología de Likert, revelando una percepción ambiental general positiva, aunque también identificando áreas específicas que requieren atención y mejora. Este enfoque metodológico proporcionó una estructura sólida para evaluar y comparar las respuestas de manera sistemática.

En términos de su contribución a las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, los resultados mostraron contribuciones directas a varios de ellos, subrayando la necesidad de mejoras en áreas como acceso al agua potable, energía sostenible, gestión de residuos, biodiversidad, educación y acción

climática. Estos hallazgos resaltan la importancia de integrar estrategias de desarrollo sostenible en las políticas y prácticas locales para abordar los desafíos ambientales de manera efectiva y holística.

DISCUSIÓN

Las tendencias y percepciones ambientales identificadas en este estudio de la comuna Concepción se conectan con hallazgos de investigaciones previas, sugiriendo puntos de convergencia y relevancia en la investigación ambiental.

La notable participación y compromiso de las mujeres en los temas ambientales, observado en la comuna Concepción, resuena con hallazgos en la literatura científica que destacan una mayor conciencia y participación femenina en asuntos ambientales. Por ejemplo, la investigación de Strumskyte *et al.* (2022) apunta hacia una creciente implicación de las mujeres en la gestión y sensibilización ambiental.

La percepción crítica de los habitantes de Concepción sobre la calidad del aire y la gestión de residuos refleja tendencias similares observadas en otros contextos urbanos, donde la preocupación por la contaminación y la acumulación de residuos es cada vez más palpable, destacando la creciente demanda ciudadana por políticas eficaces en la gestión ambiental.

La actitud proactiva hacia el cambio climático y la gestión ambiental en Concepción se alinea con una tendencia global creciente hacia la conciencia y acción ambiental, impulsada por la educación y la difusión de información. Investigaciones como las de Fairbrother (2022) y Khatibi (2021) subrayan este cambio en la percepción pública y la creciente disposición para actuar en favor de la sostenibilidad.

Estos paralelismos con estudios previos resaltan la importancia de la percepción ambiental en Concepción dentro de un contexto global, donde la conciencia y la acción en torno a la sostenibilidad y la gestión ambiental son cada vez más cruciales.

CONCLUSIONES

En el estudio realizado sobre la percepción ambiental y la actitud ciudadana en la comuna Concepción, Chile, se examinó su contribución al avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. A través de un enfoque metodológico secuencial y el análisis de datos recopilados de 100 residentes mediante encuestas, se identificaron tendencias significativas en la percepción ambiental de la población.

Los resultados del estudio revelaron una percepción ambiental de nivel intermedio a alto entre los encuestados, con una notable participación femenina, reflejando un mayor compromiso de las mujeres en cuestiones ambientales. Se observó una percepción crítica respecto a la calidad del aire y la gestión de residuos, así como una actitud proactiva hacia el cambio climático y la gestión ambiental. Estos hallazgos son coherentes con los objetivos planteados inicialmente y destacan la importancia de la concienciación, participación ciudadana y educación ambiental como elementos clave para avanzar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible ambientales.

La investigación subrayó la correlación significativa entre la percepción ambiental y la contribución efectiva a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en áreas relacionadas con el agua, la energía, las ciudades sostenibles, la producción y consumo responsables, y la acción por el clima. Estos aspectos subrayan la necesidad de fortalecer la educación ambiental y fomentar una mayor participación comunitaria para abordar los desafíos ambientales de manera efectiva.

La percepción ambiental en la comuna Concepción emerge como un factor crítico en la promoción del desarrollo sostenible. El estudio reafirma la relevancia de involucrar activamente a la comunidad en la gestión ambiental y en la implementación de políticas y estrategias que reflejen sus percepciones y necesidades específicas. Estos resultados proporcionan una base sólida para futuras iniciativas y políticas dirigidas a alcanzar los ODS en contextos locales similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alptekin, O. & Unver, H. (2020). Assessment of Perception of Physical Environment in the Context of Cognitive Maps and Experiences. In *Spatial Cognition and Cognitive Maps* (1-16). Editorial Intech Open. <https://cdn.intechopen.com/pdfs/70557.pdf>
- Fairbrother, M. (2022). Public opinion about climate policies: A review and call for more studies of what people want. *PLOS Climate*, 1(5), e0000030. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000030>
- Fernández, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral (Guadalajara)*, 15(43), 179-202. <https://acortar.link/zuGx8h>
- Groves, C. (2019). Sustainability and the future: reflections on the ethical and political significance of sustainability. *Sustainability Science*, 14, 915–924. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00700-0>
- Khatibi, F. S., Dedekorkut-Howes, A., Howes, M. & Torabi, E. (2021). Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies? *Discover Sustainability*, 2, e18. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00024-z>
- Li, X., Liu, Z. & Wuyun, T. (2022). Environmental Value and Pro-environmental Behavior Among Young Adults: The Mediating Role of Risk Perception and Moral Anger. *Front Psychol.* 13, e771421. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.771421>
- Liu, H., Guiju Zhu & Yue Li, (2021). Research on the impact of environmental risk perception and public participation on evaluation of local government environmental regulation implementation behavior. *Environmental Challenges*, 5, e100213. <https://acortar.link/SqEa5l>
- Mustonen, N., Karjaluoto, H. & Jayawardhena, C. (2016). Customer environmental value and their contribution to loyalty in industrial markets. *Business Strategy and the Environment*, 25(7), 512-528. <https://doi.org/10.1002/bse.1882>
- Rajapaksa, D., Moinul I. & Shunsuke, M. (2018). Pro-Environmental Behavior: The Role of Public Perception in Infrastructure and the Social Factors for Sustainable Development. *Sustainability*, 10(4), 937. <https://doi.org/10.3390/su10040937>
- Shutaleva, A. & Martyushev, N., Nikonova, Z., Savchenko, I., Abramova, S., Lubimova, V. y Novgorodtseva, A. (2021). Environmental Behavior of Youth and Sustainable Development. *Sustainability*, 14(1), e250. <https://doi.org/10.3390/su14010250>

- Sianes A., Vega-Muñoz A., Tirado-Valencia P. & Ariza-Montes, A. (2022). Impact of the Sustainable Development Goals on the academic research agenda. A scientometric analysis. *PLoS ONE* 17(3), e0265409. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265409>
- Strumskyte, S., S. Ramos Magaña & H. Bendig (2022). Environment Working Papers. In A. Smith (Ed.), *Women's leadership in environmental action* (No. 193). Organization for Economic Cooperation and Development. <https://acortar.link/kWNovE>
- Yuan, M., Zeng, J., Swedlow, B., & Qi, R. (2022). Environmental concern among Chinese youth: the roles of knowledge and cultural bias. *Environmental Education Research*, 28(10), 1472–1489 <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033705>
- Zeng, J., Jiang, M. & Yuan, M. (2020). Environmental risk perception, risk culture, and pro-environmental behavior. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), e1750. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051750>



USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE ÁREAS PROTEGIDAS

Evaluación del aprovechamiento de productos forestales no maderables, sector San Carlos del Chura, Esmeraldas, Ecuador.

Evaluation of the Utilization of Non-Timber Forest Products, San Carlos del Chura Sector, Esmeraldas, Ecuador.

Avaliação do Aproveitamento de Produtos Florestais Não Madeireiros, Setor San Carlos do Chura, Esmeraldas, Ecuador.

Alfredo Jiménez González

Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

alfredo.jimenez@unesum.edu.ec

Danny Rodrigo Sánchez Rodríguez, Yajhaira Vanessa Romero Anazco, Tayron Omar Manrique Toala

Artículo científico

Recibido: 8/7/2024

Aceptado: 6/12/2024

Publicado: 8/12/2024

RESUMEN

San Carlos del Chura es una comunidad situada en el cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas, Ecuador, conocida por su rica biodiversidad y la presencia de bosques tropicales. El objetivo de esta investigación fue evaluar el aprovechamiento de los productos forestales no maderables en San Carlos del Chura. Se realizaron 90 entrevistas semiestructuradas a pobladores locales, que incluyeron 16 preguntas sobre aspectos socioculturales y etnobiológicos. Se identificaron 28 especies de plantas y 12 de animales. Los frutos son la parte de las plantas más utilizada, y de los animales se usa la carne. El 49% de los encuestados conocen los productos estudiados y el 68% desean recibir capacitación sobre productos forestales no maderables. El 16.70% recolectan semillas y el 20% cosechan la planta completa. El 72.20% solo van al bosque cuando necesitan algún producto, mientras que el 12.20% lo visitan de uno a tres días con regularidad. Las familias botánicas más citadas fueron Rutaceae, Moraceae y Asteraceae, mientras que Dasyproctidae fue la familia de animales más mencionada. Las especies de animales con mayor valor de uso fueron *Cuniculus paca*, *Dasyprocta punctata* y *Dasytus novemcinctus*.

Palabras clave: diversidad florística, especies, etnobiología, familia

ABSTRACT

San Carlos del Chura is a community located in the Quinindé canton, Esmeraldas province, Ecuador, known for its rich biodiversity and the presence of tropical forests. The objective of this research was to evaluate the utilization of non-timber forest products in San Carlos del Chura. Ninety semi-structured interviews were conducted with local residents, including 16 questions about sociocultural and ethnobiological aspects. Twenty-eight plant species and 12 animal species were identified. Fruits are the most utilized part of the plants, and for animals, the meat is used. Forty-nine percent of the respondents are aware of the studied products, and 68% wish to receive training on non-timber forest products. Sixteen point seven percent collect seeds, and 20% harvest the entire plant. Seventy-two point two percent only go to the forest when they need a product, while 12.2% visit the forest regularly, from 1 to 3 days. The most cited botanical families were Rutaceae, Moraceae, and Asteraceae, while Dasyproctidae was the most

mentioned animal family. The animal species with the highest usage value were *Cuniculus paca*, *Dasyprocta punctata*, and *Dasyopus novemcinctus*.

Keywords: ethnobiology, family, floristic diversity, species

RESUMO

San Carlos del Chura é uma comunidade localizada no cantão de Quinindé, na província de Esmeraldas, Equador, conhecida por sua rica biodiversidade e pela presença de florestas tropicais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o aproveitamento dos produtos florestais não madeireiros no San Carlos del Chura. Foram realizadas 90 entrevistas semiestruturadas com os moradores locais, incluindo 16 perguntas sobre aspectos socioculturais e etnobiológicos. Foram identificadas 28 espécies de plantas e 12 de animais. Os frutos são a parte das plantas mais utilizada, e dos animais, utiliza-se a carne. Quarenta e nove por cento dos entrevistados conhecem os produtos estudados e 68% desejam receber treinamento sobre produtos florestais não madeireiros. Dezesesseis ponto sete por cento coletam sementes e 20% colhem a planta inteira. Setenta e dois ponto dois por cento vão à floresta apenas quando precisam de algum produto, enquanto 12.2% visitam a floresta regularmente, de 1 a 3 dias. As famílias botânicas mais citadas foram Rutaceae, Moraceae e Asteraceae, enquanto Dasyproctidae foi a família de animais mais mencionada. As espécies de animais com maior valor de uso foram *Cuniculus paca*, *Dasyprocta punctata* e *Dasyopus novemcinctus*.

Palavras-chave: diversidade florística, espécies, etnobiologia, família

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) reporta que el área total de bosques en el mundo es de 4.060 millones de hectáreas, lo que representa el 31% de la superficie total de la Tierra (FAO, 2020). Los bosques secos en el Ecuador son formaciones vegetales deciduas, aproximadamente el 75% de las especies pierden estacionalmente sus hojas; estos bosques son frágiles, se desarrollan en condiciones climáticas extremas y son muy presionados por el aprovechamiento maderero. Estos ecosistemas, además de proveer madera, leña y carbón, son fuente de productos forestales no maderables (PFNM) que las comunidades circundantes utilizan como alimentos, medicinas, fibras, forrajes, abonos, energía, aceites, pesticidas, frutos, materiales de construcción, ritos religiosos y espirituales; los cuales generan empleo e ingresos económicos (Aguirre *et al.*, 2019).

Los PFNM constituyen una fuente importante de subsistencia para las comunidades rurales del Ecuador y desempeñan un rol fundamental en la vida y el bienestar de los habitantes de diferentes regiones, principalmente en la Amazonía y la Sierra (Maza *et al.*, 2021). La población rural y pobre, en particular, depende de estos productos como fuentes de alimentación, forraje, medicinas, gomas, resinas y materiales de construcción. Estos productos contribuyen a satisfacer las necesidades cotidianas de la población más vulnerable económicamente y proporcionan empleo, así como ingresos, en particular a la población rural y especialmente a las mujeres (FAO, 2002).

En el contexto global, la recolección de PFNM por comunidades que viven cerca de los bosques es un aspecto crítico de la gestión forestal sostenible y los medios de vida. Este enfoque no solo contribuye a la conservación de la biodiversidad, sino que también apoya la sostenibilidad económica de las comunidades locales (Sailu y Unnisa, 2024). La gestión sostenible de estos recursos requiere la participación activa de

una amplia gama de interesados y el apoyo de organizaciones internacionales como la FAO, para desarrollar las capacidades técnicas e institucionales necesarias.

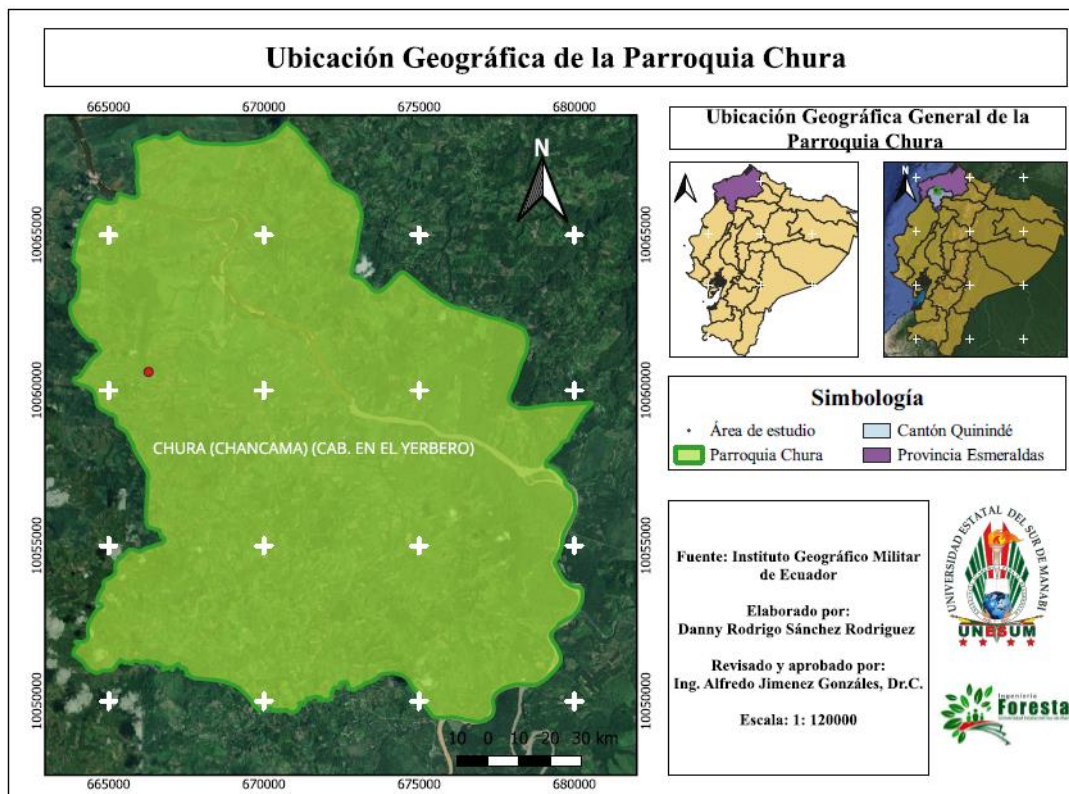
Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el aprovechamiento de los PFM en el sector San Carlos del Chura, Quinindé, Esmeraldas, de manera que se promueva un manejo sostenible para la conservación de los ecosistemas forestales. Se realizaron 90 entrevistas semiestructuradas a pobladores locales para investigar aspectos socioculturales y etnobiológicos. Los resultados destacan la importancia de los PFM para la subsistencia y el bienestar de las comunidades, así como la necesidad de capacitaciones y estrategias de manejo sostenible de estos recursos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La parroquia Chura limita al Norte con la parroquia Viche, al Sur con la parroquia Rosa Zarate, al Este con las parroquia Majúa y Malimpia y al Oeste con la parroquia Cube (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Chura, 2019).

Figura 1. Georreferenciación del sector San Carlos de Chura.



Fuente: Elaborada por los autores.

Metodología

Como parte del proceso de investigación se realizaron recorridos de campo y se efectuaron conversatorios con el líder de la Junta Parroquial para estudiar el tema propuesto sobre el aprovechamiento de los PFNM que realizan los habitantes de la zona.

Identificación de los PFNM existentes en el sector San Carlos del Chura

Para la identificación de los PFNM en el sector San Carlos del Chura se realizaron entrevistas semiestructuradas basadas en los reportes de Jiménez *et al.* (2019, 2021), Mena-Jiménez *et al.* (2024) y Pérez-Nicolás *et al.* (2024). Se aplicaron 90 entrevistas semiestructuradas a pobladores locales, que incluyeron 16 preguntas sobre aspectos socioculturales y etnobiológicos. Este enfoque ha sido utilizado con éxito en estudios similares para evaluar la interacción de las comunidades con la biota local (Mena-Jiménez *et al.*, 2024; Pérez-Nicolás *et al.*, 2024). Los aspectos de la entrevista se detallan a continuación: La entrevista semiestructurada denominada *Formulario para obtener información de los principales usos de los PFNM* contó con 16 preguntas y sirvió para indagar en la muestra aspectos socioculturales y etnobiológicos, a saber:

1. PFNM que conocen los habitantes del sector San Carlos de Chura
2. PFNM que utilizan del bosque
3. Visitan el bosque para obtener PFNM
4. Origen de los PFNM
5. Usos que tienen los PFNM que usted cosecha
6. En caso de que el origen sea vegetal, se indagará sobre las partes de la planta que utilizan
7. Formas de recolección de las plantas
8. Si el origen es animal ¿qué partes del animal aprovechan?
9. Expediciones al bosque para aprovechar los productos derivados de plantas y animales
10. Valoración o percepción de los pobladores sobre cantidad de PFNM que aprovechan
11. Distancia que recorren entre su vivienda y el lugar para la recolección de los PFNM
12. Destino final de los PFNM que aprovechan
13. El uso de los PFNM mejora la calidad de vida de su familia
14. Época de recolección de los PFNM
15. Capacitación o charla sobre los PFNM
16. Predisposición para recibir capacitaciones sobre aprovechamiento y conservación de las especies que proveen los PFNM

Población y muestra

La muestra se calculó según los criterios de Torres *et al.* (2006) y Jiménez *et al.* (2021), empleando la siguiente ecuación:

$$m = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 (N-1) + Z_a^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza de 95%

p = probabilidad de éxito, o proporción esperada

q = probabilidad de fracaso

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

De acuerdo con los datos de la cantidad de habitantes en el sector San Carlos de Chura, se determinó el total de personas a entrevistar (90 habitantes).

Figura 2. Entrevistas a los pobladores del sector San Carlos del Chura



Fuente: Tomadas por Danny Rodrigo Sánchez Rodríguez en 2024.

Determinación del valor de uso de los PFMN por parte de los pobladores del área de estudio

Para identificar los principales usos de las especies, considerando que algunas plantas tienen múltiples aplicaciones, se empleó el método de suma de usos, basado en los criterios establecidos por Vandebroek y Voeks (2018) y Bastidas-Bacca *et al.* (2023); que implica sumar el número de usos dentro de cada categoría de PFMN para evaluar el valor de uso de una especie. Aplicándose la ecuación que aparece a continuación.

$$IVUS = \frac{\sum i UVis}{n_s} \quad (2)$$

Donde:

UVis = número de usos mencionados por cada informante (i), para cada especie (s)

ns = número de informantes entrevistados

La taxonomía y nomenclatura, así como la categoría de amenaza de las especies citadas en el área de estudio se revisó en el Catálogo de la Vida (Bánki *et al.*, 2023), en tanto que, los nombres comunes fueron proporcionados por los guías locales, como se menciona en Jiménez *et al.* (2016 y 2021).

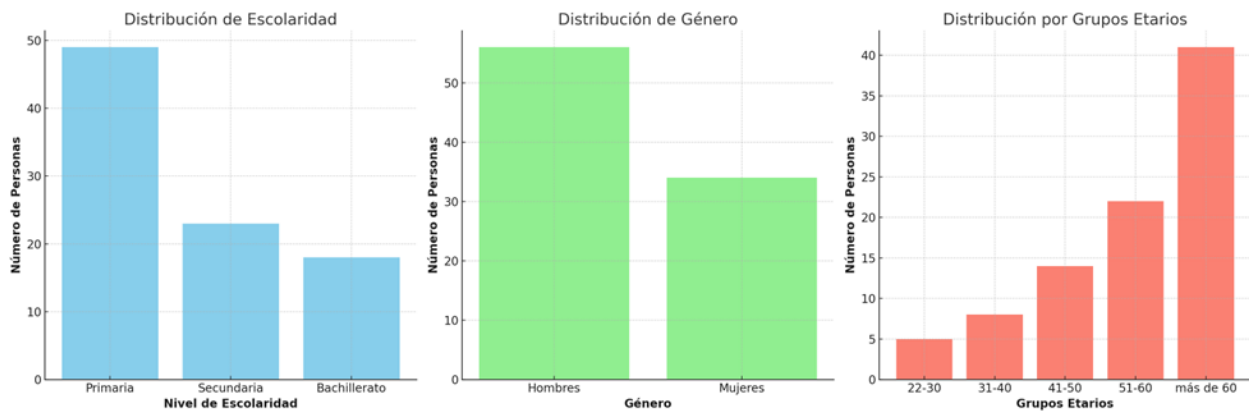
La información recabada sobre las categorías de amenaza de las especies citadas por los entrevistados en las comunidades objeto de estudio se revisó en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (2022) y en el Libro Rojo de la Flora del Ecuador (León *et al.*, 2011). En este mismo orden de cosas, para conocer la condición que posee cada especie de la flora, a saber, cultivadas, silvestres, endémicas o introducidas, se consultó la Enciclopedia de Plantas Útiles del Ecuador (de La Torre *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Aspectos socioculturales de los entrevistados

En la *figura 3* se muestra la distribución de la población en San Carlos de Chura en términos de escolaridad, género y grupos etarios.

Figura 3. Aspectos socioculturales de los entrevistados en el sector San Carlos del Chura.



Fuente: Elaborada por los autores.

De acuerdo con la distribución de la escolaridad observada en la figura anterior, la mayor parte de la población ha alcanzado el nivel primario (49 personas), seguida por secundaria (23 personas) y bachillerato (18 personas). Esto sugiere que la mayoría de los habitantes tienen un acceso limitado a niveles de educación más avanzados.

Referente a la distribución de género, la proporción de hombres (56) es mayor que la de mujeres (34), lo que indica una diferencia significativa en la composición de género de la muestra estudiada. En tanto que, la distribución por grupos etarios, el grupo etario más numeroso es el de personas mayores de 60 años (41), seguido por los grupos de 51-60 años (22) y 41-50 años (14); esto sugiere que San Carlos de Chura tiene una población envejecida.

Identificación de los PFMN existentes en el sector San Carlos del Chura

Con relación a la identificación de los PFMN en el área de estudio, en la *tabla 1* se muestran las especies presentes.

Tabla 1. Especies de PFMN, según el número de citas en el sector San Carlos del Chura.

Nº	Especies Vegetales	Nº de Citaciones
1	<i>Verbena officinalis</i> L.	75
2	<i>Citrus × sinensis</i> ; (L.) Osbeck, 1765	73
3	<i>Piper aduncum</i> L.	73
4	<i>Citrus reticulata</i> Blanco, 1837	71

5	<i>Ruta graveolens</i> L.	70
6	<i>Ficus 7lástica</i> Roxb.	65
7	<i>Zygia longifolia</i> (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Britton & Rose	61
8	<i>Chenopodium rubrum</i> L.	60
9	<i>Mikania glomerata</i> Spreng. 1826	59
10	<i>Croton lechleri</i> Müll.Arg.	58

Fuente: Elaborada por los autores.

La *tabla 1* presenta las especies de PFSM con el mayor número de citaciones en el sector San Carlos del Chura. Entre las 28 especies identificadas por los entrevistados, las más frecuentemente mencionadas incluyen *Verbena officinalis*, *Citrus × sinensis*, *Piper aduncum*, *Citrus reticulata* y *Ruta graveolens*.

En la *tabla 2* se presentan las especies de origen animal mencionadas por los entrevistados.

Tabla 2. Especies de animales que proveen PFSM en el sector San Carlos del Chura.

N°	Especies Animales	N° de Citaciones
1	<i>Cuniculus paca</i> (Linnaeus, 1766)	85
2	<i>Dasyprocta punctata</i> Gray, 1842	83
3	<i>Dasybus novemcinctus</i> Linnaeus, 1758	75
4	<i>Tayassu pecari</i> (Link, 1795)	70
5	<i>Boa constrictor</i> Linnaeus, 1758	65

Fuente: Elaborada por los autores.

De acuerdo con los resultados mostrados en la *tabla 2*, las especies con mayor número de referencias fueron: *Cuniculus paca*, *Dasyprocta punctata* y *Dasybus novemcinctus*.

Resultados de la determinación del valor de uso de los PFSM según las respuestas de los pobladores del área de estudio

Los resultados de las visitas al bosque, la época de recolección y la distancia desde las viviendas a los sitios de recolección de los PFSM se presentan en la *tabla 3*.

Tabla 3. Frecuencia de visitas al bosque, época de recolección y distancia de recolección de los PFSM.

Sector	Visitas		Época			Distancia
	Si	No	Lluviosa	Seca	Todo el año	0-5 km
San Carlos de Chura	90	0	15	20	55	90
Porcentaje (%)	100	0	16.31	22.15	61.54	100

Fuente: Elaborada por los autores.

Los resultados de las entrevistas realizadas a los habitantes del área de estudio permitieron conocer además que todos visitan el bosque con el fin de recolectar PFNM. Según las respuestas, la mayoría realiza esta actividad a lo largo de todo el año, mientras que algunos se concentran en la recolección de ciertas plantas durante la época seca. Respecto a la distancia recorrida, todos los entrevistados indicaron que se desplazan dentro de un rango corto dentro del área de estudio para recolectar estos productos.

En la *tabla 4* se muestra el origen y propósito de la cosecha, registrando 28 especies de plantas y 12 de origen animal que proveen PFNM.

Tabla 4. Distribución de frecuencia del origen y objeto de cosecha de los PFNM.

Sector	Origen		Objeto de cosecha	
	Vegetal	Animal	Consumo	Venta-consumo
San Carlos de Chura	28	12	76	14
Porcentaje (%)	66.67	33.33	84.44	15.56

Fuente: Elaborada por los autores.

La mayoría de las especies identificadas son de origen vegetal, además, la principal finalidad de la cosecha es el consumo, con una menor parte destinada a la venta-consumo.

Respecto al uso de estas especies, la tendencia dominante es su cosecha para consumo personal, mientras que una menor parte se cosecha para combinaciones de venta y consumo. Es notable la ausencia de especies cosechadas exclusivamente para la venta, lo que indica una inclinación de la comunidad hacia el uso personal de estos recursos.

En la *tabla 5* se presentan resultados relacionados con el uso de las especies proveedoras de PFNM, clasificados según las categorías establecidas por la FAO.

Tabla 5. Frecuencia de usos que tienen los PFNM en el área de estudio.

Categorías	N° de Especies	%
Alimentos y Bebidas	27	50.90
Medicinales	16	30.21
Utensilios, herramientas de construcción	5	9.04
Artesanías	3	5.70
Látex y resinas	1	1.98
Místicos y rituales	1	1.98

Fuente: Elaborada por los autores.

En el análisis de las entrevistas realizadas a los pobladores del área de estudio, se observó una tendencia clara en el uso de los PFNM. Las categorías de alimentos y bebidas, así como medicinales, emergieron como las más prominentes. Por otro lado, las categorías relacionadas con usos ornamentales, místicos, rituales, tóxicos y estimulantes, mostraron una incidencia significativamente menor. Entre las especies más frecuentemente utilizadas se destacan *Verbena officinales*, *Citrus x sinensis*, *Piper aduncum*, *Citrus reticulata* y *Ruta graveolens*.

Los resultados de la investigación sobre las partes de plantas y animales que son utilizadas por los habitantes del sector San Carlos de Chura se muestran en la *tabla 6*.

Tabla 6. Partes de plantas y animales que son utilizadas por los habitantes del área objeto de estudio.

Partes del animal	Carne		Porcentaje			
	Hojas	Frutos	Tallo	Raíz	Toda la planta	Flores
N° de citaciones	43	60	45	25	20	15

Fuente: Elaborada por los autores.

Detallado lo anterior, se recalca que los frutos son la parte de las plantas más utilizada, seguidos por los tallos. En cuanto a los productos de origen animal, todos los entrevistados coinciden en que la carne es la parte que más se aprovecha.

En la *tabla 7* se muestran las mejoras en la calidad de vida y el enriquecimiento de conocimientos y capacitaciones acerca de los PFNM entre los habitantes del área de estudio.

Tabla 7. Mejoramamiento, conocimiento y capacitaciones sobre los PFNM.

Sector	Mejora de calidad de vida de las familias con el uso de los PFNM		Tiene capacitación sobre los PFNM		Desea recibir capacitaciones sobre los PFNM	
	Si	No	Si	No	Si	No
San Carlos de Chura	75	15	49	41	68	23
Total	75	15	49	41	68	23
%	75	15	49	41	68	23

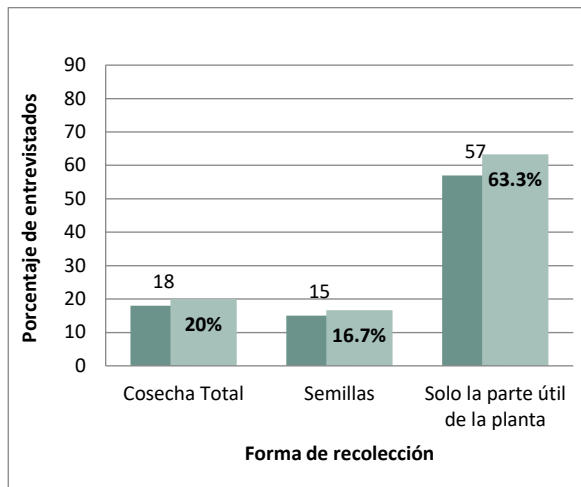
Fuente: Elaborada por los autores.

Según las respuestas obtenidas, una mayoría significativa de las familias del sector estudiado percibe que los PFNM contribuyen positivamente a su calidad de vida. En cuanto a los conocimientos sobre estos productos, una proporción notable de los entrevistados está familiarizada con ellos. Además, una mayoría expresa interés en recibir más capacitaciones y charlas sobre los PFNM, con el objetivo de mejorar su aprovechamiento y obtener mayores beneficios de estos recursos.

Una amplia mayoría de los habitantes (75) del sector estudiado hacen un uso abundante de los PFNM. Por otro lado, un grupo más pequeño de 10 personas los utiliza de manera moderada y aproximadamente cinco habitantes los valoran en menor medida.

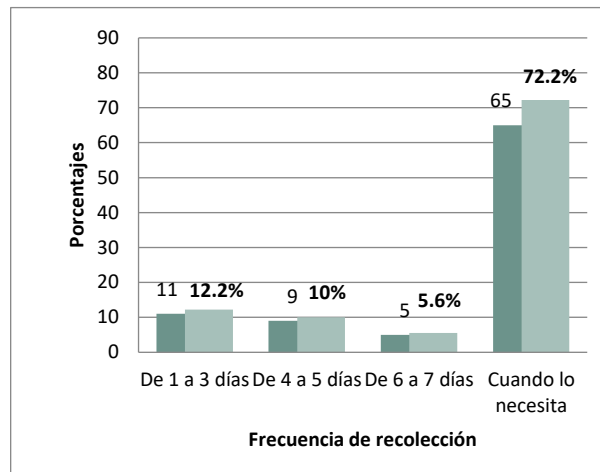
Las formas de recolección de los PFNM en el área objeto de estudio se presentan en la *figura 4*.

Figura 4. Formas de recolección de los PFNM.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 5. Frecuencia de recolección de las plantas que proveen PFNM.



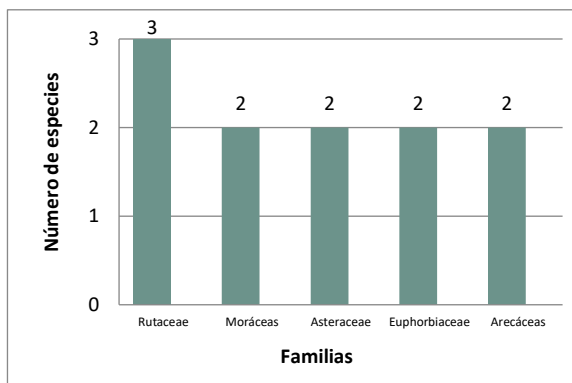
Fuente: Elaborada por los autores.

Como se observa en la *figura 4*, la mayoría de los habitantes (63.3%) del área de estudio utilizan únicamente las partes útiles de las plantas. Por otro lado, el 20% de ellos practican la cosecha total de la planta, y un 16.70% se enfoca exclusivamente en el uso de las semillas.

De acuerdo con la información de la *figura 5*, el 72.2% de los habitantes en el área de estudio visitan el bosque según la necesidad de obtener PFNM; mientras que un 5.6% acude con una frecuencia de seis a siete días para aprovechar estos productos.

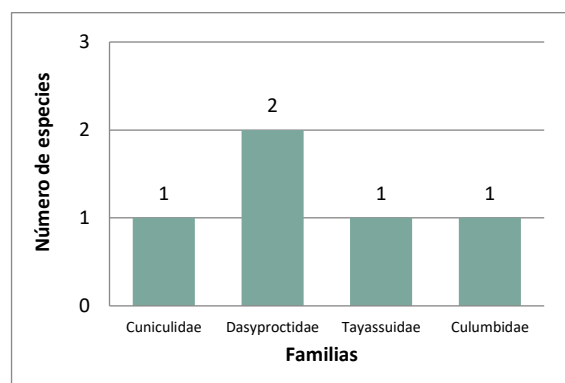
En la *figura 6* se muestran los resultados relacionados con las familias botánicas de las plantas que proporcionan PFNM; siendo la familia botánica más mencionada Rutaceae, con tres especies. Además, las familias Moraceae, Asteraceae, Euphorbiaceae y Araceae se destacan con dos especies cada una. Es importante señalar que todas estas familias se clasifican dentro de la categoría de Preocupación Menor (LC) según la UICN.

Figura 6. Familias de los PFNM de origen vegetal en el área de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 7. Familias de animales citadas por los entrevistados en el área de estudio.



Fuente: Elaborada por los autores.

Los animales también proporcionan bienes o productos, en este sentido se observa en la *figura 7* que la familia más mencionada por los habitantes del área estudiada es Dasyproctidae, con dos citaciones; esta familia se clasifica dentro de la categoría de Preocupación Menor (LC) según la UICN. Por otro lado, las familias Columbidae, Tayassuidae y Cuniculidae se mencionan menos, con una citación cada una; dentro de estas la especie *Tayassu pecari* se destaca por estar clasificada como Vulnerable (VU).

DISCUSIÓN

La demografía y la participación comunitaria son aspectos importantes en el estudio de los PFSM. En la investigación se encontró una predominancia de personas mayores de 60 años y una mayor participación masculina en la recolección de PFSM, en contraste con estudios en otras regiones como los de Bermúdez *et al.* (2018) y Córdoba *et al.* (2019), lo que indica diferencias culturales y socioeconómicas en la interacción con los PFSM.

El nivel de escolaridad en el área de estudio se restringe a la educación primaria, en contraste con el énfasis en la sabiduría tradicional en el estudio de Angulo *et al.* (2012). Esto resalta la necesidad de integrar la educación formal y el conocimiento tradicional en la gestión de los PFSM.

En cuanto al manejo sostenible y la conservación, se observa que la recolección de PFSM a cortas distancias y el uso selectivo de partes de plantas y animales indican un manejo sostenible de los recursos. Sin embargo, la presencia de especies vulnerables como *Tayassu pecari* destaca la necesidad de un enfoque cuidadoso y un marco legal adecuado para la conservación de la biodiversidad.

Identificación de los PFSM existentes en el sector San Carlos del Chura, Quindío, Esmeraldas

En la investigación se identificaron 28 especies vegetales, destacando la presencia de: *Verbena officinalis*, *Citrus × sinensis*, *Piper aduncum*, *Citrus reticulata* y *Ruta graveolens*. Estas especies son utilizadas para consumo local, lo que contrasta con el estudio de Carrión *et al.* (2019), donde las especies principales difieren.

La biodiversidad y los usos de los PFSM reflejan la rica diversidad de los bosques en la zona de estudio, con especies como *Verbena officinalis* y *Cuniculus, paco* utilizadas para consumo y otros fines. Esto coincide con las observaciones de Aguirre *et al.* (2019).

Según la FAO (2020), los bosques albergan la mayor parte de la biodiversidad terrestre del planeta, siendo el hábitat del 80% de las especies de anfibios, el 75% de las de aves y el 68% de las de mamíferos. En el año 2011, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el "Año Internacional de los Bosques" con el objetivo de destacar el papel de las personas en la ordenación sostenible y la conservación de los bosques en todo el mundo (Victorino, 2012).

En cuanto a la percepción de los bosques, Obreque (2006, como se citó en Jiménez *et al.*, 2017a), los compara con un cofre que oculta secretos y sorpresas en su interior. Aguirre y Aguirre (2021) resaltan la importancia de los PFSM en la vida y el bienestar de las poblaciones rurales, comunidades indígenas y campesinas, ya que proporcionan una amplia variedad de recursos esenciales.

Referente a la utilización de las diferentes partes de las especies vegetales, se observa que, en el área de estudio, los frutos son la parte más utilizada, seguida del tallo y las hojas, lo que contrasta con los resultados de Jiménez *et al.* (2017b). Este hallazgo sugiere variaciones en las preferencias de uso en diferentes regiones.

La importancia de los PFSM en la economía local y la seguridad alimentaria se refleja en categorías como alimentos y bebidas, así como medicina, lo que está en línea con las observaciones de López *et al.* (2016).

Valor de Uso de los PFSM según las respuestas de los pobladores del área de estudio

La variedad de PFSM identificados en el estudio, desde alimentos y medicinas, hasta materiales de construcción y artesanías, ilustra la complejidad en la clasificación y el uso de estos recursos, en consonancia con las observaciones de López *et al.* (2016).

En relación con los desafíos en la conservación y el uso sostenible, la presencia de especies en categorías de preocupación menor y vulnerables en la Lista Roja de la UICN destaca la necesidad de estrategias de manejo equilibradas que consideren la conservación junto con el uso económico y social, como sugieren Orta *et al.* (2015).

Los resultados de esta investigación en San Carlos del Chura proporcionan una comprensión valiosa de la interacción entre las comunidades y los PFSM, destacando la importancia de estos recursos en la conservación de la biodiversidad, la economía local y el bienestar social. Estos hallazgos subrayan la necesidad de un enfoque integrado que considere aspectos ecológicos, económicos, culturales y demográficos en la gestión de los recursos forestales.

CONCLUSIONES

Los Productos Forestales No Maderables (PFSM) son cruciales para la subsistencia en San Carlos de Chura, proporcionando alimentos y medicinas durante todo el año, lo que refleja una fuerte dependencia de los recursos forestales.

Se observan diferencias en el conocimiento y uso de PFSM según el nivel de escolaridad y el género. Las personas con menor nivel educativo y las mujeres muestran un mayor conocimiento y uso, sugiriendo la necesidad de programas de capacitación específicos.

Existen desafíos y oportunidades en el manejo de PFSM. La falta de especies cosechadas exclusivamente para la venta resalta la necesidad de desarrollar estrategias de mercado sostenibles para mejorar los ingresos económicos sin comprometer los bosques.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, Z. y Aguirre, L. (2021). Estado actual e importancia de los Productos Forestales No Maderables. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 71-82. <https://acortar.link/uAERbe>

Aguirre, Z., Rivera, M. E. y Granda, V. (2019). Productos forestales no maderables de los bosques secos de Zapotillo, Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 26(2), 575-594. <https://acortar.link/4dRDnG>

Angulo, A. F., Rosero, R. A. y González Insuasti, M. S. (2012). Estudio etnobotánico de las plantas medicinales utilizadas por los habitantes del corregimiento de Genoy, Municipio de Pasto, Colombia. *Universidad y Salud*, 14(2), 168-185. <https://acortar.link/N7VGKu>

Bánki, O., Roskov, Y., Döring, M., Ower, G., Hernández, D. R., Plata Corredor, C. A., . . . van Olfwegen. (2023). *Catálogo de lista de Verificación de Vida (Versión 2023-09-14)*. <https://doi.org/10.48580/ddz4x>

- Bastidas-Bacca, M. A., Dayve-Bacca-Descance, D., Guerra-Acosta, A. D. S., Perea-Morera, E., Díaz-Ariza, L. A., López-Álvarez, D. y Osorio-García, A. M. (2023). Ethnobotanical Insights: Qualitative Analysis of Medicinal Plants in Colón Putumayo for Traditional Knowledge Preservation. *Plants*, 12(19), 3390. <https://doi.org/10.3390/plants12193390>
- Bermúdez, A., Bravo, L. R., Naranjo, R. A. y Kanga, F. (2018). Traditional use of medicinal plants by the population of the municipality of Santa Clara, Cuba. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 6(5), 374–385. <https://acortar.link/MgmVhg>
- Carrión, J., Hurtado, S., Ulloa, L. y Herrera, C. (2019). Productos forestales no maderables (PFNM) de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuni, Espíndola, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 83–93. <https://acortar.link/DFoRrC>
- Córdoba, L., Gamboa, H., Mosquera, Y., Palacios, Y., Salas, M. H. y Ramos, P. A. (2019). Productos forestales no maderables: uso y conocimiento de frutas silvestres comestibles el Chocó, Colombia. *UNED Research Journal*, 11(2), 164–172. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2304>
- De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J. y Balslev, H. (2008). *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*. Universidad Católica del Ecuador/Universidad de Aarhus. <https://acortar.link/K5ZhP4>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Chura. (2019). *Actualización del Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Chura 2019-2023*. <https://acortar.link/kc6PDm>
- Jiménez, A. (2016). Caracterización florística del bosque semidecíduo mesófilo de la reserva natural “El Mulo”, Artemisa, Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(1), 48-58. <https://acortar.link/LSwsWY>
- Jiménez, A., Jiménez, C., Pincay, F. A. y González, M. (2017a). Productos Forestales No Maderables, un enfoque social de la ciencia y la tecnología, Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(1), 01–14. <https://acortar.link/I7vxMH>
- Jiménez, A., Macías, Á. F., Ramos, M. P., Tapia, M. V. y Rosete, S. (2019). Indicadores de sostenibilidad con énfasis en el estado de conservación del bosque seco tropical. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(2), 197–211. <https://acortar.link/WgLwIA>
- Jiménez, A., Pincay, F. A., Ramos, M. P., Mero, O. F. y Cabrera, C. A. (2017b). Utilización de productos forestales no madereros por pobladores que conviven en el bosque seco tropical. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 5(3), 270–286. <https://acortar.link/ipkVZI>
- Jiménez, A., Rosete, S., Cantos, C. G., Tapia, M. V., Castro, S. I., Gras, R. y Cabrera, C. A. (2021). *Componentes de la diversidad biológica empleados por las familias manabitas en la medicina natural y tradicional (Primera edición)*. Editorial Mawil. <https://acortar.link/HkOomx>
- León, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C. y Navarrete, H. (2011). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://acortar.link/93NbPG>
- López, R., Navarro, J. A. y Caleño, B. (2016). *Productos forestales no maderables de CORPOCHIVOR: Una mirada a los regalos del bosque*. Colombia. <https://acortar.link/6Ys4o5>

- Maza, D., Abad, S., Malagón, O. y Armijos, C. (2021). Productos Forestales no Maderables de la comunidad El Tundo: un remanente boscoso de biodiversidad y conocimiento ancestral del sur del Ecuador. *Bionatura*, 6(4), 2161–2174. <https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.04.5>
- Mena-Jiménez, F., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Ceccon, E., Martínez-Garza, C., López-Medellín, X. y Tegoma-Coloreano, A. (2024). Caracterización e importancia biocultural de los sistemas agroforestales de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos, México. *Botanical Sciences*, 102(1), 102-127. <https://doi.org/10.17129/botsci.3348>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2002). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000: Informe principal*. <https://acortar.link/oJ9ydx>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. <https://acortar.link/PXpQKr>
- Orta, S., Quintana, J. A. y Martínez, I. (2013). Estado de conservación de los productos forestales no maderables en la localidad “El Nogal”. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 3(2), 102-115. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/104/297>
- Pérez-Nicolás, M., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Beltrán-Rodríguez, L. y Abad-Fitz, I. (2024). Agroforestry systems of the costa de Oaxaca, Mexico. Mixtec and Afro-mexican communities. *Botanical Sciences*, 102(2), 416-437. <https://doi.org/10.17129/botsci.3401>
- Sailu, G. y Unnisa, S. A. (2024). Assessment and valuation of provisioning ecosystem services (Non-Timber Forest Produce) in Medak Forest range, Telangana State. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 16(3), 104-114. <https://doi.org/10.5897/IJBC2024.1621>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de la muestra para una investigación de mercado. Boletín Electrónico No. 2, 1–13. <https://acortar.link/6AFG8F>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2024). *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN* (Versión 2024-2). <https://www.iucnredlist.org>
- Vandebroek, I. y Voeks, R. (2018). La pérdida gradual de vegetales indígenas africanos en América tropical: una revisión. *Economic Botany*, 72, 543-571. <https://acortar.link/CNysXI>
- Victorino, A. (2012). Bosques para las personas: Memorias del Año Internacional de los Bosques 2011. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Colombia. <https://acortar.link/6bJE0o>



TURISMO SUSTENTABLE

Contribución de las antiguas técnicas agrícolas precolombinas al desarrollo del turismo rural sostenible.

Emilio Enrique Guerra Castellón

Universidad de La Habana, Cuba

emilito042@gmail.com

Contribution of ancient pre-Columbian agricultural techniques to sustainable rural tourism development.

Edgar Núñez Torres, Yasser Vázquez Alfonso

Artículo científico

Contribuição das antigas técnicas agrícolas pré-colombianas para o desenvolvimento do turismo rural sustentável.

Recibido: 12/04/2024

Aceptado: 29/11/2024

Publicado: 03/12/2024

RESUMEN

El turismo rural sostenible contribuye a la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, por la forma en que se aprovechan los recursos turísticos de los entornos rurales sin comprometer su disponibilidad para las generaciones futuras. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la contribución de las técnicas agrícolas precolombinas en el desarrollo del turismo rural sostenible. Se recopiló información sobre cada civilización precolombina (Incas, Mayas y Aztecas) y se realizaron análisis detallados de las principales técnicas agrícolas; incluyendo su descripción, beneficios potenciales, limitaciones y oportunidades para el desarrollo turístico (promoción del turismo agroecológico vivencial, conservación y restauración del patrimonio, educación ambiental y diversificación de la oferta turística). Los resultados mostraron que las técnicas agrícolas precolombinas son beneficiosas al promover la diversificación de cultivos, la conservación del suelo y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles. Identificándose limitaciones como: la necesidad de conocimientos especializados y los desafíos ambientales asociados con el uso intensivo de recursos hídricos. Este estudio contribuye al conocimiento existente al proporcionar una visión detallada de las técnicas agrícolas precolombinas y su relevancia para el turismo rural sostenible.

Palabras clave: calidad ambiental, condiciones de vida, gestión sostenible

ABSTRACT

Sustainable rural tourism contributes to the implementation of the Sustainable Development Goals of the United Nations 2030 Agenda, by the way in which the tourist resources of rural environments are exploited without compromising their availability for future generations. The present research aimed to analyze the contribution of pre-Columbian agricultural techniques in the development of sustainable rural tourism. Information was collected on each pre-Columbian civilization (Incas, Mayans and Aztecs) and detailed analyses of the main agricultural techniques were carried out; including their description, potential benefits, limitations and opportunities for tourism development (promotion of experiential agroecological tourism, conservation and restoration of heritage, environmental education and diversification of the tourist offer). The results showed that pre-Columbian agricultural techniques are beneficial by promoting

crop diversification, soil conservation and the promotion of sustainable agricultural practices. Limitations were identified such as: the need for specialized knowledge and the environmental challenges associated with the intensive use of water resources. This study contributes to existing knowledge by providing a detailed insight into pre-Columbian agricultural techniques and their relevance to sustainable rural tourism.

Keywords: environmental quality, living conditions, sustainable management

RESUMO

O turismo rural sustentável contribui para a implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 das Nações Unidas, devido à forma como os recursos turísticos em ambientes rurais são utilizados sem comprometer a sua disponibilidade para as gerações futuras. O objetivo desta pesquisa foi analisar a contribuição das técnicas agrícolas pré-colombianas no desenvolvimento do turismo rural sustentável. Foram coletadas informações sobre cada civilização pré-colombiana (Incas, Maias e Astecas) e realizadas análises detalhadas das principais técnicas agrícolas; incluindo a sua descrição, potenciais benefícios, limitações e oportunidades para o desenvolvimento do turismo (promoção do turismo agroecológico experiencial, conservação e recuperação do património, educação ambiental e diversificação da oferta turística). Os resultados mostraram que as técnicas agrícolas pré-colombianas são benéficas na promoção da diversificação das culturas, na conservação do solo e na promoção de práticas agrícolas sustentáveis. Foram identificadas limitações como: a necessidade de conhecimento especializado e os desafios ambientais associados ao uso intensivo de recursos hídricos. Este estudo contribui para o conhecimento existente ao fornecer uma visão detalhada das técnicas agrícolas pré-colombianas e sua relevância para o turismo rural sustentável.

Palavras chave: condições de vida, gestão sustentável, qualidade ambiental

INTRODUCCIÓN

La agricultura fue un factor determinante en el desarrollo de las civilizaciones a lo largo de la historia. La disponibilidad de plantas y animales domesticados permitió a las sociedades humanas realizar la transición de la vida nómada de cazadores-recolectores a convertirse en agricultores y pastores hogareños. Esta transición fue fundamental porque la agricultura proporcionaba una fuente de alimentos más confiable y abundante, lo que a su vez permitía una mayor densidad de población y el desarrollo de comunidades más grandes y complejas (Obando, 2021).

Las antiguas civilizaciones precolombinas tales como los Incas, Mayas y Aztecas desarrollaron y emplearon técnicas agrícolas avanzadas y respetuosas con la naturaleza. Estas prácticas no solo garantizaron la supervivencia de estas sociedades, sino que también tuvieron un bajo impacto en el paisaje de las regiones que habitaban (García, 2023). La integración de este legado al desarrollo del turismo rural no solo tiene el potencial de enriquecer la experiencia del visitante, sino también de fomentar prácticas agrícolas sostenibles en las comunidades contemporáneas.

La herencia cultural de la civilización Inca, profundamente enraizada en regiones como Cuzco (Perú) y Carchi (Ecuador), ofrece un vasto potencial para el turismo contemporáneo (Pérez 2006; Lomas *et al.*, 2017). Cuzco destaca no solo por su imponente arquitectura, sino también por su simbolismo como una de las mayores hazañas de la ingeniería incaica y un sitio que atrae a millones de visitantes al año en busca de una conexión con el pasado precolombino. El movimiento Indigenismo Cusqueño, que promovió la revitalización cultural de Cuzco entre 1905 y 1945, ayudó a fortalecer la identidad regional mediante

eventos como el Inti Raymi, que celebra la cultura Inca y fomenta una experiencia turística genuina. Asimismo, los conocimientos agrícolas de los Incas, reflejados en sus terrazas de cultivo, representan otra dimensión del legado cultural, ya que estas técnicas continúan siendo utilizadas y admiradas como ejemplo de agricultura sostenible. En Carchi, Ecuador, la tradición oral sobre el Qhapaq Ñan –la antigua red de caminos Incas, hoy Patrimonio Mundial de la Unesco– enriquece la oferta turística al permitir que los visitantes participen en la historia viva de las comunidades locales, accediendo a conocimientos tradicionales, prácticas de medicina ancestral y gastronomía típica. En ambos casos, el valor de la autenticidad y la participación local son esenciales para un turismo que respete y preserve la identidad cultural. Así, el turismo basado en el legado Inca permite tanto la inmersión en una experiencia auténtica como el desarrollo económico de las comunidades herederas, consolidando un modelo de turismo sostenible que destaca y preserva esta valiosa herencia cultural.

Por otra parte, la civilización Maya, con sus imponentes sitios arqueológicos en la Península de Yucatán como Chichén Itzá, Tulum y Cobá permiten a los turistas adentrarse en la historia y la arquitectura Mayas, mientras que el uso de la lengua Maya y la representación de rituales tradicionales como la "Boda Maya" y la "Travesía Sagrada de los Mayas," buscan ofrecer una experiencia inmersiva y auténtica. Además, la milpa, un sistema agrícola ancestral que integra el cultivo de maíz, frijol y calabaza, refleja el conocimiento Maya sobre la sostenibilidad y el equilibrio con la naturaleza. Este sistema no solo representa un atractivo para el ecoturismo y el agroturismo, sino que también permite educar a los visitantes sobre prácticas agrícolas sostenibles. Sin embargo, la comercialización de elementos culturales, desde los sitios arqueológicos hasta la milpa, plantea interrogantes éticos sobre la apropiación cultural, especialmente cuando se realiza sin la participación activa y el consentimiento de las comunidades Mayas contemporáneas (Jouault *et al.*, 2018; Oehmichen, 2019; Be Ramírez, 2024). Para lograr un desarrollo turístico sostenible es fundamental garantizar que estas comunidades tengan un rol protagónico en la toma de decisiones y en la distribución de los beneficios económicos, promoviendo así un modelo turístico que respete y valore su cultura de forma integral y auténtica.

Mientras que el legado de los Aztecas, con sus imponentes estructuras arquitectónicas y su rica cultura, ofrece un considerable potencial para el desarrollo del turismo contemporáneo en México. Sitios arqueológicos como Teotihuacán y Tenochtitlán permiten a los visitantes sumergirse en la historia azteca y apreciar la monumentalidad de sus templos y palacios. Estos espacios pueden actuar como centros de atracción para el turismo cultural, similar al aprovechamiento de la herencia maya. Además, la creación de museos y exposiciones sobre la civilización azteca con artefactos, códices y tecnología interactiva contribuiría a una experiencia educativa e inmersiva, aumentando el interés y la comprensión de los visitantes. La recreación de prácticas cotidianas, como el sistema agrícola de chinampas —técnica de cultivo en islas artificiales—, permitiría a los turistas observar métodos sostenibles y tradicionales de agricultura, mientras que la participación de comunidades locales en estos proyectos aseguraría autenticidad y beneficios económicos directos para ellas. Asimismo, la organización de festivales inspirados en la cultura azteca, con música, danza, gastronomía y artesanías, podría atraer a un público amplio, siempre que se evite la folklorización y se promueva un enfoque respetuoso y auténtico de la herencia cultural.

La experiencia obtenida en el desarrollo turístico de la cultura maya resalta la importancia de prácticas sostenibles y la participación comunitaria, asegurando que los beneficios económicos lleguen directamente a las comunidades locales y que el patrimonio cultural sea preservado con integridad y respeto (Cuevas *et al.*, 2018; López, 2018; Oehmichen y Maza, 2019). En la actualidad, estas herencias culturales y prácticas agrícolas ancestrales presentan un valioso potencial para el desarrollo del turismo rural sostenible. Según Béjar *et al.* (2024), es fundamental establecer y mejorar los atractivos turísticos en áreas rurales, ya que el turismo no solo genera ingresos y empleo, sino que también contribuye a la mejora

de la calidad de vida de las comunidades locales y al fortalecimiento de la actividad económica en estas zonas. Este tipo de turismo tiene una importancia económica significativa y, en muchos países, es considerado un sector prioritario.

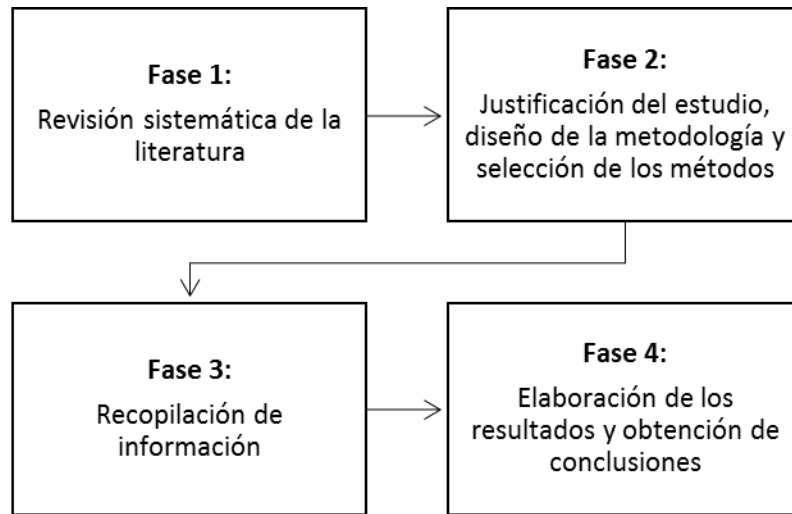
En la segunda mitad del siglo XX, el turismo comenzó a adaptarse a los cambios sociales, con un enfoque cada vez mayor en la protección del medio ambiente. Surgieron diversas modalidades turísticas que enfatizan la sostenibilidad, siendo el "turismo rural" una de las más conocidas (Hernández *et al.*, 2021). Como señalan Díaz-Pompa *et al.* (2020), el turismo rural sostenible se caracteriza por desarrollarse en espacios rurales, donde el visitante interactúa directamente con la comunidad, compartiendo sus prácticas culturales y productivas cotidianas, y promoviendo el desarrollo sostenible. Esta modalidad de turismo facilita el contacto del turista con la naturaleza, permite experiencias auténticas de la vida local, y contribuye al desarrollo de una conciencia ambiental, tanto en los visitantes como en los habitantes locales.

Desde otra perspectiva, Moral *et al.* (2019) explican que el turismo rural ofrece al visitante una experiencia integral y singular, en la que el medio natural y rural actúa como escenario para la vivencia de las costumbres y tradiciones locales. Otro criterio para tener en cuenta es el de Torres (2015) que destaca la importancia de integrar el turismo rural con la cultura local, argumentando que se deben aprovechar tanto los recursos culturales como los rurales; subraya la necesidad de una fuerte organización de la comunidad para el éxito de esta modalidad, enfatiza en la importancia de la sostenibilidad a largo plazo y plantea los impactos asociados con la identidad local. Esta última investigación, muestra un punto de partida para este estudio, ya que muestra el caso de estudio de Villa Chagüitillo, con un museo precolombino y sus santuarios indígenas, ilustrando como los elementos culturales relacionados con la historia precolombina pueden integrarse en proyectos de turismo rural. Esta forma de hacer turismo se ha convertido en una alternativa clave para el desarrollo económico y la conservación ambiental en áreas rurales, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Esta investigación tuvo como objetivo analizar una cuestión asociada a una brecha en la investigación actual que responde a la interrogante de cómo las técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas pueden contribuir al desarrollo del turismo rural sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se enmarca en un enfoque cualitativo y se desarrolló a través de varias fases, como se ilustra en la *figura 1*. Esta metodología fue diseñada para recopilar información relevante, analizarla y extraer conclusiones significativas sobre la contribución de las técnicas agrícolas precolombinas al turismo rural sostenible.

Figura 1. Fases de la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

Para la recopilación de la información, conformar los resultados y la obtención de conclusiones se aplicaron métodos de orden teórico y empíricos tales como:

- **Revisión Bibliográfica:** Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura existente sobre las civilizaciones precolombinas, centrándose en sus técnicas agrícolas. Esta revisión incluyó estudios históricos y arqueológicos que proporcionaron un contexto sólido sobre el tema.
- **Análisis de Contenido:** Se realizó un análisis detallado de documentos relevantes para evaluar el impacto de las técnicas agrícolas precolombinas en el turismo rural sostenible. Este análisis implicó la observación sistemática y la interpretación de los datos recopilados.
- **Análisis-Síntesis:** Se aplicó un enfoque analítico-sintético para identificar los principales impactos de las prácticas agrícolas ancestrales en el desarrollo del turismo rural sostenible. Esto permitió resumir y organizar la información obtenida durante la revisión bibliográfica.
- **Histórico-Lógico:** Se utilizó este método para elaborar una síntesis histórica que contextualizara las civilizaciones estudiadas, facilitando así una comprensión más profunda de su legado agrícola y su relevancia contemporánea.
- **Tormenta de Ideas:** Se llevó a cabo una sesión de tormenta de ideas entre los tres autores para identificar actividades potenciales que pudieran desarrollarse en torno a las técnicas agrícolas precolombinas, promoviendo así el turismo sostenible.
- **Inducción-Deducción:** Este método permitió profundizar en el tema estudiado, facilitando la formulación de conclusiones basadas en el conocimiento adquirido y en un razonamiento lógico sobre la contribución de las técnicas agrícolas en el turismo rural.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas:

Incas

Los Incas constituyen una de las tres grandes culturas de América prehispánica y representan una civilización singular. Kolata (2023) plantea que el origen de los Incas es a través de la leyenda de Manco Cápac y Mama Ocllo, una historia mítica fundamental en la cosmovisión Incaica. Según esta leyenda, Manco Cápac y Mama Ocllo fueron enviados por el dios Viracocha desde el lago Titicaca para fundar el Imperio Inca en el valle del Cuzco. Se les entregó un bastón de oro y se les dijo que fundaran una ciudad donde el bastón se hundiera fácilmente en el suelo. Este mito refleja la importancia que los Incas atribuían a su conexión divina y su relación con la tierra y el paisaje sagrado de los Andes.

Dicha aparición se ubica con la victoria de las etnias del Cuzco, del sur del actual Perú, cuyo líder fue Pachacútec, frente a la confederación de estados Chancas. Con Pachacútec, inicia su expansión el Imperio Incaico, que continuó con su hermano Cápac Yupanqui, luego con el décimo Inca Túpac Yupanqui y finalmente por el undécimo Inca Huayna Cápac, quien consolidó los territorios. La civilización Inca alcanzó la mayor expansión de su cultura, tecnología y ciencia, desarrollando no solo sus propios conocimientos, sino también los de la región andina y asimilando los de otros territorios que conquistaron (Betánzos, 2022). Este imperio abarcó cuatro territorios que denominaban Chinchasuyo, Cuntisuyo, Antisuyo y Collasuyo según se muestra en la *figura 2*, con una parte importante de los actuales territorios de Perú, Ecuador y Bolivia; el sur de Colombia; el noroeste de Argentina; y el norte y centro de Chile (Cely, 2019).

Figura 2. Territorios de los Incas.



Fuente: Tomado de Valeri (2022).

El autor anterior explica que para poder conectar el amplio territorio, crearon una extensa red de caminos que atravesaban selvas, montañas y quebradas, y que sería conocida como *Capac Ñan* o “camino del Inca”. En el centro del vasto imperio Inca se encontraba el Cusco, sede del poder político, administrativo y religioso del Imperio, y residencia del gobernante supremo, conocido como Sapa Inca; este era dueño de todas las tierras del imperio, era la máxima autoridad y por ello todas las decisiones, entre ellas, las políticas y administrativas eran tomadas por él. Para gobernar era apoyado por varios funcionarios y por un consejo asesor. Su autoridad se transmitía en forma hereditaria entre sus descendientes directos.

Para trabajar las tierras, los Incas introdujeron y perfeccionaron notables técnicas agrícolas, como sistemas de Irrigación, el uso de abonos naturales, la rotación de cultivos, aclimatización de cultivos, técnicas de conservación de alimentos y, especialmente, las terrazas agrícolas y andenes.

Los Incas construyeron terrazas agrícolas y andenes a lo largo y ancho de su vasto imperio en las laderas de las montañas para crear plataformas planas donde cultivar. El objetivo fue ganar terreno para la producción agrícola. Es así que hoy tan solo en Cusco es posible apreciar inmensos andenes en sitios arqueológicos como Pisac, Ollantaytambo, Chinchero, Moray, Tipón, Inkiltambo, Choquequirao, etc. Así

como estos sitios Incas, Machu Picchu, posee un sistema de andenerías impresionante (Boleto Machu Picchu, 2022). Las terrazas agrícolas se extienden a lo largo de toda la cordillera andina desde Argentina y Chile hasta Colombia (Martín, 2022). En el sur andino peruano ocupan la mayor extensión, de las cuales la mayor parte se encuentra en estado de abandono (Sondereguer y Punta, 2021).

La avanzada tecnología hidráulica y depurado sistema de cultivos en terrazas y andenes favorecieron el éxito de varios cultivos como el maíz y la papa, cuya producción sustentaba de forma desigual a los distintos estratos del entramado social (Sondereguer y Punta, 2022). A diferencia de la tendencia general al abandono de estas tecnologías, en el valle del río Vilcanota (Cuzco) las terrazas agrícolas construidas por los Incas, profusamente documentadas por la historia y la arqueología, se han convertido en un símbolo del paisaje cultural de gran valor patrimonial a nivel nacional e internacional. Generalmente vinculadas a sitios arqueológicos monumentales (Chincho, Ollantaytambo, Pisac y Machu Picchu), la reparación y el mantenimiento de estas terrazas por parte del Estado peruano desde la década de los setenta ha perseguido fines básicamente turísticos por lo que apenas se hallan bajo cultivo (Taboada y Kozel, 2022).

Korpisaari (2019) indica que durante el auge del imperio Inca estas innovadoras técnicas permitieron desarrollar la agricultura en las empinadas laderas de los Andes, logrando cultivar una amplia variedad de alimentos y que, gracias a estas estrategias, se creó un impresionante paisaje agrícola que aún podemos apreciar. Según señala Diamond (2020), después de la llegada de los españoles, varias técnicas agrícolas Incas cayeron en desuso o fueron adaptadas. A pesar de esto, ciertas comunidades rurales optaron por mantener métodos de cultivo tradicionales, lo que permitió conservar una parte significativa del legado agrícola Incaico.

En el siglo XX y en la actualidad, la cultura e historia Inca han generado un creciente interés entre los visitantes, lo cual ha impulsado el desarrollo del turismo rural alrededor de los sitios arqueológicos Incas y las comunidades que conservan técnicas agrícolas tradicionales. Destinos como Machu Picchu, el Valle Sagrado y las terrazas de Moray se han posicionado como populares opciones para los turistas en busca de experiencias auténticas de la cultura Inca y la vida rural en los Andes (Cusi, 2023).

Mayas

Los Mayas representan una de las civilizaciones antiguas más intrigantes de la historia universal. Sus ciudades se desarrollaron y prosperaron en la selva tropical, un entorno ecológico extremadamente difícil y delicado. A pesar de los años de investigación, la selva aún guarda muchos secretos, y los arqueólogos continúan descubriendo impresionantes ciudades, calzadas, templos y palacios en su densidad. Según la narrativa presentada por Wiesner (2020), los primeros asentamientos Mayas se establecieron en el período Preclásico (2000 a.C. - 250 d.C.) en la región que hoy en día abarca el sureste de México, Guatemala, Belice y partes de Honduras y El Salvador según muestra la *figura 3*. Estos grupos iniciales se dedicaban principalmente a la agricultura y la caza, y desarrollaron una cultura material distintiva, incluyendo cerámica y arte rupestre. Además, plantea que con el tiempo, los asentamientos Mayas evolucionaron hacia complejas ciudades-estado durante el período Clásico (250 d.C. - 900 d.C.), caracterizado por el auge de la arquitectura monumental, el desarrollo de sistemas de escritura y calendarios, y la consolidación de una sociedad estratificada con una clase dirigente y una población trabajadora (Pano, 2021).

En su apogeo y consolidación, los antiguos Mayas prosperaron como una civilización altamente avanzada en la región de Mesoamérica. Se distinguieron por su impactante arquitectura, su sofisticado sistema de escritura, la precisión de su calendario y sus técnicas agrícolas innovadoras.

Entre estas últimas, se destacan métodos como la rotación de cultivos en milpas, la construcción de terrazas agrícolas, la implementación de sistemas de riego y la domesticación de plantas como el maíz. Estas prácticas les permitieron mantener una población numerosa y erigir ciudades y centros ceremoniales de gran magnificencia (Wiesner, 2020; Pano, 2021).

Vega y Mendoza (2023) exponen que los Mayas aplicaron la milpa, que consistió en un sistema de cultivo rotativo en el que se plantaban diferentes cultivos en un mismo terreno, para aprovechar al máximo los recursos y mantener la fertilidad del suelo, y desarrollaron terrazas y canales de riego para llevar el agua a áreas en las que las lluvias eran escasas y mejorar la productividad de sus cultivos.

En cuanto al calendario agrícola, se explica que los Mayas lo desarrollaron basado en observaciones astronómicas y ciclos naturales para regular sus actividades agrícolas y ceremoniales. Se menciona que tenían dos calendarios principales: el tzolk'in, de 260 días, y el haab, de 365 días. Estos calendarios se combinaban en un ciclo de 52 años llamado "la cuenta larga". A través de estos calendarios, los Mayas podían determinar los tiempos adecuados para sembrar, cosechar y realizar ceremonias relacionadas con la agricultura. Un ejemplo, que se menciona es que los Mayas observaban la posición de ciertas estrellas y constelaciones en el cielo para marcar el inicio de la temporada de lluvias, que era crucial para el éxito de sus cultivos, principalmente el de maíz.

Con la llegada de los conquistadores españoles, la civilización Maya experimentó la colonización y vio como muchos de sus centros urbanos fueron desocupados o arrasados. A pesar de esto, algunas comunidades Mayas pudieron mantener vivas sus tradiciones culturales y métodos agrícolas, lo que ha sido fundamental para el desarrollo del turismo rural en la actualidad (Duarte *et al.*, 2022). Desde el siglo XX hasta la actualidad ha habido un aumento en el interés por los elementos histórico-culturales de los Mayas entre los visitantes, lo que ha impulsado el desarrollo del turismo rural alrededor de los sitios arqueológicos Mayas y las comunidades que mantienen prácticas agrícolas tradicionales. Destinos como Tikal en Guatemala, Chichén Itzá en México y Copán en Honduras se han posicionado como destinos turísticos destacados, brindando a los visitantes experiencias auténticas de la cultura Maya y la vida rural en la región de Mesoamérica (Vega y Mendoza, 2023).

Aztecas

Los Aztecas son una de las culturas más poderosas en el territorio que correspondía a Mesoamérica. Tenían una gran estructura social y su economía estaba basada en diferentes actividades, desde el comercio y la agricultura hasta la elaboración de artesanías y a la conquista de nuevos territorios (Castillo, 2020).

Figura 3. Territorios de los Mayas.



Fuente: Tomado de Hernández (2019).

Rinke (2021) aborda el origen de los Aztecas desde una perspectiva histórica y arqueológica. Según este autor, esta civilización es descendiente de poblaciones que habitaron la región de Mesoamérica desde al menos el 2000 a.C. Se cree que los antepasados se establecieron en la región de Guatemala y Belice, y posteriormente se expandieron hacia el norte y sur, desarrollando una cultura distintiva que incluía arquitectura monumental, sistemas de escritura, calendarios y una sofisticada comprensión de la astronomía. En otro orden de ideas, la historia del origen de los Aztecas está vinculada a sus creencias religiosas y mitológicas. Según la mitología Maya, los dioses crearon a los humanos a partir del maíz, que era considerado un alimento sagrado. Los Aztecas también creían en la existencia de varios dioses y espíritus que influían en su vida cotidiana y en el cosmos en general.

También se dice que, según la historia, los Aztecas salieron de Aztlán en busca de una señal divina que les indicara dónde fundar su ciudad. Esta señal, según cuenta la leyenda, sería un águila devorando una serpiente sobre un nopal, que es ahora un símbolo nacional de México.

Según Cervera (2008,) los Aztecas se establecieron en el valle de México (*figura 4*), después de emigrar del lugar mítico llamado Aztlán. Según la narrativa azteca, esta era una isla o región situada al norte de lo que ahora es México, y desde allí emprendieron un largo viaje que los llevó al valle de México, donde finalmente fundaron la ciudad de Tenochtitlan en el año 1325.

Figura 4. Territorios de los Aztecas.



Fuente: Tomado de Sánchez (2019).

Según explican varios autores, los Aztecas, también conocidos como mexicas antes de fundar su ciudad capital, Tenochtitlan, la región ya estaba habitada por diversos grupos culturales que practicaban la agricultura, como los toltecas y los teotihuacanos. Explican, siguiendo esta línea, que en su asentamiento edificaron una sociedad intrincada en el valle de México y desarrollaron, como la mayoría de los pueblos mesoamericanos, técnicas agrícolas avanzadas, como el cultivo en terrazas, el calendario agrícola, la rotación de cultivos, el uso de abonos naturales y, en especial, las chinampas (islas artificiales) para cultivar en los lagos y el desarrollo de sistemas de riego. Estas técnicas permitieron a los Aztecas y otros pueblos mesoamericanos llevar a cabo cultivos de manera eficaz y prosperar en una región con condiciones geográficas diversas y a menudo desafiantes (Hassig, 1988; Menchaca *et al.*, 2020).

La técnica de las chinampas, resaltada por Estacio (2022), es un sistema agrícola utilizado por las antiguas civilizaciones mesoamericanas, especialmente por los Aztecas. Consistía en la creación de islas artificiales en los lagos y pantanos de la región, donde se cultivaban diversos tipos de alimentos, como maíz, frijoles, calabazas y chiles. Se construían mediante la creación de estructuras de tierra y vegetación entrelazada, sostenidas por pilotes de madera clavados en el fondo del lago. Estas islas agrícolas eran muy productivas y permitían a los Aztecas cultivar alimentos de manera eficiente, incluso en áreas con suelos poco fértiles. Además de su función agrícola, también tenían un importante valor cultural y social para los Aztecas, ya que se consideraban un símbolo de la conexión entre la tierra y el agua, así como un ejemplo de la capacidad humana para transformar y adaptarse al entorno natural.

Al concluir el proceso de conquista de los españoles, los Aztecas experimentaron la colonización, lo que llevó a la destrucción de muchos de sus monumentos y estructuras. A pesar de esto, algunas comunidades Aztecas lograron mantener sus tradiciones culturales y métodos agrícolas, sentando las bases para el desarrollo del turismo rural en la actualidad (Rinke, 2021).

En el siglo XX y en la actualidad, el interés por la cultura y la historia azteca tuvo un ascenso en los visitantes, lo que ha llevado al desarrollo del turismo rural en torno a los sitios arqueológicos Aztecas y las comunidades que aún practican técnicas agrícolas tradicionales. Lugares como el Templo Mayor en Ciudad de México, Teotihuacán y Xochimilco se han convertido en destinos turísticos populares que ofrecen experiencias auténticas de la cultura azteca y la vida rural en México (Perevochtchikova, 2021).

Análisis de la contribución de las principales técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas en el turismo rural sostenible

Para abordar de manera exhaustiva la contribución de las principales técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas en el desarrollo del turismo rural sostenible se ha desarrollado la *tabla 1* como herramienta analítica. En la referida tabla se presenta un análisis detallado de las técnicas agrícolas más relevantes de estas civilizaciones, destacando su posible influencia en la sostenibilidad y el desarrollo de experiencias turísticas auténticas en entornos rurales. En la tabla se evidencian varios patrones y tendencias en cuanto a la contribución de las técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas en el turismo rural sostenible. En primer lugar, se destaca la promoción de la sostenibilidad a través de prácticas agrícolas tradicionales y respetuosas con la naturaleza. Además, se observa una tendencia hacia la diversificación de la producción agrícola, lo que contribuye a una mayor seguridad alimentaria y a la resiliencia frente al cambio climático.

Otro patrón importante es el aprovechamiento innovador de los recursos naturales, como el agua y la tierra, para desarrollar sistemas agrícolas sostenibles. Estas prácticas no solo tienen beneficios económicos, sino que también generan paisajes agrícolas atractivos que pueden cautivar a turistas interesados en la historia y la cultura local. Sin embargo, también se señalan desafíos y limitaciones asociados con estas técnicas, como la necesidad de un mantenimiento constante, los problemas de restauración y conservación, y los posibles impactos ambientales negativos si no se gestionan adecuadamente.

Estos patrones y tendencias subrayan la importancia de un enfoque sostenible en la gestión de los recursos naturales y culturales para garantizar su preservación a largo plazo. Se identifican oportunidades claves para desarrollar el turismo rural como la promoción de la agricultura sostenible, esto permite a los visitantes aprender sobre métodos de cultivo respetuosos con la naturaleza, y al mismo tiempo disfrutar de productos agrícolas locales orgánicos; enfoque que puede mejorar la seguridad alimentaria, la resiliencia frente al cambio climático y la preservación del entorno natural.

El desarrollo del turismo vivencial ofrecen oportunidades para actividades turísticas inmersivas, como *experiencias de agricultura vivencial* o *talleres prácticos* donde los turistas pueden participar en la cosecha, cultivo o preparación de alimentos, estas actividades no solo mejoran la comprensión de las técnicas agrícolas, sino que también fomentan el intercambio cultural y educativo entre turistas y comunidades locales; la conservación y restauración del patrimonio, a través del turismo, se pueden financiar esfuerzos de conservación y restauración de estos paisajes únicos, ayudando a preservar tanto el patrimonio natural como cultural de las comunidades locales, además el turismo puede promover la *interpretación del patrimonio histórico, cultural y natural* de las regiones, aumentando la conciencia pública sobre la importancia de conservar estos métodos agrícolas tradicionales.

La educación ambiental y el desarrollo comunitario permiten la creación de programas educativos sobre agricultura orgánica y gestión ambiental, estas iniciativas pueden mejorar la percepción de los turistas sobre la importancia de la sostenibilidad y contribuir al desarrollo comunitario al generar ingresos que pueden reinvertirse en proyectos locales de preservación y mejora; así como la diversificación de la oferta turística.

En la *tabla 1* se proporciona además una base sólida para futuras investigaciones y estudios sobre el tema, al presentarse de manera concisa y organizada información relevante y detallada sobre las técnicas agrícolas y su impacto en el turismo rural sostenible. Este análisis puede servir como punto de partida para investigaciones más profundas que exploren, por ejemplo, la implementación de estas técnicas en la actualidad y su potencial para promover un turismo sostenible en comunidades rurales. También se podrían realizar estudios comparativos entre las diferentes civilizaciones precolombinas para identificar patrones comunes y diferencias significativas en sus prácticas agrícolas y su impacto en el turismo. A su vez, destaca la importancia de considerar las limitaciones y desafíos asociados con estas técnicas, lo que podría inspirar investigaciones sobre estrategias innovadoras para superar estos obstáculos y maximizar los beneficios del turismo rural sostenible.

Tabla 1. Contribución de las principales técnicas agrícolas de las antiguas civilizaciones precolombinas al turismo rural sostenible.

Técnicas agrícolas	Civilización a la que pertenece	Descripción	Beneficios para el turismo rural sostenible	Limitaciones	Casos de estudio	Actividades turísticas potenciales
Terrazas de cultivo y andenes	Incas	Estructuras construidas en laderas de montañas o colinas para crear plataformas planas donde se podía cultivar. Permiten trasladar el agua a áreas secas.	<ul style="list-style-type: none"> • Previenen la erosión del suelo. • Mejoran el drenaje. • Aprovechamiento de la luz solar en zonas montañosas. • Paisajes agrícolas atractivos para el turismo. • Favorecen la agricultura sostenible y tradicional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta mano de obra para la construcción y mantenimiento. • Problemas de restauración y conservación. • Mantenimiento constante. • Impacto ambiental (Alteración de los cursos naturales de agua). 	<ul style="list-style-type: none"> • Moray. • Machu Picchu. • Valle Sagrado. • Tipón • Teguisse. • Maras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas guiadas. • Interpretación del patrimonio histórico, cultural y natural. • Recorridos. • Rutas turísticas. • Intercambios culturales. • Talleres prácticos. • Degustación de platos. • Organización de eventos. • Safaris fotográficos. • Actividades de voluntariado. • Experiencias de agricultura vivencial.
Milpa y rotación de cultivos	Mayas	Alternación de diferentes tipos de cultivos en un mismo terreno de forma planificada y secuencial.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento del suelo. • Diversificación de la producción agrícola. • Aumento de la seguridad alimentaria. • Incremento de la resiliencia frente al cambio climático. • Promoción de la agricultura orgánica y sostenible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación adecuada sobre los ciclos de cultivo y las necesidades de cada uno. • Adaptación de las técnicas a las demandas del mercado. • Cambio climático. • Mano de obra y costos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Yucatán. • Xochimilco. • Colca. • Islas Galápagos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Visitas guiadas. • Recorridos. • Rutas turísticas. • Interpretación del patrimonio histórico, cultural y natural. • Cosecha y preparación de alimentos. • Talleres prácticos. • Programas de intercambio cultural. • Degustación de platos. • Organización de eventos. • Safaris fotográficos.

Técnicas agrícolas	Civilización a la que pertenece	Descripción	Beneficios para el turismo rural sostenible	Limitaciones	Casos de estudio	Actividades turísticas potenciales
Chinampas	Aztecas	Pequeñas parcelas de tierra construidas en los cuerpos de agua, como lagos y lagunas, utilizando una técnica de relleno con materiales orgánicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Característica única y pintoresca del paisaje agrícola. • Agricultura sostenible. • Educación ambiental. • Desarrollo comunitario. • Promoción de la cultura local. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento constante. • Impactos ambientales negativos si hay una gestión inadecuada. • Su uso intensivo puede provocar pérdida de la diversidad biológica. • Sostenibilidad de los recursos hídricos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Xochimilco. • Xaltocan. • Tláhuac. • Iztapalaca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Paseos en trajineras. • Visitas guiadas. • Interpretación del patrimonio histórico, cultural y natural. • Talleres prácticos. • Degustación de platos. • Safaris fotográficos. • Exposiciones y ferias. • Mercados de productos locales. • Programas educativos. • Recorridos.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Las técnicas agrícolas identificadas contribuyen al desarrollo del turismo rural sostenible, al promover la realización de actividades agroecológicas vivenciales, la diversificación de cultivos, la educación ambiental de actores locales y turistas, la preservación del patrimonio cultural tanto material como inmaterial, así como el fortalecimiento de la identidad cultural, lo que contribuye al desarrollo de un turismo diversificador y sostenible.

Los referentes teóricos metodológicos resaltan una brecha importante, indicando la necesidad de futuras investigaciones que integren estos campos para crear estrategias turísticas más sostenibles y culturalmente conscientes. La información sobre las antiguas civilizaciones precolombinas y sus técnicas agrícolas ofrece una base sólida para generar conocimientos prácticos, fundamentales para desarrollar experiencias turísticas auténticas y respetuosas con la cultura local, promoviendo el turismo rural sostenible.

Las antiguas técnicas agrícolas precolombinas tienen una contribución significativa en el desarrollo del turismo rural sostenible. Técnicas como las terrazas de cultivo, la milpa, la rotación de cultivos y las chinampas, no solo promueven la agricultura sostenible, sino que también enriquecen las experiencias turísticas y fomentan la conservación del patrimonio cultural y natural. Estas pueden tenerse en cuenta en planes de desarrollo de turismo sostenible en América Latina y otras regiones, resaltando la importancia de aprender de las tradiciones ancestrales para un futuro más sostenible y equitativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Be Ramírez, P. A. (2024). Itinerarios por el Mayab: Reflexiones sobre el turismo cultural entre la segunda generación de migrantes yucatecos en Cancún. *Intersticios Sociales*, (28). <https://doi.org/10.55555/is.28.571>
- Béjar, V., Madrigal, F. y Madrigal, S. (2024). Importancia de las estrategias en el turismo sostenible en México. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2), 198-212. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1869>
- Betánzos, J. (2022). *Suma y narración de Los Incas. Crónicas y Memorias*. Ediciones Polifemo. <https://acortar.link/GnehFF>
- Boleto Machu Picchu. (2022). Los andenes o terrazas agrícolas en Machu Picchu. *Boleto Machu Picchu*. <https://acortar.link/lid4U6>
- Castillo, E. (2020). *Aztecas: Cultura y Civilización*. <https://acortar.link/Fbv2E2>
- Cely, J. D. (2019). *Análisis historiográfico sobre el Estado Inca en el siglo XV* [Trabajo de grado, Universidad Externado de Colombia]. <https://acortar.link/EY6fKE>
- Cervera, M. (2008). *Breve historia de los Aztecas* (1ra edición). Ediciones Nowtilus. <https://acortar.link/3OwCQf>
- Cuevas, M. C., Pérez, M. y Pecero, E. (2018). Preservación de la herencia cultural a través del turismo gastronómico. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*, 24(68), 177-189. <https://doi.org/10.19136/hitos.a24n68.2520>
- Cusi, C. C. (2023). *Dinámica urbano-turística en la comunidad campesina de Arin (distrito provincia de Calca)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <https://acortar.link/YcdZKR>
- Diamond, J. (2020). *Armas, gérmenes y acero. Breve Historia de la Humanidad en los últimos trece mil años*. DEBOLSILLO. <https://acortar.link/myqoKc>

- Díaz-Pompa, F., Leyva-Fernández, L., Ortiz, O. L. y Sierra, Y. (2020). El turismo rural sostenible en Holguín. Estudio prospectivo panorama 2030. *El Periplo Sustentable*, (38), 174-193. <https://doi.org/10.36677/elperiplo.v0i38.9265>
- Duarte, A. R., Villanueva, N. B., Kholer, A. M., Sánchez, A., Victoria, O. y Oliva, Y. (2022). *Descolonizar los saberes Mayas*. (1a ed.). Universidad Autónoma de Yucatán.
- Estacio, J. (2022). *Los desafíos de los recursos hídricos en América Latina*. BoD - Books on Demand. <https://acortar.link/OpJqcq>
- García, M. (2023). Los primeros pasos del hombre en América: breve repaso de algunas teorías sobre su difusión por el continente hasta su sedentarización. *Edähi Boletín Científico de Ciencias Sociales y Humanidades del ICSHu*, 11(22), 32-44. <https://doi.org/10.29057/icshu.v11i22.8995>
- Hassig, R. (1988). *Aztec Warfare: Imperial Expansion and Political Control*. University of Oklahoma Press. <https://acortar.link/1mtKvC>
- Hernández, A. (2019). *Los Mayas*. <https://acortar.link/hwyRq5>
- Hernández, Y., Cruz, Y., Gutiérrez, J. E., y Vento, C. D. (2021). Turismo rural y su futuro inmediato en el contexto de la COVID-19 en Cuba. *Cooperativismo y Desarrollo*, 9(2), 457-485. <https://acortar.link/DI6Pbs>
- Jouault, S., Enseñat-Soberanis, F., y Balladares-Soberano, C. (2018). La milpa Maya en Yucatán: ¿una transición entre la patrimonialización y la turistificación? *Gremium*, 5(10), 9-24. <https://doi.org/10.56039/rgn10a03>
- Kolata, A. L. (2023). *El poder de los Incas. La organización social, económica, religiosa y política de un imperio*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://acortar.link/q4P3xB>
- Korpisaari, A. (2019). Entre la vertiente tropical y los valles: Sociedades regionales e interacción prehispánicas en los Andes centro-sur. *Latin American Antiquity*, 30(1), 237-239. <https://doi.org/10.1017/laq.2019.9>
- Lomas, R., Naranjo, M., Trujillo, C. A. y Cruz, F. E. (2017). Tradición oral de adultos mayores del camino del Inca (Qhapac-Ñan) como aporte al turismo sustentable del Carchi " Ecuador. *Tierra Infinita*, 3(1), 5-39. <https://doi.org/10.32645/26028131.130>
- López, E. M. (2018). El turismo y su impacto en las políticas económicas, culturales y turísticas de México en las primeras del siglo XX: La perspectiva de la prensa de la época. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 16(3), 671-685. <https://acortar.link/0IL4Xs>
- Martín, M. A. (Coord.). (2022). *Desafíos, necesidades y oportunidades para el mundo rural. La llamada a la aplicación de los derechos de los campesinos y otras personas que trabajan en el ámbito rural*. Dykinson. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=872510>
- Menchaca, E., Francisco, J. y Martínez, H. (2020). *Historia de México 2*. (3a ed.). Patria Educación.
- Moral, M., Fernández, M. T., y Sánchez, M. J. (2019). Análisis del turismo rural y de la sostenibilidad de los alojamientos rurales. *Revista Espacios*, 40 (1). <https://es.revistaespacios.com/a19v40n01/a19v40n01p03.pdf>
- Obando, J. M. (2021). *Historia laboral de las civilizaciones*. Editorial Temis. <https://acortar.link/TTpCte>
- Oehmichen, C. (2019). Los Mayas de Quintana Roo y la economía de la identidad. *Cultura y Representaciones Sociales*, 13(26), 197-223. <https://doi.org/10.28965/2019-26-08>

- Oehmichen, C., y Maza, F. D. L. (2019). Turismo, pueblos indígenas y patrimonio cultural en México y Chile. *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 17(1), 53-64. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2019.17.004>
- Pano, J. (2021). *Manual de arte precolombino*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Perevochtchikova, M. (2021). *Pago por servicios ambientales desde el enfoque de los sistemas socio-ecológicos: casos de estudio en Oaxaca y Ciudad de México*. Colegio de México.
- Pérez, B. (2006). Turismo y representación de la cultura: Identidad cultural y resistencia en comunidades andinas del Cusco. *Anthropologica*, 24(24), 29-49. <https://acortar.link/ukknXN>
- Rinke, S. (2021). *Conquistadores y Aztecas*. Editorial EDAF. <https://acortar.link/6kcdFe>
- Sánchez, R. (2019). *Mayas, Aztecas e Incas*. <https://slideplayer.es/slide/13544533>
- Sonderguer, C. y Punta, C. (2021). *América Precolombina*. (1a ed.). Nobuko.
- Sonderguer, C. y Punta, C. (2022). *Manual de historia y arte de América Antigua. Pensamiento y Obra (2da edición)*. Nobuko.
- Taboada, H. y Kozel, A. (2022). *En busca de la civilización latinoamericana*. (1ra edición). Universidad Nacional Autónoma de México. <https://acortar.link/ft8boQ>
- Torres, J. O. (2015). Turismo comunitario y su estudio: Reflexiones desde un enfoque cultural propositivo para el desarrollo rural. *Revista Humanismo y Cambio Social*, 5(3), 68-73. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9113439.pdf>
- Valeri, R. (2022). *El gran Imperio Inca antes de los españoles*. <https://acortar.link/equ6a0>
- Vega, H. y Mendoza, A. (Coord.). (2023). *Oxtankah: una ciudad prehispánica en las tierras bajas del área Maya (Volumen 1)*. Editorial Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://acortar.link/ZBHDu3>
- Wiesner, M. E. (2020). *Breve Historia del Mundo*. (1ra edición). Ediciones Akal.



RESEÑA BIOGRÁFICA

Mario Molina: Un científico socialmente comprometido.

Mario Molina: A socially committed scientist.

Mario Molina: Um cientista socialmente comprometido.

Federico Velázquez de Castro González

Asociación Española de Educación Ambiental, España
velazquezdecastrofederico@gmail.com

Reseña biográfica

Recibido: 31/5/2024

Aceptado: 12/12/2024

Publicado: 14/12/2024

RESUMEN

En el presente artículo se comenta la trayectoria de uno de los científicos más relevantes del siglo XX, el doctor Mario Molina. Oriundo de México, tras obtener allí su licenciatura, amplía sus estudios superiores en California, incorporándose a un grupo de trabajo sobre química atmosférica, en el que participó en una investigación trascendental: cómo unos productos de excelentes propiedades (incluida la ausencia de toxicidad) y utilizados en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales, podían ser destructores del ozono estratosférico si alcanzaban las capas altas de la atmósfera. Este descubrimiento le llevó a recibir el Premio Nobel de Química, pero su mérito se amplió al implicarse socialmente para que fuera posible la prohibición de los productos responsables. También es destacable su retorno a México para trabajar por la mejora de su país. Este perfil profesional que rehúye el aislamiento y elige dar un objetivo social a sus conocimientos para que se reviertan en una mejora de la población (especialmente de los más desfavorecidos), es hoy sumamente necesario para abordar los importantes desafíos ambientales.

Palabras clave: clorofluorocarburos, ozono, partículas, Protocolo de Montreal

ABSTRACT

This article discusses the career of one of the most important scientists of the 20th century, Dr. Mario Molina. Originally from Mexico, after obtaining his degree there, he continued his higher education in California, joining a working group on atmospheric chemistry, where he participated in a transcendental investigation: how products with excellent properties (including the absence of toxicity) and used in residential, commercial and industrial applications, could be destroyers of stratospheric ozone if they reached the upper layers of the atmosphere. This discovery led him to receive the Nobel Prize in Chemistry, but his merit was extended by his social involvement so that the prohibition of responsible products was possible. Also noteworthy is his return to Mexico to work for the improvement of his country. This professional profile that shuns isolation and chooses to give a social objective to his knowledge so that it is reverted to an improvement of the population (especially the most disadvantaged), is extremely necessary today to address important environmental challenges.

Keywords: chlorofluorocarbons, Montreal Protocol, ozone, particulate matter

RESUMO

Este artigo discute a carreira de um dos cientistas mais importantes do século XX, o Dr. Mario Molina. Natural do México, após obter sua graduação lá, expandiu sua formação superior na Califórnia, integrando um grupo de trabalho sobre química atmosférica, no qual participou de uma investigação transcendental: como produtos com excelentes propriedades (incluindo a ausência de toxicidade) e usado em aplicações residenciais, comerciais e industriais, eles podem ser destruidores da camada de ozônio se atingirem as camadas superiores da atmosfera. Essa descoberta lhe rendeu o Prêmio Nobel de Química, mas seu mérito foi ainda mais reforçado por seu envolvimento social para tornar possível a proibição de produtos responsáveis. Também é digno de nota seu retorno ao México para trabalhar pela melhoria de seu país. Esse perfil profissional, que foge do isolamento e opta por dar uma finalidade social ao seu conhecimento para que ele possa ser utilizado para melhorar a vida da população (principalmente a mais desfavorecida), é extremamente necessário hoje para enfrentar importantes desafios ambientais.

Palavras-chave: clorofluorcarbonos, material particulado, ozônio, Protocolo de Montreal

INTRODUCCIÓN

Aunque existe una tradición importante, aún son minoría los científicos que se implican en los problemas sociales de su tiempo, interviniendo, a veces con cierta heterodoxia, en debates que afectan directamente a la salud humana o a la naturaleza, por citar algunas de las áreas más relevantes. Sin embargo, nos interesa el perfil comprometido de los hombres y mujeres de ciencia porque su mensaje, sustentado en investigaciones y conocimientos, no sólo aportan luz y autoridad, sino que pueden liderar iniciativas necesarias para el bien de la comunidad.

Mario Molina se inserta en esta línea, pues además de trabajar sobre temas de gran impacto ambiental -la acción de los clorofluorocarburos (CFC) sobre la capa de ozono- supo llevar a los distintos actores a mesas de negociación para conseguir acuerdos, cuya urgencia estaba fuera de toda duda. Volvió a su país de origen, dejando atrás importantes ofertas profesionales, preocupado por elevar el currículum escolar, especialmente en cuanto a la asignatura de Química se refiere. Intervino, finalmente, con voz autorizada en el periodo de pandemia para promover el uso de las mascarillas.

Es importante que personas con este perfil sean reconocidas en el ámbito científico y social. En el primero, para que sirvan de ejemplo y referente; en el segundo, para que la sociedad comprenda que la ciencia práctica es una de las herramientas imprescindibles para interpretar la realidad y contribuir a su mejora.

Vida profesional

José Mario Molina-Pasquel Henríquez nació en Ciudad de México el 19 de marzo de 1943. Desde su infancia se sintió atraído por la química y, tras su paso por la enseñanza media, eligió la carrera de Ingeniería Química en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), interesándose por la fisicoquímica (que en España se conoce como química-física). Realizó su trabajo de licenciatura en 1965, comenzando posteriormente estudios de doctorado en la Universidad californiana de Berkeley, sobre el conocimiento de la dinámica molecular mediante el empleo del láser. Obtiene el doctorado en 1972.

Entra en el grupo del profesor Sherwood Rowland en la Universidad de Irvine (California) con quien iniciará una investigación orientada a conocer el destino de los clorofluorocarburos (CFC), lo que supuso su trabajo

postdoctoral, cuyas conclusiones impulsaron el Protocolo de Montreal de 1987. Entre 1989 y 2004 fue profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts.

La capa de ozono y los CFC

Situada entre los 22 y 25 kilómetros de altura, se encuentra lo que conocemos como capa de ozono (ozonósfera). Contiene la mayor parte del ozono atmosférico y su origen habría que situarlo hace 1.500 millones de años, cuando la proporción de oxígeno era solo el 1% de la actual, aunque no sería hasta 700 millones de años después cuando estaría plenamente constituida. Su presencia supuso la formación de un escudo protector más frente a las radiaciones penetrantes emitidas por el Sol, en este caso las fracciones B y C de la radiación ultravioleta.

El primer CFC se descubrió en 1923, en el departamento de investigación de la empresa General Motors, cuando se buscaban refrigerantes que mejorasen aspectos problemáticos (como las fugas o incendios) del dióxido de azufre y el amoníaco, empleados frecuentemente entonces. Su descubrimiento fue muy prometedor, hasta el punto de que se fabricaron 20 nuevos productos de la misma familia. Los CFC son compuestos químicos sencillos derivados del metano o etano, donde los átomos de hidrógeno han sido sustituidos completamente por halógenos, especialmente cloro. En los años 70 del siglo XX, su uso se había extendido a más de tres mil aplicaciones, entre ellas la refrigeración en todas sus formas, propulsores de espray, espumas, disolventes, extintores, usos médicos y militares, etc., con una producción de mil millones de toneladas anuales (se encontraban en las líneas de producción de todas las grandes compañías químicas), de las que un millón se verterían como pérdidas a la atmósfera.

¿Qué contribuyó a su auge? Todo eran buenas noticias: gran estabilidad, alta eficiencia, ausencia de toxicidad, fácil manejo y bajo coste. Fue entonces, junto con S. Rowland, cuando emprendieron una investigación sobre el destino de estos productos. En el aire se encontraban por debajo de la proporción esperada, y en cuanto al agua, eran insolubles. Tampoco el suelo ofrecía valores significativos. Hay que recordar que los tiempos de residencia atmosférica de los CFC son muy dilatados -alrededor de 100 años- por lo que, allí donde estuvieran, deberían acumularse. Sin embargo, quedaba otra posibilidad, y esta fue la novedad de la investigación de Molina-Pasquel: debido a los largos tiempos mencionados, podrían ser inyectados en la estratosfera, puesto que la capa separadora -la tropopausa- permite intercambios en ambas direcciones. Una vez allí se encontrarían con su único sumidero, la radiación ultravioleta de onda corta, que podría descomponerlos liberando cloro que, a través de una serie de reacciones catalíticas, reaccionaría con el ozono destruyéndolo.

El mundo en alerta

En 1973 enviaron un artículo a la revista *Nature*, en el que se detallaba esta hipótesis, siendo rechazado por alarmista. Afortunadamente, una de sus revisoras, Susan Salomon, estaba involucrada en una línea de trabajo similar, lo que les permitió aunar esfuerzos, y así el 28 de junio de 1974 el artículo pudo publicarse bajo el título: "*Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone*".

El impacto fue enorme. La Academia de Ciencias de Estados Unidos realizó estudios que mostraban que para 2050 habría desaparecido hasta un 13% del ozono estratosférico. La vida corría peligro, de entrada, se esperaba un aumento en el número de cánceres de piel (como de hecho ocurrió más adelante), lesiones oculares y trastornos inmunológicos. Animales, plantas y materiales se verían también afectados; preocupando la reducción de las cosechas y la acción sobre el fitoplancton. Se convirtió así en el primer problema global al que la humanidad tuvo que enfrentarse.

La gran industria se revolvió, defendiendo la inocuidad de sus productos. La responsabilidad recaería, según argumentaban, en los ciclos solares o los vientos estratosféricos. En 1975 se publicó un artículo en *Science*, promovido por la industria, que Molina tuvo que rebatir. Desde su primer artículo publicó dos docenas de textos relacionados con el ozono, incluidos los que refutaban las posiciones de las grandes compañías, cuyas “teorías” hubo que ir desmontando. Una vez demostrada la responsabilidad de los CFC había que actuar.

El Protocolo de Montreal

Debido al alto nivel de riesgo que la situación mostraba, Molina-Pasquel comenzó a promover un protocolo que limitase la fabricación de estos compuestos. Aún no existía una evidencia científica completa, pero el tiempo apremiaba, por eso lleva el resultado de sus investigaciones a los medios de comunicación y a los responsables políticos. Estas iniciativas “más allá de la ciencia” podían poner en riesgo su reputación profesional, mas, aun así, se implicó. Se pide la aplicación del Principio de Precaución (aceptado por la Unión Europea), promoviendo un encuentro amplio de todos los sectores que abarcaran aspectos científico-técnicos, sociales, económicos, políticos y éticos. Molina-Pasquel mantiene un compromiso ético con la ciencia, que ha dirigido sus movimientos anteriores, vinculándola con los intereses generales.

El Protocolo de Montreal fue firmado en 1987 por 43 países y está considerado como uno de los mejores logros ambientales. Un acuerdo que deseamos se imitara en relación con otros impactos, especialmente el cambio climático. Según la primera versión del Protocolo, para el año 2000 debería reducirse en un 50% la producción y consumo de los CFC. Sin duda era un logro, pero para algunos aún insuficiente, de hecho, los datos que, desde tierra y aire se registraban cada año sobre las concentraciones de ozono, advertían de la seriedad del problema y de la necesidad de adoptar medidas más contundentes (el “agujero de ozono” antártico era una de sus manifestaciones más preocupantes). Fue así, en la revisión del Protocolo en Londres (1992) cuando se decidió unánimemente la prohibición total de su fabricación, comercio y consumo para 1996, fecha que Estados Unidos y la Unión Europea adelantarían un año. Quedaban exentos los “usos esenciales” (médicos o militares), y los países del Sur dispondrían de una prórroga de 10 años. Pero el 98% de la producción total quedaba suprimida.

De vuelta a México

Mario Molina dejó la comodidad de su estatus, como profesor emérito con salario vitalicio, para cambiar su residencia y su vida volviendo a México con el objetivo de combatir la contaminación atmosférica y el cambio climático. Nunca se olvidó de su país, al que trató de apoyar hasta los últimos días de su vida. Su contribución fue importante, en la zona metropolitana del Valle de México para eliminar el plomo, reducir el dióxido de azufre y medir la presencia de partículas.

A partir de 2001 coordinó un equipo de científicos mexicanos y estadounidenses para abordar el problema de la contaminación metropolitana en el centro del Distrito Federal. Pidió la regulación del transporte pesado, responsable en gran medida de la emisión de las partículas PM_{2,5} (es decir, de diámetro inferior a 2,5 micras), demostrando que afectaban al desarrollo de los niños; estas partículas son responsables del 1,5% de las muertes por todas las causas que se producen en el mundo.

Cuestionaba el “derecho humano” a tener un vehículo, como algunos jueces dictaminaban, sino que, más bien, el verdadero derecho era a un medio ambiente sano. La jurisprudencia hoy ha cambiado, en el sentido orientado por Molina, restringiendo, entre otras medidas, la circulación de los vehículos antiguos.

Trata de convencer al gobierno de Felipe Calderón, puesto que su reforma energética no iba en sintonía con las exigencias ambientales del momento. Apoya las energías renovables y promueve leyes desde 2008, mostrándose crítico con los biocombustibles para que no compitieran con la producción de alimentos ni sustituyeran áreas naturales ricas en biodiversidad.

Aplaude la constitución del Sistema Nacional de Cambio Climático, de hecho, México fue el cuarto país del mundo en aprobar una ley en este sentido, siguiendo las recomendaciones internacionales. Con todo, estaba convencido que el presidente López Obrador, no era consciente de la gravedad del problema.

Presidió en México, desde 2004, el Centro Mario Molina, institución de investigación y promoción de políticas públicas fundamentadas en evidencias científicas.

Durante la pandemia

Fue un firme defensor del uso de las mascarillas (o “cubrebocas”, como también se las conoce), consciente de su importante papel protector. Más tarde observó que el SARS-COV-2 podía transmitirse en un mecanismo similar, a través de las partículas PM2,5, según los datos que se iban recogiendo en Europa, Nueva York y China; lo que reforzó su posición frente al gobierno para que estableciera la obligación de que los ciudadanos llevaran este medio protector, invitando al presidente López Obrador a que diera ejemplo utilizándola.

Reconocimientos profesionales

Mario Molina recibió, junto a F.S Rowland y P. Crutzen, el Premio Nobel de Química en 1995 por sus decisivas investigaciones sobre la protección de la capa de ozono. Formó parte del Consejo de Asesores de Ciencia y Tecnología de los presidentes Bill Clinton y Barack Obama. Recibió 40 doctorados honoris causa, fue Premio Tyler de Energía y Ecología en 1983 y Premio Sasakawa de las Naciones Unidas.

Falleció de un ataque al corazón el 7 de octubre de 2020 a los 77 años. Todos los que en aquella época trabajábamos desde la universidad y otros entornos cívicos sobre las temáticas que abordó, reconocemos sinceramente su labor y agradecemos el ejemplo transmitido, al promover el encuentro de la ciencia con la sociedad, a la búsqueda siempre del interés común.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Bazúa, E. y Durán M. C. (2022). Mario Molina, un formador de nuevas generaciones y un investigador de nuestro tiempo. *Educación Química*, 32, 7-26. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.4.80328>

Contreras, J. C., Jiménez, D. y Pichardo, J. (2015). Mario Molina y la saga del ozono, ejemplo de vinculación ciencia-sociedad. *Andamios*, 12(29). <https://acortar.link/cO4JgG>

Landero, K., Ortega-Andeane, P., Reyes-Lagunes, I. y Sosa-Echeverría, R. (2014). Air Pollution in Mexico City: attribution and perception of causes and effects. *Psychology*, 5(1), 91-117. <https://doi.org/10.1080/21711976.2014.881665>

Molina, M. J. y Rowland, F. S. (1974). Stratospheric sinks for chlorofluoromethanes: chlorine atoms catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249, 810-812. <https://doi.org/10.1038/249810a0>

Solorio, I. (2021). Leader on paper, laggard in practice: policy fragmentation and the multilevel paralysis in implementation of the Mexican Climate Act. *Climate Policy*, 21(9), 1-15. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.1894084>

Velázquez de Castro, F. (2001). *El ozono, cuándo protege y cuándo destruye*. Editorial McGraw Hill.

Velázquez de Castro, F. (2023). *Aspectos clave del cambio climático: crisis, pandemias y futuro*. Editorial Acribia.