



Revista Semilla del Este



Vol. 6, (1), Octubre 2025 - Marzo 2026 / ISSN L: 2710-7469
Centro Regional Universitario Panamá Este



REVISTA ESPECIALIZADA EN GESTIÓN AMBIENTAL

https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este



Revista Semilla del Este

Vol. 6 (1)

octubre 2025 – marzo 2026

ISSN L: 2710-7469

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este

**AUTORIDADES DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

Dr. Eduardo Flores Castro
Rector

Dr. José Emilio Moreno
Vicerrector Académico

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
Vicerrector de Investigación y Postgrado

Mgter. Arnold Muñoz
Vicerrector Administrativo

Mgter. Mayanin Rodríguez
Vicerrectora de Asuntos Estudiantiles

Mgter. Ricardo Him
Vicerrector de Extensión

Mgter. Ricardo A. Parker
Secretario General

Mgter. José Luis Solís
Director General de los Centros Regionales Universitarios

Directores de la Revista

Magister Yecenia Edid Brandao Otero. Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Panamá Este. Panamá.

yecenia.brandao@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0008-0027-3507>

Editor Jefe de la Revista

Dr. Alonso Santos-Murgas. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Panamá.

santosmurgasa@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9339-486X>

Secretario Técnico de la Revista

Ing. Alexander Santana. Universidad de Panamá, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas, Panamá.

alexander.santana@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-0455-0996>

Equipo Editorial de la Revista

Licenciada Zaira Delgado. Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá.

zaira.delgado@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-0634-714X>

Dr. Francisco Farnum Castro. Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá.

francisco.farnum@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5879-2296>

Ingeniero Edgar J. Pérez. Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá.

edgar.perezr@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-0466-001X>

Dra. Damaris V. Tejedor-De León. Universidad de Panamá. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. Oficina de Publicaciones Académicas y Científicas. Panamá.

damaris.tejedor@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4350-196X>

Contacto

semilladeleste@up.ac.pa

EDITORIAL

La Revista Semilla del Este, medio de publicación científica indexada; especializada en Gestión Ambiental de la Universidad de Panamá, se complace en presentarles el primer número del sexto volumen, el cual cuenta con un total de 13 contribuciones originales en materia de investigación y gestión ambiental desarrollados en el territorio nacional. En esta ocasión la revista ha priorizado la Gestión Ambiental y Sostenible de Recursos Naturales y la Biodiversidad, recibándose trabajos en materia de: importancia de la educación ambiental en la formación de los estudiantes; análisis de la subsistencia de la isla Gardi Sugdub, de San Blas; desarrollo de estrategias sostenibles para la reducción de cadmio en masa fermentativa de híbridos experimentales de cacao, gestión Logístico-Administrativa y Competitividad del Turismo en la Provincia de Los Santos; bivalvos usados como bioindicadores, exploración costera sobre macro, meso y microplásticos en playa Bique, Panamá Oeste; reducción del “período abierto” en vacas lecheras cruzadas mediante la optimización del protocolo Ovsynch; comunidad de insectos acuáticos en el arroyo La Colorada, Antón, Provincia de Coclé, Panamá; tecnologías emergentes y gestión Ambiental, inteligencia artificial y su rol en la conservación frente a la crisis ecológica global; identificación de fragmentación boscosa en la microcuenca del Río Cacao mediante drones; insectos polinizadores asociados al cultivo de café; diagnóstico ambiental en Santa Fé, provincia de Veraguas, percepción de los residentes; cultivo casero de espirulina en Panamá con enfoque de bajo costo y alto contenido nutricional.

En esta ocasión deseo extender mis más sinceros agradecimientos a los lectores, autores, revisores y en especial, al Equipo Editorial de la Revista Semilla del Este, por todo el apoyo brindado durante la conformación de este volumen.

Esperando que este número despierte el interés de todos los lectores y autores.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alonso Santos Murgas', with a stylized flourish at the end.

Profesor, Alonso Santos Murgas, PhD.

Editor jefe, Revista Semilla del Este

Índice

Importancia de la educación ambiental en la formación integral de estudiantes de educación básica	7
Análisis de la subsidencia de la Isla Gardí Sugdub de San Blas: causas, consecuencias y estrategias de mitigación mediante teledetección	21
Desarrollo de estrategias sostenibles para la reducción de cadmio en masa fermentativa de híbridos experimentales de cacao mediante inoculación de rhizobium japonicum	36
“Gestión Logístico-Administrativa y Competitividad del Turismo en la Provincia de Los Santos, Panamá 2024”	50
Bivalves (Pelecypoda) used as bioindicators of pollution on different beaches in the Bay of Panama	63
Exploración costera: estudio sobre macro, meso y microplásticos en playa Bique, Panamá Oeste	72
Reducción del “período abierto” en vacas lecheras cruzadas mediante la optimización del protocolo Ovsynch: Un análisis comparativo de la inseminación a las 48 y 56 horas.....	91
Comunidad de insectos acuáticos en el arroyo La Colorada, Antón, Provincia de Coclé, Panamá	102
Tecnologías Emergentes y Gestión Ambiental: Inteligencia Artificial y su Rol en la Conservación Frente a la Crisis Ecológica Global	115
Identificación de fragmentación boscosa en la Microcuenca del Río Cacao mediante drones DJI FLY.....	133
Insectos polinizadores asociados al cultivo de café: una revisión sistemática	147
“Diagnóstico ambiental en Santa Fé de Veraguas: percepción de los residentes”	163
Cultivo casero de Espirulina en Panamá con enfoque de bajo costo y alto contenido nutricional.....	181

Importancia de la educación ambiental en la formación integral de estudiantes de educación básica

Importance of environmental education in the comprehensive formation of elementary students

Diana M. Espinosa L.

Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología, Facultad de Ciencias de la Educación. Panamá.

dianitalopez07@gmail.com <https://orcid.org/0009-0005-0487-8341>

Rubén D. Collantes G.

Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología, Facultad de Ciencias de la Educación. Panamá.

rdcg31@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

*Autor de correspondencia: rdcg31@hotmail.com

Recepción: 29 de marzo de 2025

Aprobación: 1 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.8340>

Resumen

El objetivo del estudio fue desarrollar una revisión sistemática sobre la importancia de la educación ambiental en la formación integral de estudiantes de nivel básico. La investigación fue de naturaleza analítica y reflexiva, consultándose 40 referencias relacionadas con la temática, publicadas principalmente durante los últimos 10 años. Se establecieron como ejes temáticos: i) Influencia de la educación ambiental en las actitudes y comportamientos de los estudiantes; ii) Principios pedagógicos sinérgicos con la educación ambiental; iii) La educación ambiental en función del territorio; iv) Programas y estrategias metodológicas aplicadas en la educación ambiental, como parte del currículum. De acuerdo con el análisis, en la medida en que los estudiantes de educación básica consoliden hábitos, actitudes y valores orientados hacia el cuidado del ambiente, se constituyen en entes multiplicadores de la sociedad, a través de la convivencia familiar y comunitaria. Respecto



al fortalecimiento pedagógico, al contar con un ambiente sano, se facilita el que los participantes del proceso enseñanza-aprendizaje logren aplicar los contenidos en respuesta pertinente a la realidad con la cual interactúan. Si las naciones refuerzan dentro de sus políticas de Estado la sostenibilidad ambiental como prioridad, ello facilitará el respaldo económico, científico y logístico de propuestas educativas formales, orientadas hacia dicho fin. Por otro lado, es necesario contar con indicadores ajustados, que permitan evaluar la eficacia de los programas de educación ambiental que están siendo implementados. En conclusión, la educación ambiental es un constituyente fundamental para la formación integral del ser humano, en especial en edades tempranas.

Palabras clave: políticas de estado, principios, programas, sostenibilidad, valores.

Abstract

The aim of the study was to develop a systematic review on the importance of environmental education in the comprehensive formation of elementary students. The research was analytical and reflective in nature, consulting 40 references related to the topic, published mainly during the last 10 years. The following were established as thematic axes: i) Influence of environmental education on the attitudes and behaviors of students; ii) Pedagogical principles synergistic with environmental education; iii) Environmental education depending on the territory; iv) Programs and methodological strategies applied in environmental education, as part of the curriculum. According to the analysis, to the extent that elementary students consolidate habits, attitudes and values oriented towards the environment protection, they become multiplying entities of society, through family and community coexistence. Regarding pedagogical strengthening, having a healthy environment makes it easier for participants in the teaching-learning process to be able to apply the contents in response pertinent to the reality with which they interact. If nations reinforce environmental sustainability as a priority within their State policies, this will facilitate the economic, scientific and logistical support of formal educational proposals, oriented towards this end. On the other hand, it is necessary to have adjusted indicators that allow evaluating



the effectiveness of the environmental education programs that are being implemented. In conclusion, environmental education is a fundamental constituent for the integral formation of the human being, especially at an early age.

Keywords: principles, programs, state policies, sustainability, values.

INTRODUCCIÓN

Existe una sentida preocupación por el deterioro progresivo del ambiente, como consecuencia de las acciones irresponsables de los seres humanos. En el caso de la agricultura, el laboreo continuo de suelos conlleva a la pérdida de humus y otros nutrientes, así como el debilitamiento de su estructura (Palapa y Honchar, 2022); mientras que, en países desarrollados y altamente industrializados, el deterioro ambiental progresivo guarda relación con la desmejora de la calidad de vida de las personas, incrementándose el riesgo de enfermedades crónicas y degenerativas como el cáncer (Omer, 2024).

Otro aspecto importante son las prácticas orientadas hacia el cuidado de la biodiversidad, las cuales guardan una estrecha relación con la actitud de las personas hacia el cambio climático y el grado de consciencia que se tenga en materia de sostenibilidad ambiental (Cabras e Israel, 2024). En este contexto, el papel que juega la educación primaria es fundamental para la consolidación de valores y hábitos, vinculando aspectos socioculturales y ambientales con los cuales los niños y jóvenes interactúan (Shih, 2024). En ese orden de ideas, el objetivo del presente estudio fue desarrollar una revisión sistemática sobre la importancia de la educación ambiental en la formación integral de estudiantes de nivel básico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente revisión sistemática, que fue de naturaleza analítica y reflexiva, se consultó un total de 40 referencias relacionadas con la temática, las cuales han sido publicadas en su mayoría durante los últimos 10 años; dicha búsqueda de información



se realizó mediante plataformas como ResearchGate y Google Scholar. Se establecieron como ejes temáticos principales los siguientes: i) Influencia de la educación ambiental en las actitudes y comportamientos de los estudiantes; ii) Principios pedagógicos sinérgicos con la educación ambiental; iii) La educación ambiental en función del territorio; iv) Programas y estrategias metodológicas aplicadas en la educación ambiental, como parte del currículum.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la educación ambiental en la actitud y comportamiento de los estudiantes

Es fundamental abordar la relevancia que ha tenido la educación ambiental en los últimos años, tanto en el ámbito académico como en el social, al ser vista como una herramienta clave para enfrentar los problemas ambientales actuales. Según Hernández et al. (2014), el desarrollo de programas de educación ambiental en las escuelas secundarias ha tenido un impacto significativo en la implementación de prácticas sostenibles por parte de los estudiantes, como el reciclaje. Dicha influencia positiva demuestra el potencial que tiene la educación ambiental para formar ciudadanos más conscientes y comprometidos con el medio ambiente, desde una edad temprana.

En la historia de la educación ambiental, se han formulado diversas ideas sobre cómo abordar los problemas de sostenibilidad y recursos naturales. Según Sánchez (2019), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), ha explorado estos temas en dos fases: la estructuralista y la neoestructuralista. Ambas han permitido identificar las continuidades y problemáticas recurrentes en diferentes contextos socioeconómicos, lo que ha contribuido a formular marcos teóricos sólidos que respaldan la necesidad de integrar la sostenibilidad en la educación.

Resulta relevante considerar el concepto de educación ambiental, el cual varía según las necesidades y percepciones de cada comunidad, como indican Calderón y Caicedo (2019). La misma no puede ser vista con un enfoque único o universal, ya que se adapta a los desafíos y realidades de cada sociedad. Este carácter flexible es crucial para que los



programas de educación ambiental logren una participación efectiva y significativa en diferentes contextos.

A pesar del avance en la integración de la educación ambiental en los programas escolares, aún existen barreras para su implementación efectiva. Prosser-Bravo et al. (2020), subrayan que, aunque los programas de educación ambiental fomentan la participación de los estudiantes en proyectos de sostenibilidad, los niños y adolescentes no siempre están involucrados en las decisiones relacionadas con políticas ambientales. Esta falta de participación limita el impacto de las intervenciones y crea un vacío en la retroalimentación necesaria para mejorar los programas.

Principios pedagógicos sinérgicos con la educación ambiental

De acuerdo con Lasso y Muñoz (2021), la psicología ambiental ha contribuido significativamente con los estudios sobre infancia en Iberoamérica, abriendo nuevas vías para comprender la relación entre los niños y su ambiente. La educación ambiental se beneficia de este enfoque, ya que permite una mayor comprensión de cómo los niños interactúan con su entorno natural y construido, lo que es esencial para desarrollar estrategias educativas eficaces y eficientes.

En ámbitos rurales, el enfoque en la educación ambiental ha mostrado resultados prometedores. Araújo et al. (2021), destacan que los proyectos de educación ambiental en estos medios fomentan un reconocimiento más profundo del entorno y promueven actitudes responsables hacia la biodiversidad y su conservación. Estos programas también son capaces de generar cambios de comportamiento a largo plazo, lo que subraya la importancia de la educación ambiental como herramienta de transformación social.

Por otro lado, la formación de los docentes juega un papel crucial en la efectividad de la educación ambiental. Casaña y Méndez (2022), señalan que los profesores de biología deben estar preparados para integrar la educación ambiental en su enseñanza, ya que los problemas ambientales actuales exigen profesionales competentes capaces de enfrentar estos desafíos. La didáctica para la educación ambiental debe ser tratada como una línea transversal



en la formación docente, para garantizar una enseñanza efectiva y transformadora; lo cual debe trascender a intereses particulares y pensar más de manera altruista, holística y a futuro.

En el contexto escolar urbano, las perspectivas de los docentes sobre la educación ambiental varían considerablemente. Vera et al. (2022), encontraron que las creencias y prácticas educativas de los profesores están influenciadas por corrientes naturalistas y antropocéntricas; lo que refleja una diversidad de enfoques que en ocasiones podrían no ser compatibles. Aunque estas perspectivas no siempre favorecen el desarrollo integral de la educación ambiental, hay una construcción de sentido que orienta a los docentes hacia la crítica de la sociedad de consumo y la reflexión sobre sus propias prácticas educativas.

Otro aspecto importante es el comportamiento ambiental de los estudiantes, que puede ser moldeado por las estrategias educativas. Pérez y Camacho (2023), destacan que las ciencias del comportamiento han identificado intervenciones que pueden modificar las actitudes y conductas de las personas hacia el medio ambiente. Dichas acciones son esenciales para lograr un desarrollo sostenible a largo plazo, además que, la educación ambiental reafirmaría su papel protagónico en este proceso.

En el nivel primario, la educación ambiental también ha demostrado ser efectiva en la formación de la conciencia ecológica de los estudiantes. Fernández (2023), encontró que esta tiene un impacto positivo en las actitudes y comportamientos ecológicos de los educandos en dicho nivel formativo. Sin embargo, también se destacan desafíos, como la falta de estudios longitudinales que evalúen la efectividad de diferentes métodos de enseñanza.

Cabe resaltar que, la pedagogía de la educación ambiental debe ser sinérgica con otros principios educativos para ser efectiva. Avendaño (2013), plantea un modelo pedagógico basado en la modificabilidad estructural cognitiva, que permite a los estudiantes desarrollar habilidades críticas y reflexivas en relación con el medio ambiente. Este enfoque es necesario para superar las limitaciones de los modelos tradicionales de educación, que a menudo se centran en la memorización y no en la acción.

Por otro lado, en la educación superior también es necesario integrar elementos de educación ambiental en los currículos formales. Castañeda (2017), propone el uso del



campismo, como una estrategia para la educación ambiental al aire libre, promoviendo una conexión más directa entre los estudiantes y el entorno natural. Dicha estrategia tiene el potencial de generar una mayor conciencia ambiental y de fomentar un compromiso activo con la sostenibilidad, mediante un proceso de enseñanza-aprendizaje más vivencial.

La interdisciplinariedad es otro enfoque importante en la educación ambiental. García y López (2017), sugieren que un enfoque constructivista e interdisciplinario permite integrar la educación ambiental en los programas académicos de manera más efectiva, promoviendo la colaboración y la resolución de problemas. Este enfoque es especialmente útil en contextos educativos que buscan formar ciudadanos comprometidos con el medio ambiente.

Finalmente, la investigación en el aula también puede ser una estrategia eficaz para promover la educación ambiental. Gaviria et al. (2018), señalan que el uso de la investigación como estrategia pedagógica en las escuelas permite a los estudiantes participar activamente en la generación de conocimiento sobre el medio ambiente, lo que fortalece su comprensión y compromiso con las cuestiones ambientales.

La educación ambiental en función del territorio

Arroyo et al. (2024), señalaron que, el nivel de formación primaria, además de ser importante para la consolidación de fundamentos educativos, es la etapa ideal para implementar aspectos formativos relacionados con el patrimonio, a fin de reforzar vínculos de identidad en los estudiantes con su territorio, comunidad y que se propicie la participación activa de los mismos en su entorno sociocultural. Además, los autores sugieren desarrollar estudios sistemáticos y generalizados para investigar la eficacia de los proyectos educativos para infantes que incluyan el patrimonio; sumado a la posibilidad de ejecutar investigación en el aula, para que los niños puedan por sí mismos construir su conocimiento.

Por su parte, Briseño-Roa (2024), señaló que, las prácticas escolares territorializadas (definidas como aquellas desarrolladas en la cotidianidad escolar, situadas en el conocimiento local y en el propio territorio), pueden cuestionar la centralidad de los saberes según la disciplina (como consecuencia de la colonización de Europa en América), fortaleciéndose así el vínculo de los estudiantes con el territorio y transformando a la comunidad en su conjunto



como espacio educativo e interactivo; dado que, además de los docentes, también hay miembros de la sociedad que poseen sabiduría y conocimiento ancestral, que forman parte de la herencia cultural que las nuevas generaciones deben preservar.

Según Rivera-Sepúlveda et al. (2024), la relación entre educación y territorio ha dado lugar al surgimiento de nuevas formas de trabajo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante las cuales los saberes, teorías y experiencias confluyen de manera integral, dándole a la escuela una proyección que va más allá del plano material, siendo extensiva e interactiva con la sociedad; dando lugar, además, a la implicación de la misma escuela en relación con el entorno social, político y cultural.

Por su parte, Anzaldúa (2020), resaltó la importancia estratégica del paisaje, como un patrimonio sociocultural y ambiental, en el cual convergen diversos elementos, actores y dinámicas; los cuales, manejados apropiadamente, ayudan a consolidar un sentido de identidad, además de servir como atractivo turístico, con lo cual se fortalece la dimensión económica de una región. Sin embargo, en países como Colombia, algunas zonas ricas en recursos naturales han sido ocupadas por grupos armados paramilitares, lo que puede dificultar el aprovechamiento de los mismos; por lo que, contar con Infraestructuras de Datos Espaciales (ICDE), puede contribuir significativamente con mejorar la gestión ambiental del territorio, en aras del desarrollo sostenible (Sánchez-Chávez, 2021).

Programas y estrategias metodológicas aplicadas en la educación ambiental, como parte del currículum

De acuerdo con Jaramillo y Rico (2023), la educación para la paz propone y promueve el marco teórico y prácticas pedagógicas para asegurar, mediante un sistema educativo democrático, el poder aprender y practicar conocimientos para resolver conflictos de modo pacífico; contemplando además el diálogo intercultural, el ejercicio de derechos tanto individuales como colectivos, así como la libertad de pensamiento y conciencia en un entorno social diverso e igualitario.



Alcántara et al. (2022), remarcan la importancia del currículum en la formación integral del estudiantado, ya que además puede servir como instrumento para garantizar que se adquieran competencias apropiadas en materia ambiental; siendo indispensable, además de la actualización de contenidos, contar con metodologías apropiadas para ello. En sentido, Alcántara et al. (2024), continuaron sus estudios en la materia, encontrando que, se requieren de metodologías educativas transformadoras, orientadas hacia la autocrítica constructiva, autorreflexión, aprendizajes profundos, confrontación de problemas y resolución de conflictos; dando lugar a que todos los actores del proceso de enseñanza-aprendizaje se sumen a construir un mundo mejor, en el marco de la Educación Ambiental para la Sostenibilidad (EAS).

Si bien en Latinoamérica, la integración de la educación ambiental en los planes de estudio de diferentes niveles formativos es una preocupación constante, persisten limitantes debido a la inconsistencia de que solamente algunas asignaturas se preocupan por abordar estas problemáticas (Iribarren et al., 2023). Al respecto, Arriagada (2022), indicó que la incipiente formación ambiental que se brinda en los niveles formativos básicos dificulta que los estudiantes puedan concientizar, formar y modificar actitudes en pro del cuidado del entorno.

Por otra parte, considerando que en el nuevo milenio se han implementado innovaciones respecto al uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs), para el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje de manera apropiada, es menester que los docentes se aproximen al decálogo propuesto por Collantes y Jerkovic (2022); dado que, el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), está en constante evolución. Además, mediante estrategias como el liderazgo participativo, se refuerza el sentido de corresponsabilidad entre los participantes, aunque persisten problemas como la disponibilidad suficiente de tiempo para atender todas las posibles inquietudes (Jerkovic y Collantes, 2024).



Otro aspecto preocupante para lograr mejoras reales en los sistemas educativos formales, que estén comprometidos con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), propuestos por Naciones Unidas (2022), es la persistencia de limitantes para la educación de calidad (ODS No. 4), como lo son las vacas sagradas (docentes ineficientes y sin vocación, que persisten en el sistema por vínculos sociopolíticos) y el mercantilismo educativo (entidades educativas que no respaldan con un equipo de profesionales idóneos lo que ofertan académicamente hablando) (Collantes-González y Santos-Murgas, 2024).

Además de los espacios académicos formales, también existen procesos informales que atañen a la labor de los extensionistas en el sector agropecuario; los cuales, al estar en contacto con una diversidad de actores vinculados con estos medios de vida, tienen un rol protagónico en la divulgación y empoderamiento tecnológico; lo que también puede ser sinérgico con el proceso de enseñanza-aprendizaje (Collantes, 2023). Existen iniciativas, como el Proyecto de Innovación Agropecuaria Sostenible e Incluyente (PIASI), en el cual se prioriza la participación de la mujer y la juventud en las actividades productivas, con lo cual, se potencia el desarrollo integral de sistemas agroecológicos (IDIAP, 2022); traducidos en una mejor calidad de vida y, por ende, mayores oportunidades para el crecimiento y desarrollo de comunidades rurales, en materia de seguridad alimentaria y nutricional, así como en el acceso a una educación de calidad (con un enfoque holístico del ambiente).

CONCLUSIONES

En conclusión, la educación ambiental es una herramienta poderosa para fomentar la conciencia ecológica y el compromiso con la sostenibilidad. No obstante, su efectividad depende de múltiples factores, como la formación docente, la participación activa de los estudiantes y la integración de enfoques inter y transdisciplinarios. Es esencial seguir desarrollando estrategias educativas, que permitan a las nuevas generaciones enfrentar los desafíos ambientales con responsabilidad y creatividad.

AGRADECIMIENTOS

La primera autora desea expresar su más sincero agradecimiento al equipo docente de la Universidad Metropolitana de Educación, Ciencia y Tecnología (UMECIT), por el apoyo y orientación brindados durante los estudios de Doctorado en Educación con énfasis en Investigación, Evaluación y Formulación de Proyectos Educativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, L., Limón, D., & García, F. (2024). Nuevas perspectivas pedagógicas para integrar la dimensión ambiental para la sostenibilidad en el currículum desde un enfoque transformador. *Ar@cne. Revista Electrónica de Recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*, 28(296). <http://doi.org/10.1344/ara2024.296.47296>
- Alcántara, L., Limón-Domínguez, D., García-Pérez, F., & Valderrama-Hernández, R. (2022). Orientaciones pedagógicas para integrar la dimensión ambiental para la sostenibilidad en el currículum. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 4(1), 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2022.v4.i1.1301
- Álvarez, L., & Pérez, M. (2018). La pedagogía experiencial en el contexto de la educación ambiental. *Educación y Sostenibilidad*, 5(1), 45-61.
- Anzaldúa, K. (2020). El aprovechamiento turístico sustentable del paisaje: Parque Nacional El Veladero, Municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Guerrero, México]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22456.26883>
- Arriagada, C. (2022). Las representaciones sociales de la educación ambiental en clases de educación física, de los estudiantes y profesores de establecimientos educacionales de la IX región de la Araucanía, Chile. *Retos*, 44, 485-495. <http://dx.doi.org/10.47197/retos.v44i0.90541>
- Arroyo, E., Martín-Cáceres, M. J., & Cuenca, J. M. (2024). Patrimonio, territorio y ciudadanía en Educación Infantil: concepciones del alumnado. *Panta Rei. Revista digital de Historia y Didáctica de la Historia*, 18, 125-148. <https://doi.org/10.6018/pantarei.604661>
- Briseño-Roa, J. (2024). Escuela y territorio: prácticas territorializadas en la educación básica indígena comunitaria en Oaxaca, México. *Cuadernos De antropología Social*, (60), 199-216. <https://doi.org/10.34096/cas.i60.14133>

- Cabras, J. L. & Israel, G. F. G. (2024). The Relationship between Climate Change Attitude and Biodiversity Conservation Practices: The Mediating Role of Environmental Sustainability Awareness. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(8), 173-181. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i84339>
- Cárdenas, J., & Salgado, L. (2019). Innovaciones pedagógicas para la enseñanza de la educación ambiental en el siglo XXI. *Revista Latinoamericana de Innovación Educativa*, 20(2), 203-222.
- Ceballos, G., & Ehrlich, P. R. (2006). Educación ambiental y su impacto en la conservación de la biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77(2), 253-261. <https://doi.org/10.7550/rmb.77.2290>
- Collantes, R. (2023). El extensionista agropecuario en el nuevo milenio: una revisión. *Llalliq*, 3(1), 83-96. <https://doi.org/10.32911/llalliq.2023.v3.n1.1037>
- Collantes, R., & Jerkovic, M. (2022). Competencias digitales docentes en el nuevo milenio: retos por superar. *Llalliq*, 2(2), 222-235. <https://doi.org/10.32911/llalliq.2022.v2.n2.1170>
- Collantes-González, R., & Santos-Murgas, A. (2024). Vacas sagradas y mercantilismo educativo: Obstáculos para una educación de calidad. *REA: Revista Científica Especializada En Educación Y Ambiente*, 3(2), 44-60. <https://doi.org/10.48204/rea.v3n2.6368>
- Escobar, G., & Moreno, D. (2020). La relación entre los principios pedagógicos del aprendizaje colaborativo y la educación ambiental. *Revista Internacional de Pedagogía Crítica*, 8(2), 33-48.
- García, P. A., & López, C. M. (2017). Enfoques pedagógicos para una enseñanza integral de la educación ambiental. *Revista Iberoamericana de Educación*, 74(1), 88-105.
- González-Gaudiano, E. (2005). La educación ambiental y los retos pedagógicos contemporáneos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 10(25), 23-50.
- Hernández, E., & López, S. (2014). Influencia de la educación ambiental en el reciclaje en las escuelas secundarias. *Cuadernos de Educación Ambiental*, 5(2), 89-105.
- Hernández, M., & Gómez, J. (2012). Estrategias pedagógicas para fomentar el pensamiento crítico en educación ambiental. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 14(1), 56-72.
- IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá). (2022). *Proyecto de Innovación Agropecuaria Sostenible e Incluyente*. https://proyectos.idiap.gob.pa/proyectos/innovacion_productiva_sostenible_sistemas_produccion_agricultura_familiar_panama/es

- Iribarren, L., Guerrero, K., Ithuralde, R., Dumrauf, A., & Cordero, S. (2023). Educación Ambiental y diseños curriculares de la Educación Secundaria Básica de la provincia de Buenos Aires: análisis crítico en el contexto de la nueva legislación nacional. *Praxis Educativa*, 27(3), 1-24. <http://dx.doi.org/10.19137/praxiseducativa-2023-270312>
- Jaramillo, D., & Rico, L. (2023). Cátedra de Paz: una herramienta generadora de educación, cultura y territorio. En: D. L. García Ortiz (ed.), *Educación y construcción de paz en los territorios: experiencias investigativas. "Educación y paz, memoria y territorio"*, Capítulo 4 [pp. 127-150]. *Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano*, 9(64). <https://doi.org/10.15765/poli.v49i64.3732>
- Jerkovic, M., & Collantes, R. (2024). Liderazgo participativo en el proceso de enseñanza-aprendizaje: aspectos a considerar. *Revista Saberes APUDEP*, 7(2), 106-114. <https://doi.org/10.48204/j.saberes.v7n2.a5493>
- Jiménez, R. M., & Muñoz, R. J. (2015). El impacto de los programas de educación ambiental en las escuelas rurales. *Revista Latinoamericana de Educación Ambiental*, 10(3), 45-63. <https://doi.org/10.15359/rlea.10-3.4>
- Márquez, P., & García, A. (2017). Evaluación de programas de educación ambiental en centros educativos. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73(1), 123-145. <https://doi.org/10.35362/rie7311>
- Martínez, A. R., & Jiménez, F. (2016). La pedagogía del diálogo en la educación ambiental: Un enfoque crítico. *Revista de Educación Crítica y Ambiental*, 17(3), 112-127.
- Naciones Unidas. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Omer, A. K. (2024). Environmental Pollution: A Growing Cancer Risk in Developing Countries. *Barw Medical Journal*, 2(3), 2. <https://doi.org/10.58742/bmj.v2i2.97>
- Palapa, N. y Honchar, S. (2022). Environmental risks associated with human agricultural activity. *Agroecological Journal*, (1), 68-80. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255189>
- Rivera-Sepúlveda, A., Quitián-Álvarez, E. A., & Farfán-Martínez, V. (2024). Líneas investigativas sobre educación y territorio. Una revisión de estudios empíricos. *Magis, Revista Internacional De Investigación En Educación*, 17, 1-22. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.m17.liet>
- Rodríguez, M., & Fernández, R. (2021). Impacto de la educación ambiental en la reducción del consumo de plástico en estudiantes de secundaria. *Revista Española de Educación Ambiental*, 11(2), 155-170. <https://doi.org/10.1080/713632470>



- Sánchez, J., & Ortega, F. (2016). La educación ambiental como herramienta para el cambio de comportamientos en los estudiantes de primaria. *Educación y Ciencias Ambientales*, 15(1), 37-54. <https://doi.org/10.18041/eduamb/15711>
- Sánchez-Chávez, A. (2021). *Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales para la Gestión Ambiental del Territorio*. Revista Geodata. <https://revistageodata.icde.gov.co/boletin-7/infraestructura-colombiana-de-datos-espaciales-para-la-gestion-ambiental-del-territorio>
- Sarmiento, J., & Gómez, M. (2018). Transformación de las actitudes hacia el medio ambiente a través de la educación en áreas urbanas. *Educación y Desarrollo Sostenible*, 12(3), 67-83. <https://doi.org/10.18234/eds123098>
- Shih, Y. – H. (2024) Children’s learning for sustainability in social studies education: a case study from Taiwanese elementary school. *Frontiers in Education*, 9, 1353420. <http://dx.doi.org/10.3389/feduc.2024.1353420>
- Silva, R., & Ramírez, V. (2015). Principios de la pedagogía crítica en la enseñanza de la educación ambiental. *Educación y Sociedad*, 18(2), 159-178.
- Torres, F., & Rodríguez, J. (2014). La pedagogía de proyectos como herramienta para la educación ambiental. *Revista de Investigación Educativa*, 32(1), 87-100.
- Torres, G., & Ramos, F. (2013). Educación ambiental y cambio de comportamiento: Un estudio en estudiantes universitarios. *Revista de Educación Ambiental*, 9(1), 123-135.
- Valdés, L. A., & Salinas, P. (2020). La importancia de la educación ambiental en el desarrollo de una conciencia ecológica en los jóvenes. *Revista de Investigación Educativa*, 38(4), 189-204. <https://doi.org/10.6018/rie.38.4.415121>
- Vázquez, A., & Manassero, M. A. (2009). Concepciones pedagógicas y la educación ambiental en los docentes. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 13(2), 12-28. <https://doi.org/10.15359/rea.13-2.1>
- Zamora, I., & Rodríguez, A. (2019). Programas de educación ambiental y su efecto en la conciencia ecológica de los estudiantes universitarios. *Revista Colombiana de Educación*, 76(2), 77-94. <https://doi.org/10.17227/rce.76.17>



Análisis de la subsidencia de la Isla Gardí Sugdub de San Blas: causas, consecuencias y estrategias de mitigación mediante teledetección

Analysis of subsidence on Gardí Sugdub Island in San Blas: causes, consequences, and mitigation strategies through remote sensing

Irving Isaac Isaza Santos

Universidad de Panamá. Panamá

irving.isaza@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4029-0992>

Italo Biancheri Torero

Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

italo.biancheri@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0003-6829-7613>

Arquímedes Carrasco Morales

Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

arquimedes.carrasco@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0000-4899-302X>

Recepción: 29 de septiembre de 2024

Aprobación: 10 de febrero de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7227>

Resumen-

La isla de Gardí Sugdub es una de las numerosas islas que pertenecen a la parte insular del archipiélago de San Blas donde se está enfrentando una amenaza crítica debido al hundimiento y la erosión costera, por lo cual este estudio analiza las causas incluyendo la del cambio climático y la erosión utilizando métodos de teledetección mediante satélite y análisis geostatístico donde se obtienen datos precisos y actualizados para evaluar la magnitud y el ritmo del hundimiento donde los hallazgos sugieren, la necesidad de una acción urgente y coordinada para abordar las causas subyacentes y de desarrollar soluciones sostenibles. Este artículo ofrece una visión comprensiva del fenómeno de subsidencia de la isla Gardí Sugdub, destacando la importancia de integrar el conocimiento científico, las prácticas tradicionales y la tecnología avanzada en la gestión ambiental.



Palabras clave: adaptación, mitigación, cambio climático, erosión costera, teledetección

Abstract-

The island of Gardí Sugdub is one of the numerous islands that belong to the insular part of the San Blas archipelago where it is facing a critical threat due to subsidence and coastal erosion, for which this study analyzes the causes, including climate change. and erosion using satellite remote sensing methods and geostatistical analysis where accurate and up-to-date data is obtained to assess the magnitude and pace of subsidence where the findings suggest the need for urgent and coordinated action to address the underlying causes and develop solutions sustainable. This article offers a comprehensive view of the subsidence phenomenon of Gardí Sugdub Island, highlighting the importance of integrating scientific knowledge, traditional practices and advanced technology in environmental management.

Keywords: adaptation, mitigation, climate change, coastal erosion, remote sensing

INTRODUCCIÓN

La subsidencia se refiere al hundimiento gradual de la corteza terrestre, ya sea continental o submarina que es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie terrestre (Corapcioglu, 1984), ya que (Roberto Tomás, 2010) indica que puede ser causado por diversas razones y generar considerables daños en las infraestructuras asentadas sobre ella.

Aunque la subsidencia es un riesgo natural generalmente caracterizado por lentos movimientos de tierra, rara vez se convierte en un peligro para la vida humana. Sin embargo, puede afectar diversas áreas durante largos periodos, causando deformaciones que varían desde unos pocos milímetros hasta varios metros. Si afecta áreas metropolitanas, puede ocasionar importantes daños estructurales e infraestructurales con altos costos consecuentes

El archipiélago de San Blas, situado en la costa caribeña de Panamá, es un conjunto de más de 365 islas e islotes que no solo destacan por su belleza natural, sino también por su significancia cultural para el pueblo indígena Guna. Estas islas, conocidas por sus aguas cristalinas y su rica biodiversidad, están experimentando un fenómeno preocupante: el hundimiento y la erosión costera. Las razones detrás de este problema son diversas y complejas, involucrando tanto factores naturales como antropogénicos.

El cambio climático, manifestado a través del aumento del nivel del mar y el incremento en la frecuencia y severidad de eventos climáticos extremos, es una de las principales causas del hundimiento de las islas. Además, la erosión natural de las costas se ve acelerada por actividades humanas, como la construcción, la deforestación y el turismo no regulado, que alteran los procesos ecológicos y geomorfológicos de la región.

Este aumento del nivel del mar representa una seria amenaza para el hábitat de la población Guna, con el riesgo de que desaparezca a finales de este siglo. Según el escenario de emisiones moderadas del IPCC RCP4.5, se proyecta una elevación del nivel del mar de 55 cm hacia el año 2090, con una probabilidad del 50% de superarse, y de 75 cm si se quiere reducir esta probabilidad al 10%. Es necesario realizar estudios específicos de dinámica costera y de impacto para buscar alternativas razonables y consensuadas con la población Guna. (Ros García et al., 2020)

Este artículo pretende abordar las causas y consecuencias del hundimiento de la isla de Gardí Sugdub utilizando métodos de teledetección avanzados, utilizando imágenes satelitales georreferenciadas y geoestadística, ya que estas tecnologías permiten obtener datos precisos sobre la dinámica costera y el cambio en la topografía de las islas. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica y el análisis de datos empíricos en el presente estudio.

Analizar las causas, consecuencias y posibles soluciones al fenómeno del hundimiento, de la isla Gardí Sugdub de San Blas con el fin de proporcionar una visión comprensiva, utilizando métodos avanzados de teledetección como imágenes satelitales georreferenciadas y geoestadística.

MATERIALES Y MÉTODOS

Georreferenciación de la Isla Gardí Sugdub:

Se va a utilizar las imágenes de Google Earth para determinar y georreferenciar el área total de la isla Gardí Sugdub, ubicada en las coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM):

Tabla 1.

Puntos UTM de georreferenciación de la Isla Gardí Sugdub con el Datum EPSG:4326 - WGS 84.

Punto	Este	Norte
1	724014.00	1047457.00
2	723720.00	1047429.00
3	723697.00	1047622.00
4	723883.00	1047620.00

Figura 1.

Ubicación del área de estudio de la Isla Gardí Sugdub.



Georreferenciación del Área Habitada y No Inundada:

Delimitar las áreas habitadas y no inundadas en la isla utilizando imágenes satelitales, asegurando la georreferenciación precisa y la creación de polígonos correspondientes en Google Earth.

Figura 2.

Imagen de Zonas Inundadas y No Inundadas: Donde el área dentro del contorno azul es el área habitada y al exterior es la inundada respectivamente

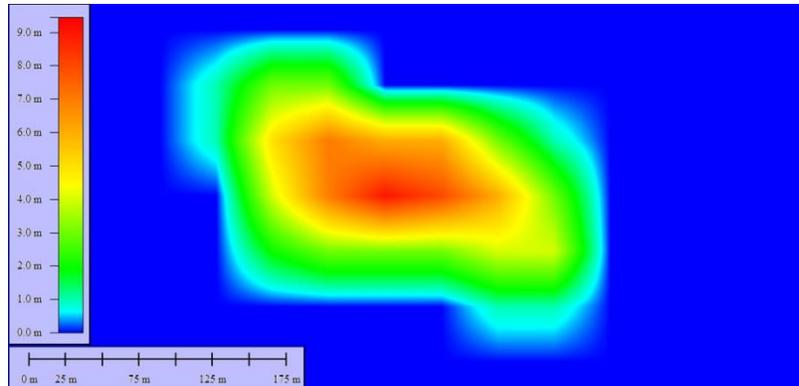


Generar un Ráster de Elevación Mediante Interpolación IDW:

Utilizar curvas de nivel de elevación para crear un raster de elevación de la isla mediante el método de Interpolación por Ponderación Inversa de Distancia (IDW), ajustado al sistema Datum EPSG:4326 - WGS 84.

Figura 3.

Imagen del ráster de elevación generada mediante interpolación IDW de la Isla Gardí Sugdub año 2024.

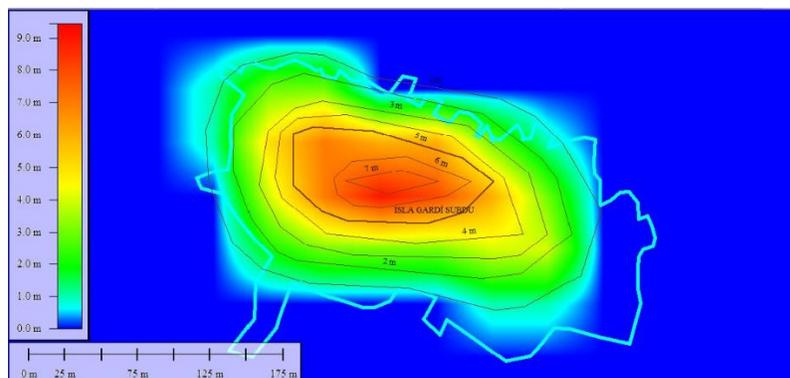


Clasificar las Áreas Inundadas y No Inundadas:

Identificar y clasificar las áreas inundadas y no inundadas en la isla Gardí Sugdub utilizando el raster de elevación generado, estableciendo un umbral para el nivel del mar (alrededor de 1 a 0 metros de elevación).

Figura 4.

Imagen del ráster de elevación generada mediante interpolación IDW junto con las curvas de nivel de la isla Gardí Sugdub.



Delimitar el área total de la Isla Gardí Sugdub:

Se utilizó imágenes satelitales de Google Earth por los años 2011, 2013 y 2019 para hacer una comparativa del área observada en la isla y se muestra en la siguiente tabla:

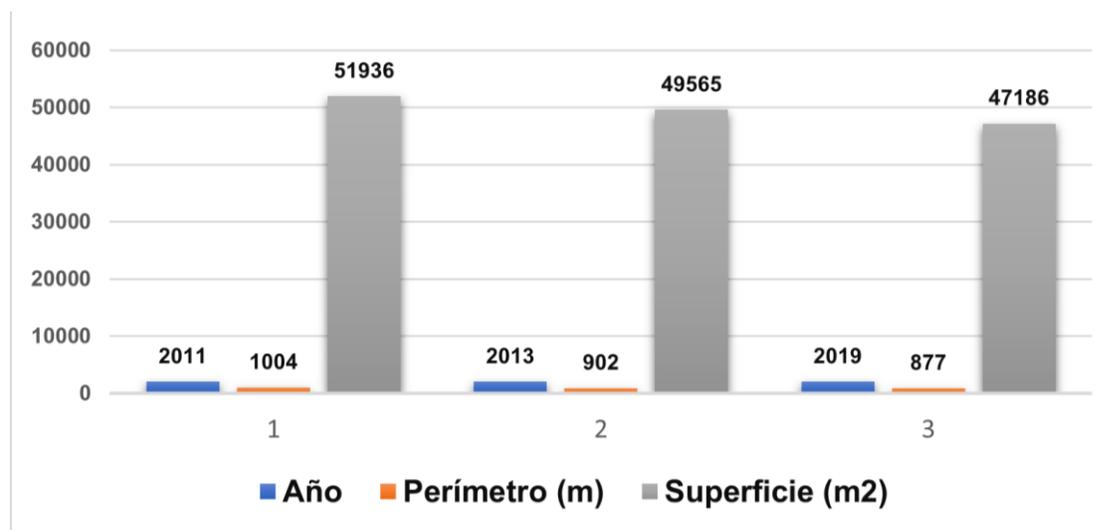
Tabla 2.

Tabla comparativa del perímetro y superficie de la Isla Gardí Sugdub en los años 2011, 2013 y 2019.

Año	Perímetro (m)	Superficie (m ²)
2011	1004	51936
2013	902	49565
2019	877	47186

Figura 5.

Comparación – Datos de superficie año 2011-2019



Datos Utilizados:

Curvas de Nivel de Elevación: Datos topográficos de la isla obtenidos de fuentes geoespaciales.

Imágenes Satelitales: Imágenes de Google Earth para la visualización y georreferenciación de la isla.

Sistema de Referencia

Sistema de Referencia: Datum EPSG:4326 - WGS 84 y Universal Transverse Mercator (UTM), utilizado para asegurar la consistencia espacial en la georreferenciación y análisis de datos.

Georreferenciación:

Área Total de la Isla: Utilizar imágenes satelitales de Google Earth para georreferenciar el área total de la isla Gardí Sugdub, creando un polígono en el sistema EPSG:4326 - WGS 84.

Figura 6.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2011

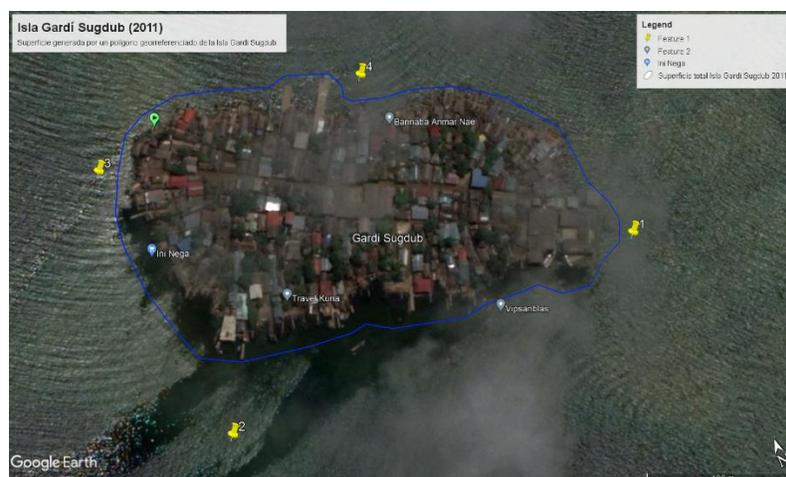


Figura 7.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2013

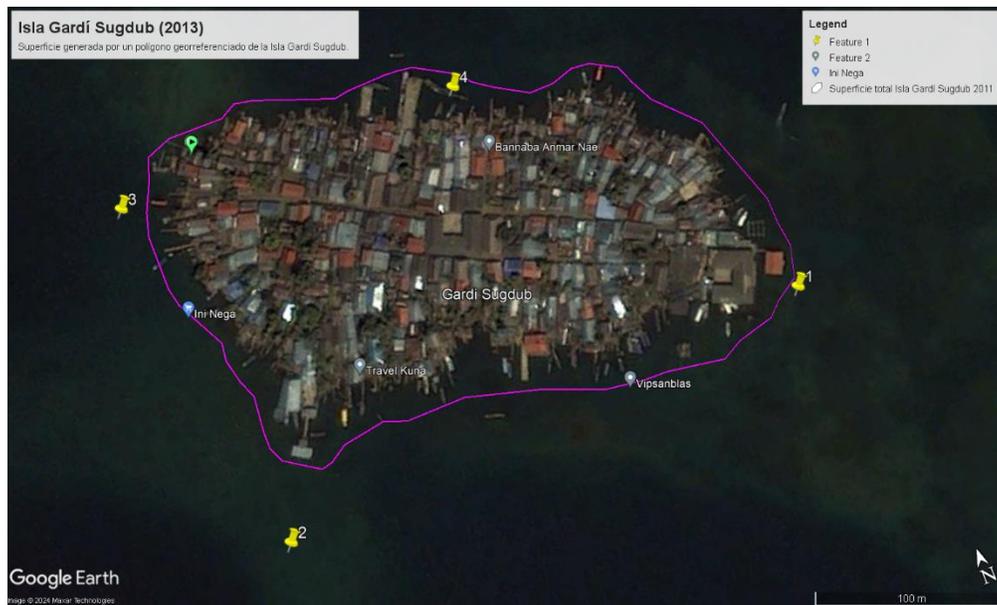


Figura 8.

Imagen de la Isla Gardí Sugdub con polígono representativo del año 2019



Identificación de Áreas Inundadas:

Definición del Umbral de Inundación: Establecer un umbral para el nivel del mar (0 metros de elevación) para clasificar las áreas como inundadas o no inundadas.

Clasificación del Raster: Reclasificar el raster de elevación para identificar las áreas por debajo o a nivel del mar y, por lo tanto, inundadas.

Análisis de Datos

Cálculo de Áreas:

Área Total de la Isla: Determinar el área total de la isla como 62 674,67 m², utilizando imágenes satelitales de Google Earth y georreferenciación.

Área Habitante y No Inundada: Determinar el área habitada y no inundada como 37 704,61 m², correspondiente a áreas al menos 1 m sobre el nivel del mar.

Área Inundada: Calcular el área inundada como la diferencia entre el área total de la isla y el área habitada y no inundada.

Área Total de la Isla: 62 674,67 m².

Área Habitante y No Inundada: 37.704,61 m², correspondiente a áreas al menos 1 m sobre el nivel del mar.

$$\textit{Area Inundada} = \textit{Area total} - \textit{Area no Inundada}$$

$$\textit{Area Inundada} = 62\,674,67\,m^2 - 37\,704,61\,m^2$$

$$\textit{Area Inundada} = 24\,970,06\,m^2$$

Software Utilizado: QGIS - ArcGIS para la interpolación IDW y análisis espacial, trabajando en el sistema de referencia EPSG:4326 - WGS 84.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

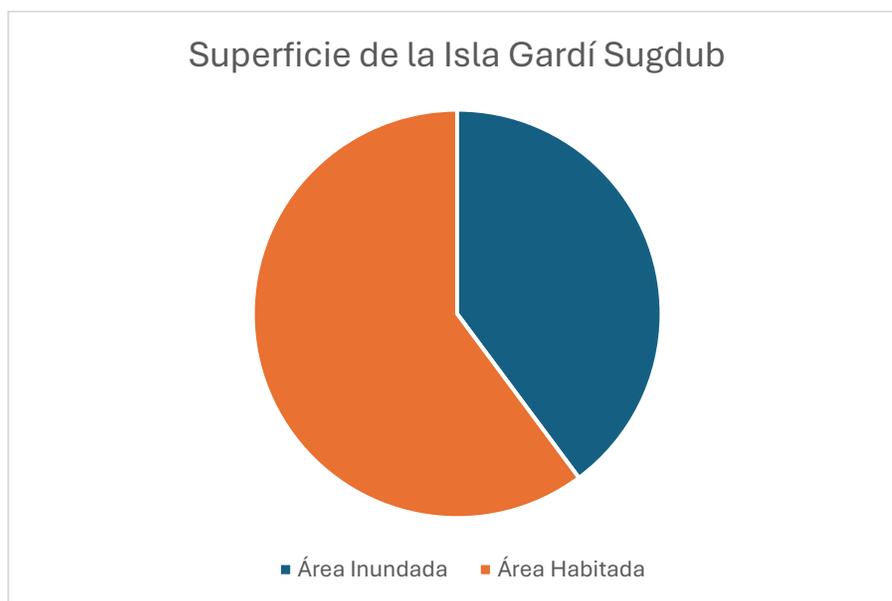
Figura 9.

Muestra la isla Gardí Sugdub georreferenciada utilizando imágenes satelitales de Google Earth con las curvas de nivel generadas en la Isla.



Figura 10.

Distribución de la superficie habitada



Nota. El color naranja para el área habitada de la isla Gardí Subdub.y el color azul para el área inundada de la isla Gardí Sugdub.

Interpretación de Resultados

- **Distribución de Áreas:**
 - El análisis espacial muestra que aproximadamente el 39.8% del área total de la isla Gardí Sugdub está actualmente inundada, mientras que el 60.2% se encuentra por encima del nivel del mar y no está inundada. Este resultado es significativo ya que indica una porción considerable de la isla que está afectada por inundaciones.
- **Impacto en la Comunidad:**
 - La identificación de áreas inundadas revela un riesgo importante para la infraestructura y los habitantes de la isla. Las zonas inundadas podrían estar afectando viviendas, vías de comunicación, y servicios esenciales, lo que sugiere la necesidad de intervenciones para mitigar estos riesgos.

- **Uso del Terreno:**
 - La clasificación de las áreas inundadas y no inundadas puede servir para planificar el uso del terreno en la isla. Por ejemplo, las zonas que están por encima del nivel del mar pueden ser priorizadas para desarrollo residencial o infraestructura crítica, mientras que las áreas propensas a inundaciones pueden ser destinadas para usos menos vulnerables o ser objeto de proyectos de mitigación de inundaciones.
- **Validación del Método:**
 - La utilización de IDW y curvas de nivel de elevación para generar el raster de elevación ha demostrado ser una técnica eficaz para evaluar las condiciones de inundación en la isla. La combinación de datos de teledetección y análisis en Global Mapper ha permitido obtener una representación precisa y detallada del terreno y su vulnerabilidad a las inundaciones.
- **Posibles Cambios Futuro:**
 - Considerando los cambios climáticos y el aumento del nivel del mar, es probable que las áreas actualmente no inundadas puedan estar en riesgo en el futuro. Este estudio puede servir como línea base para monitorear y proyectar cambios en la vulnerabilidad de la isla a largo plazo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten una mejor comprensión de la distribución de áreas inundadas en la isla Gardí Sugdub. La metodología empleada, utilizando IDW y datos geoespaciales, ha demostrado ser efectiva para la evaluación precisa del terreno en términos de inundación.

La información sobre las áreas inundadas puede ser útil para la planificación y gestión del riesgo de inundaciones en la isla. Puede servir como base para el desarrollo de estrategias de mitigación y para la toma de decisiones en relación con el uso del suelo y la infraestructura.

Se sugiere la integración de datos adicionales y más detallados, como modelos de elevación más precisos o datos de eventos de inundación pasados, para mejorar la precisión del análisis. Además, explorar otros métodos de interpolación y técnicas de análisis espacial podría proporcionar perspectivas adicionales sobre la dinámica de inundación en la isla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agard, J., L. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M. Prather, M. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K. Smith, A. St. Clair, (2014), “Glossary”, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on ClimateChange.
- Albarracín González, S., Alcántara Carrió, J., & Fontán Bouzas, Á. (2012). Riesgo de hundimiento en la Laguna de Santos Morcillo (Lagunas de ruidera). *Avances de la geomorfología en España, 2010-2012: actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander, 17-20 septiembre de 2012, 2012, ISBN 978-84-86116-54-5, págs. 190-193, 190-193.*
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8205749>.
- Carvajal, A. (2008). Fenomeno de la subsidencia en minería subterránea. Serena; Chile: Universidad de la serena.
- Céspedes Plasencia, J. J., & Soto Oblea, C. R. (2023). Análisis de imágenes de satélite por teledetección para determinación de erosión y sedimentación de manera natural y antropogénica de la bahía del Callao. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/671684>.
- Corapcioglu. (1984). Land subsidence a state-of-the-art review. NATO ASI Series E.82, Martinus Nijhoff Publishers.



- García Mirquez, N. J. & Silva Guevara, E. E. (2015). Estado Del Arte Fenómeno De La Subsistencia En Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/4907>.
- Penejaute Alemán, I. (2009). Propuesta de seguimiento, mediante técnicas de teledetección, de la dinámica de los sedimentos en el litoral meridional de la isla de Gran Canaria. *Vector plus: miscelánea científico - cultural*, 34, 49-56.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3384923>.
- Prokopovich. (1979). genetic clasification on land subsidence. Florida; New York: pensacola Beach.
- Roberto Tomás, G. H. (2010). Subsistencia De La Tierra. En Enseñanza De Las Ciencias De La Tierra, Vol 17 (págs. 295-302). Mexico.
- Ros García, J. M., Irastorza Ruigómez, L., & González, R. (2020). Previsiones del impacto sobre el cambio climático. Archipiélago de San Blas (Panamá). *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*, 205, 575-590.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7615999>
- Tessitore, S. (2014). Application od DInSAR techniques to the monitoring of ground deformations. Barcelona: UNIVERSITAT POLIÈCNICA DE CATALUNYA.



Desarrollo de estrategias sostenibles para la reducción de cadmio en masa fermentativa de híbridos experimentales de cacao mediante inoculación de *rhizobium japonicum*

Development of sustainable strategies for reducing cadmium in fermentative mass of experimental cocoa hybrids through inoculation of *rhizobium japonicum*

Luis Humberto Vásquez Cortez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador
lvazquezc@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0003-1850-0217>

Martha Viviana Uvidia Velez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador
muvidia@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0002-6715-9951>

Alvaro Martín Pazmiño Pérez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador
apazmino@utb.edu.ec <https://orcid.org/0000-0002-9869-253X>

José Ricardo Rojas Sánchez

Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ecuador
rojassanchez@utb.edu.ec <https://orcid.org/0009-0007-6188-227X>

Recepción: 29 de septiembre de 2024

Aprobación: 10 de febrero de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7227>

Resumen

La materia prima más importante a nivel internacional en países europeos es el cacao, crucial para pequeños y medianos agricultores. Esta investigación analizó la incidencia del *Rhizobium japonicum* en la fermentación de cacao Nacional e Híbrido, aplicando concentraciones del 0% (testigo), 3% (60 ml) y 5% (100 ml). Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con 6 tratamientos y 4 repeticiones, usando análisis de varianza (ANDEVA). Los resultados mostraron que el porcentaje de testa fue 15,15% en T3 (Híbrido, 3%) y 15,50% en T6 (Nacional, 5%); el índice de semilla fue 1,40% en T3 y 1,46% en T6. La fermentación fue 77,75% en T5 (Nacional, 3%), 68,50% en T6, y 66,00% en T3. El cadmio disminuyó de 0,45 a 0,29 mg/kg en híbridos y de 0,45 a 0,30 mg/kg en Nacional. En conclusión, mayor inoculación de *Rhizobium japonicum* mejora la calidad fermentativa.

Palabras-clave: análisis, cacao, sensorial, tratamiento



Abstract

Cocoa is the most important raw material internationally in European countries, playing a crucial role for small and medium-scale farmers. This study analyzed the impact of *Rhizobium japonicum* on the fermentation of Nacional and Hybrid cocoa varieties, applying concentrations of 0% (control), 3% (60 mL), and 5% (100 mL). A completely randomized design (CRD) with 6 treatments and 4 replications was used, and analysis of variance (ANOVA) was conducted. Results showed that the testa percentage reached 15.15% in T3 (Hybrid, 3%) and 15.50% in T6 (Nacional, 5%), while the seed index was 1.40% in T3 and 1.46% in T6. Fermentation levels reached 77.75% in T5 (Nacional, 3%), 68.50% in T6, and 66.00% in T3. Cadmium content decreased from 0.45 to 0.29 mg/kg in hybrids and from 0.45 to 0.30 mg/kg in Nacional beans. In conclusion, higher inoculation rates of *Rhizobium japonicum* enhanced fermentation quality.

Keywords: analysis, Cocoa, Sensory, Treatment

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo general "Evaluar la efectividad de la inoculación de *Rhizobium japonicum* en la reducción de cadmio durante la fermentación de híbridos de cacao., con el fin de desarrollar estrategias sostenibles que mejoren la calidad del cacao y su aceptación en el mercado internacional. Para lograr esto, se diseñaron tratamientos específicos que incorporan *Rhizobium japonicum* en diferentes concentraciones, permitiendo comparar efectos en la disminución de cadmio y en las propiedades físicas del cacao (Vera et al., 2023). Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y un testigo, replicado cuatro veces, aplicando análisis de varianza ANOVA y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para determinar diferencias significativas.

La contaminación por cadmio en el cacao es un problema significativo que afecta tanto la salud de los consumidores como la viabilidad comercial de los productos de cacao en mercados internacionales (Intriago et al., 2023). El cadmio, un metal pesado, se acumula en los granos de cacao a través de la absorción del suelo, especialmente en regiones con suelos volcánicos ricos en metales pesados (Vásquez et al., 2023). La Unión Europea ha establecido límites máximos de cadmio en productos de cacao, lo que ha llevado a la búsqueda de



métodos eficaces para mitigar la contaminación, ya que es perjudicial para la salud humana provocando enfermedades a largo plazo (Vera & Salazar, 2021).

La exposición al cadmio puede causar diversas enfermedades graves, incluyendo daño renal e insuficiencia renal, osteoporosis y osteomalacia debido a la desmineralización ósea, y enfermedades pulmonares como enfisema y bronquitis obstructiva crónica. Además, el cadmio es un carcinógeno humano, aumentando el riesgo de cáncer de pulmón, próstata y riñón. También puede contribuir a enfermedades cardiovasculares, provocar trastornos gastrointestinales y dañar el sistema inmunológico, debilitando la respuesta inmunitaria del cuerpo. Por tanto, es crucial minimizar la exposición al cadmio para prevenir estos problemas de salud (Vera, Vásquez, Valverde, et al., 2024).

El cadmio en el cacao proviene principalmente de suelos contaminados y puede acumularse en los granos durante el cultivo. Esta acumulación es preocupante debido a los efectos tóxicos del cadmio en la salud humana, incluyendo daños renales y óseos. Además, el cumplimiento de las regulaciones internacionales sobre cadmio es crucial para la exportación de cacao, especialmente a la Unión Europea, que tiene regulaciones estrictas sobre los niveles permitidos de cadmio en productos de cacao (Valarezo et al., 2022).

Investigaciones realizadas en la Universidad Técnica de Quevedo mencionan que la utilización de *Rhizobium Japonicum* en la masa fresca de cacao mejora las cualidades organolépticas de las barras de chocolate potenciando su sabor y aromas y además minimizando las cantidades de metales pesados, siendo favorable la aplicación de la metodología para los agricultores, lo cual puede ser aplicable para varios tipos de cacao teniendo el mismo efecto significativo (Vera et al., 2023).

La mitigación del cadmio en el cacao incluye la selección de variedades de cacao con menor capacidad de absorción de cadmio, prácticas agronómicas como la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura, la aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas y el ajuste del pH del suelo para reducir la solubilidad del cadmio. Además, se utilizan métodos biológicos como la inoculación de suelos y plantas con microorganismos que reducen la disponibilidad de cadmio, así como la fitorremediación con plantas hiperacumuladoras. Procesos post-cosecha como la fermentación controlada y el lavado de granos también

ayudan a disminuir los niveles de cadmio. Finalmente, la gestión integrada combina diversas técnicas adaptadas a las condiciones específicas del suelo y el clima para manejar efectivamente la contaminación por cadmio.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la finca experimental "La Represa", situada en el Recinto Faita, en San Carlos, kilómetro 7.5, en la Provincia de Los Ríos. Esta finca forma parte de las instalaciones universitarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

En la presente investigación se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo bifactorial 6 tratamientos por 4 repeticiones, un total de 24 objetos de estudio se empleó la prueba de rangos múltiples de Tukey al ($p < 0.05$) para la comparación de medias.

En la tabla 1 se detallan el diseño experimental el cual se presenta la tabla de ANDEVA.

Tabla 1.

Tabla de ANDEVA

Fuente de Variación (FV)		Grados de Libertad (GL)
Tratamientos	(T-1)	5
Error Experimental	(h) (r-1)	18
Total	H x r-1	23

Obtención de la materia prima de las mazorcas de cacao

Al momento de realizar la cosecha o la recepción de la materia prima de las mazorcas de cacao se tomó en cuenta que los frutos estén libres de Monilla (*Moniliophthora roreri*) lo cual puede perjudicar al proceso de fermentación y producto final de la elaboración de chocolate.

Para la presente investigación se cosecho las mazorcas de la variedad de cacao Nacional sin confundir los granos de cacao.

Extracción de los granos de cacao



Una vez que se obtuvieron las mazorcas necesarias, se procedió a realizar el proceso de despulpado, que implica separar el grano de cacao de la parte carnosa “Placenta” que lo rodea el fruto.

Posteriormente se realizó un corte longitudinal o transversal para la extracción de las almendras de cacao.

A la vez despulpadas las almendras de cacao se separaron en tachos limpios. Las cuales se colocaron en las celdas de las micro fermentadoras que cada celda puede abastecer hasta 2 kg de masa fresca de cacao.

Proceso Fermentativo

Posteriormente los granos de cacao, se procedió a colocar en cajas micro fermentadoras fabricadas con guayacán blanco, que posee una capacidad de 30 espacios con dimensiones de 125*75*10 centímetros, mismos que se ocuparon solo 24 celdas de la caja micro fermentadora lo cual se requirió 2 kilogramos de almendra de cacao, teniendo un total de 48 kg de masa almendras frescas de cacao, lo cual solo consto de 4 días de estudio para ambas variedades de cacao, se procedió a la toma de las variables: Temperatura, pH, °Brix (Vera, Vásquez, Alvarado, et al., 2024).

Inducción de *Rhizobium japonicum*

Se indujo *Rhizobium japonicum*, a la masa fresca dependiendo del croquis experimental con las dosis requeridas para cada tratamiento y repeticiones fueron 0% (testigo), 3% (60 ml) y 5% (100 ml) su aplicación permite acelerar el drenaje del mucilago y a su vez determinar su efecto en la disminución de cadmio presente en la masa fermentativa fresca de cacao y así mejorar la calidad, productividad previo a su industrialización y exportación, determinando si el concentrado de microorganismo podrá penetrar la pared de la almendra en este caso las testa.

Dosis de aplicación

Se utilizó por cada dos kilos de masa fermentativa o 0. 60 y 100 mL de producto líquido, respectivamente) como segundo factor variedades de cacao (Nacional y Trinitario) de *Rhizobium japonicum* de los cuales de distribuyo aplicaciones al 0%, 3%, 5% para el 3% se aplicó 60 ml, para el 5% se empleó 100 ml, teniendo en cuenta que la investigación se conformó por 6 tratamientos y 3

repeticiones cada una con dosis dosificadas según el porcentaje de aplicación en base al croquis de campo. en cada celda puede ingresar 2000 gramos de masa fresca de cacao (106).

Remociones

Se procedió a realizar remociones adecuadas con el objetivo que haya una fermentación optima, estas remociones es de vital importancia para que exista fermentación homogénea, cuya temperatura no debe exceder mayor a 50°C ni menor a 40°C debe subir la temperatura de manera paulatina por motivo que puede existir una sobre fermentación, la primera remoción se lo realizó después de las primeras 24 horas después de la aplicación del la inducción del microorganismo, posterior a este día se realizó dos veces por día las remociones por los días restantes de estudio.

Secado de las almendras de cacao.

Ya culminado el proceso de fermentación esta etapa importante para la calidad del grano donde existe el desarrollo de precursores de aroma y sabores y calidades sensoriales, se realizó el secado de las almendras de cacao directa del sol de tal modo de forma cuidadosa sin que exista una mezcla de los granos de cacao ya que están sometidos a varias adiciones y tipos de fincas (Bertorelli et al., 2004).

El secado del cacao se efectuó en superficies de madera la cual fue adecuado para esta práctica; no debe colocarse sobre cualquier superficie debido a la contaminación de agentes externos, las almendras de cacao deben tener remociones adecuadas y constante para que exista un secado homogéneo que normalmente oscila en un periodo de días de 7-8 días al sol, con la finalidad que tengan un porcentaje adecuado de humedad siendo estos de 6 a 8% (Vallejo et al., 2018).

Almacenamiento de las almendras de cacao.

Para el secado se procedió a guardar las almendras de cacao en bolsas de papel con una humedad de 7 % (Ortíz & Guilcapi, 2020)(Saza & Jiménez, 2020).

Índice de mazorca.

Esta variable indica el número de frutos de cacao requeridos (20 mazorcas) que se necesita para obtener 1 Kg de cacao seco según la ecuación: (Vera et al., 2015) (Sánchez Mora et al., 2014).

Ecuación 1. Ecuación. Índice de semilla.

$$IM = \frac{\text{Numero de mazorcas}}{\text{peso en gramos de las almendras secas}} * 1000$$

Índice de semilla.

Se realizó la toma de la variable de índice de semilla, para lo cual se tomó 100 almendras de cacao estas deben estar fermentadas y secas (Quintana et al., 2015).

Ecuación 2. Ecuación. Índice de semilla.

$$IS = \frac{\text{Peso en gramos de 100 almendras de cacao fermentadas y secas}}{100}$$

Prueba de testa y cotiledón.

Se obtuvo por medio del peso de las almendras de cacao las cuales se pesaron en una balanza analítica de precisión con una cantidad de cacao que es considerable de 30 g de cacao (Vallejo et al., 201 C.E.) (Batallas et al., 2021).

Ecuación 3. Prueba de testa y cotiledón.

$$\% \text{ de testa} = \frac{(\text{Peso de la testa})}{\text{Peso de 30 gramos de cacao}} * 100$$

Prueba de corte.

Este valor se obtuvo al seleccionar al azar 100 almendras de cacao, se pesaron en una balanza analítica de precisión, con ayuda de un estilete se realizó un corte transversal en los granos secos, la evaluación

se realizó por medio de un test observatorio, se utilizó la normativa y lineamientos de clasificación de las normativa INEN 176/2018 (INEN, 2018) (Vallejo et al., 201 C.E.) (Batista, 2018).

Peso de granos de cacao en 100 gramos.

En este apartado se realizó aleatoriamente tomadas al azar 100 g que posteriormente se tomó el número de almendras para completar los 100 g (Vallejo et al., 2016).

Humedad.

Al momento de tener las almendras secas y fermentadas se procedió a medir esta variable de humedad que es de punto clave para el almacenamiento debe ser un máximo de 7% de humedad y un mínimo de 6% por motivo comercial no rentable para la industria cacaotera al ser inferior a estos porcentajes mencionados afectando su precio y sus características para procesar y tener un chocolate de baja calidad, el instrumento que se utilizó para medir la humedad interna del grano fue el AQUA BOY III, por ser adecuado específicamente para granos y de prioridad de cacao, se coloca la muestra de los granos de cacao en el sensor y se procede a dar lectura según el manual del equipo y su modelo (INEN, 1986).

Muestreo método cuartil.

Dicho método se realizó para clasificar al azar almendras de cacao dividiéndolas en 4 cuadrantes homogéneos ejemplo (1,2,3,4), se procedió a descartar extremos aleatorio al azar hasta alcanzar una muestra pequeña reducida repitiendo al menos dos veces el mismo proceso hasta tener aproximadamente 100 g de almendras secas fermentadas de cacao, este método fue utilizado de la normativa INEN 175 previo a la prueba de corte (INEN, 1986), de igual manera se utilizó para el análisis de cadmio ver la imagen en Anexos (Contreras & Pérez, 2017).

Determinación de Cadmio

Menciona Vera & Salazar, (2021) que el método de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GF-AAS) permite una amplia lectura de detección ($\mu\text{g l}^{-1}$) de 0,002-0,02 la cual este método de determinación de cadmio es reconocido por el Codex Alimentarius y EFSA concuerda con Intriago et al., (2023) que este método es confiable.

Este análisis de cadmio, por lo tanto para medir los niveles de Cd^{+2} se pesó 1 gramo de muestra, posterior se realizará la trituration de los granos de cacao secos además deben estar fermentados para la determinación de cadmio al chocolate lo cual se realizó por digestión húmeda se va utilizar ácido nítrico por medio de un microondas debe alcanzar una

temperatura de 150 °C se filtran el material de muestreo y para la determinación se utilizó la norma USDAP método 3050B en un equipo de Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (Benavides, et al., 2023).

Pasos previos para la obtención de la pasta de cacao con pureza del 100%

- Primero: Se procedió a clasificar la materia prima (cacao) eliminando cualquier cuerpo extraño ajeno a las almendras de cacao.
- Segundo: Continuamente se tostaron las almendras en una vasija de barro a una temperatura media 120°C para evitar que se quemen, por un tiempo de 18 a 25min ayudando a desprender cualquier agente, humedad que contengan las almendras.
- Tercero: Posteriormente se realizó el descascarillado manual separando la testa del cotiledón, se almacenaron en fundas de papel.
- Cuarto: Para este paso se procedió a la molienda con la ayuda de un molino manual tradicional, con el objetivo de reducir el grosor del cotiledón a un tamaño que facilite el proceso del refinado.
- Quinto: Seguidamente el refinado va mejorar la calidad final para que no exista gránulos y este no tenga inconvenientes a la hora de consumir o que afecta o sea hallado por las papilas gustativas es recomendable que sea menor de 40 micras los gránulos.
- Sexto: En este paso con ayuda de una conchadora de capacidad de 5kg se introdujo la muestra de cacao poco a poco con el fin de que la conchadora valla atrapando toda la materia prima que queda en la pared de la conchadora a su vez que se valla diluyendo este proceso se mantuvo durante 6 horas por cada tratamiento.
- Séptimo: A continuación, se esperó que la pasta de cacao se atempere es decir reduzca la temperatura para pasar a los moldes donde reposaran hasta tener consistencia.
- Octavo: Se procedió a envolver la pasta de cacao en papel aluminio para su almacenamiento en refrigeración a temperatura de 4°C, las envolturas se guardaron en funda con su respectiva codificación además de evitar alguna contaminación cruzada (Vásquez et al., 2022b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de corte “Calidad de Fermentación”

La Tabla 2 muestra que diferentes proporciones de *Rhizobium japonicum* afectan significativamente la fermentación del cacao ($p \leq 0.05$). El tratamiento T5 tuvo 77.75% de fermentación total. Las almendras violetas fueron más en T4 (44.75%) y menos en T5 (21.75%). No hubo diferencias significativas en las almendras pizarras. *Rhizobium japonicum* mejora la fermentación y reduce defectos.

Vera et al., (2023), indica que la aplicación de agentes microbiológicos en los granos de cacao tiene un efecto significativo mejorando la calidad fermentativa de los granos de cacao, menorando la presencia de granos violetas y pizarras, siendo factible la aplicación de esta metodología.

Tabla 2.

Análisis de Prueba de corte de las almendras fermentados. La Represa. UTEQ 2023.

	Variedad	T.Fermentados	Violeta	Pizarro	Catalogación de cacao
Híbridos	1	65.75abc	33.00abc	1.25a	C.S.C
	2	62.75bc	35.00 bc	2.25a	C.S.C
	3	66.00abc	33.50abc	0.50a	C.S.C
	4	54,75c	44,75c	0.50a	A.S.E
Nacional	5	77.75a	21.75a	0.50a	A.S.S.S
	6	68.50ab	30.59ab	1.00a	A.S.S
Promedio		65.92	33.10	1.00	
CV		8.67	17.44	83.33	

Prueba de Testa, prueba de Índice de semilla

En la tabla 3, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de testa, con T1 en 15.65% y T4 y T6 en 15.50%. Sin embargo, hubo diferencias significativas en el índice de semilla: T6 fue el más alto (1.46 g) y T1 el más bajo (1.32 g), mejorando la calidad física del cacao, superando los rangos reportados por Intriago et al., (2023) destacando la importancia del IS en el mejoramiento de la calidad física del cacao según INEN 176.


Tabla 3.

Análisis de Prueba de testa, índice de semilla almendras fermentados. La Represa. UTEQ 2023.

	Variedad	T.	%Testa	IS
Híbridos		1	15.65a	1.32 a
		2	13.33a	1.41 ab
		3	15.15a	1.40 ab
		4	15.50a	1.43 ab
Testigos (Nacional)		5	14.83a	1.39 ab
		6	15.50a	1.46 b
Promedio			14.99	1.40
CV (%)			10.61	4.12

Cadmio

Según los resultados experimentales descriptivos de la concentración de cadmio, se evidencia una interacción entre el factor de cacao (Híbridos y Nacional) y las dosificaciones de *Rhizobium Japonicum*, lo cual tiene un efecto beneficioso a mayor inducción de este agente biológico sobre los productos fermentados del cacao. Esto es favorable para la industria, ya que se observa una reducción en la concentración de este elemento químico contaminante, como se puede observar en la Tabla 4.

Según los resultados experimentales descriptivos de la concentración de cadmio, se evidencia una interacción entre el factor de cacao (Híbridos y Nacional) y las dosificaciones de *Rhizobium Japonicum*, lo cual tiene un efecto beneficioso a mayor inducción de este agente biológico sobre los productos fermentados del cacao. Esto es favorable para la industria, ya que se observa una reducción en la concentración de este elemento químico contaminante, lo cual Vásquez et al., (2022) en su estudio determinó la incidencia de la aplicación de este microorganismo lo cual tuvo un efecto concluyente además mejorando las cualidades organolépticas en las barras de chocolate.

Tabla 4.
 Resultado de cadmio. La Represa. UTEQ 2023.

Código muestra	Resultado mg/kg	Incert.	LOD	LOQ	LMR UE*
			mg/kg	mg/kg	mg/kg
R1I0	0.45	±0.03	0.006	0.10	0.8
R2I0	0.36	±0.03	0.006	0.10	0.8
R3I0	0.29	±0.03	0.006	0.10	0.8
I1N0	0.45	±0.03	0.006	0.10	0.8
I2N0	0.36	±0.03	0.006	0.10	0.8
I3N0	0.30	±0.03	0.006	0.10	0.8

CONCLUSIONES

Este estudio muestra que la inoculación con *Rhizobium japonicum* reduce significativamente el cadmio y mejora la fermentación de almendras de cacao, especialmente en la variedad Híbridos. Los híbridos son más eficientes que la variedad Nacional en la disminución del cadmio. Estos hallazgos sugieren que *Rhizobium japonicum* es una estrategia sostenible para mejorar la calidad del cacao según INEN 176:2018.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batallas, Preciado, M., & Pesantez, F. (2021). Evaluación de cadmio y plomo en almendras de cacao por espectroscopia de absorción atómica. *Ciencia Unemi*, 14(37), 49–59. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp49-59p>
- Batista. (2018). Guía técnica el cultivo de cacao. *Santo Domingo, Republica Dominicana. Centro Para El Desarrollo Agropecuario y Forestal CEDAF*, 2(1), 1–232.
- Bertorelli, Camacho, G., & Fariñas, L. (2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Tropical*, 54(1), 31–43.
- Contreras, & Pérez, M. (2017). Instructivo para el control de calidad de granos de cacao. *Swisscontact Colombia*, 1–17.
- INEN. (1986). Cacao en gramo, ensayos de corte NTE INEN 175. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 1–3.



- INEN. (2018). Granos de cacao. Requisitos NTE INEN 176-5. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 5, 8.
- Intriago, Chávez, G., Vásquez, L., Alvarado, K., Escobar, R., Vera, J., Radice, M., & Raju, M. (2023). Evaluación del contenido de cadmio y caracterización fisicoquímica de almendras y pasta de cacao (*Theobroma cacao*). *Innovaciencia*, 11(1), 1–11.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15649/2346075X.3411>
- Ortiz, & Guilcapi, M. (2020). Manual de procesos de centro de acopio de cacao. *Pro Amazonía*, 1(1), 52.
- Quintana, Gómez, S., García, A., & Martínez, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña de satandereana, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 253–266.
- Sánchez Mora, Zambrano Montufar, J., Vera Chang, J. F., Ramos Ramache, R., Gárce Fiallos, F., & Vásconez Montúfar, G. (2014). Productividad de clones de cacao tipo Nacional en una zona del bosque humedo tropical de la Provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 265–274.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2015.3.265>
- Saza, & Jiménez, F. (2020). Determinación de condiciones ambientales para la conservación de granos de cacao (*Theobroma cacao* L) deshidratado durante el almacenamiento. *Sistemas De Producción Agroecológicos*, 11(1), 97–125.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22579/22484817.461>
- Valarezo, Carrillo, M., Rubio, G., Peña, K., & Garcia, Y. (2022). Omisión de macronutrientes y biodisponibilidad de cadmio en suelos de Ecuador. *Acta Agronomica*, 71(3), 248–257.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v71n3.105855>
- Vallejo, Loayza, G., Morales, W., & Vera, J. (2018). Perfil sensorial de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la parroquia Valle Hermoso- Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA*, 9(2), 103–113.
- Vallejo, Vera, J., Párraga, M., Morales, W., Macias, J., & Ramos, R. (201 C.E.). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de Cacao Nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.139>
- Vásquez, Intriago, F., & Alvarado, K. (2023). Extracto de (banano y manzana) con microorganismos eficientes y su efecto en la disminución de cadmio en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.). *CCIUTM*, 6, 1–941.



- Vásquez, Vera, J., Erazo, C., & Intriago, F. (2022a). Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (Theobroma Cacao L .) as a strategy for the decrease of cadmium. *International Journal Od Health Sciences*, 6(3), 11354–11371. <https://doi.org/https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672> Induction
- Vásquez, Vera, J., Erazo, C., & Intriago, F. (2022b). Induction of rhizobium japonicum in the fermentative mass of two varieties of cacao (Theobroma Cacao L.) as a strategy for the decrease of cadmium. *International Journal of Health Sciences*, 3(April), 11354–11371. <https://doi.org/https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS3.8672> Induction
- Vera, Benavides, J., Vásquez, L., Alvarado, K., Reyes, J., Intriago, F., Naga, M., & Castro, V. (2023). Effects of two fermentative methods on cacao (Theobroma cacao L.) Trinitario, induced with Rhizobium japonicum to reduce cadmium. *Revista Colombiana de Investigación Agroindustriales*, 10(1), 95–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.5460>
- Vera, & Salazar, M. (2021). Aplicación de siete bioles sobre el desarrollo agronómico en cacao (Theobroma cacao L.) De origen sexual y asexual en etapa productiva en la finca experimental la represa. *Centrosur*, 1(1), 1–43.
- Vera, Vallejo, C., Párraga, D. E., Macías, J., Ramos, R., & Morales, W. (2015). ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS Y SENSORIALES DE LAS ALMENDRAS DE QUINCE CLONES DE CACAO NACIONAL (Theobroma cacao L.) EN EL ECUADOR. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.99>
- Vera, Vásquez, L., Alvarado, K., Intriago, F., Raju, M., & Radice, M. (2024). Physical and organoleptic evaluation of 12 cocoa clones (Theobroma cacao L .) of National type , in Cocoa liquor — a study from Ecuador. *Systems, Smart Technologies and Innovation for Society*, 870, 8–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-51982-6_18
- Vera, Vásquez, L., Valverde, E., Rodriguez, S., Uvidia, M., Palacios, J., & Intriago, F. (2024). Elaboración de barras de chocolate a partir de almendras de cacao de montaña (Theobroma bicolor Hump & Bonpl L.) con adición de pasta de frutas deshidratadas de naranja (Citrus x sinensis) y mango (Mangifera indica). *Revista Agrosilvicultura y Medioambiente*, 2(1), 71–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v2.n1.2024.71-90>

“Gestión Logístico-Administrativa y Competitividad del Turismo en la Provincia de Los Santos, Panamá 2024”

“Logistical and Administrative Management for Tourism Competitiveness in the Province of Los Santos, Panama 2024”

Ana Gabriel Gómez Monroy

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos. Panamá.

ana-g.gomez-m@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0002-9761-334X>

Reynaldo Cassiel Villarreal

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos. Panamá

reynaldo-c.villarreal@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0001-2488-2066>

Recepción: 22 de febrero de 2025

Aprobación: 5 de junio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.6943>

Resumen

El turismo en Panamá ha crecido de manera constante, convirtiéndose en un pilar económico en Los Santos, su potencial es alto gracias a su riqueza cultural y natural, pero enfrenta desafíos en la calidad de los servicios turísticos. Objetivos: Esta investigación analiza las operaciones logísticas y administrativas del sector turístico, describiendo la interacción de los actores e identificando áreas de mejora en cuanto competitividad y sostenibilidad. Métodos: A través de un enfoque cualitativo, se realizaron encuestas a 78 empresas y 60 turistas, entrevistas con actores del sector y análisis documental. Resultados: Se identificaron deficiencias en infraestructura, conectividad, planificación estratégica y sostenibilidad, así como brechas en la capacitación del personal. Los turistas expresaron insatisfacción con la información turística, el servicio al cliente y el transporte. Las empresas enfrentan dificultades en la gestión de la cadena de suministro y la adopción de prácticas sostenibles, afectando la calidad del servicio. Conclusiones: Se propone la creación de un Foro de Turismo Sostenible para fortalecer la cooperación entre empresas, gobierno y academia, impulsar estrategias sostenibles y mejorar la calidad del turismo en Los Santos.

Palabras clave: infraestructura, logística turística, turismo, turismo sostenible

Abstract

Tourism in Panama has grown steadily, becoming an economic pillar. In Los Santos, its potential is high due to its cultural and natural wealth, but it faces challenges in the quality



of tourism services. This research analyzes the sector's logistical and administrative operations, identifying deficiencies and proposing strategies to enhance its competitiveness and sustainability. Through a qualitative approach, surveys were conducted with 78 businesses and 60 tourists, along with interviews with sector stakeholders and documentary analysis. Deficiencies were identified in infrastructure, connectivity, strategic planning, and sustainability, as well as gaps in staff training. Tourists expressed dissatisfaction with tourism information, customer service, and transportation. Businesses struggle with supply chain management and the adoption of sustainable practices, affecting service quality. The creation of a Sustainable Tourism Forum is proposed to strengthen cooperation between businesses, government, and academia, promote sustainable strategies, and improve the quality of tourism in Los Santos.

Keywords: infrastructure, sustainable tourism, tourism logistics, tourism

INTRODUCCIÓN

El turismo es un sector clave en la economía panameña, y la provincia de Los Santos destaca por su riqueza cultural, gastronómica y natural. Sin embargo, enfrenta desafíos en infraestructura, planificación logística y gestión administrativa que afectan la experiencia del visitante y la competitividad del destino.

Una logística eficiente es esencial para garantizar la movilidad de los turistas, el abastecimiento oportuno de bienes y servicios, y el mantenimiento de la calidad en hoteles, restaurantes y transporte.

Asimismo, una gestión administrativa eficaz en el sector público y privado permite la planificación estratégica y la regulación adecuada del turismo. No obstante, la falta de coordinación entre actores, la escasez de capacitación y la ausencia de estrategias conjuntas limitan el desarrollo sostenible del sector.

Estudios previos resaltan que la competitividad turística depende tanto de los atractivos del destino como de la eficiencia en la prestación de servicios (Unidad de Monitoreo y Análisis de la Competitividad-CNC, 2014).

El objetivo del estudio fue evaluar la interacción de los actores clave del sector turístico en la provincia de Los Santos mediante el análisis de las operaciones logísticas y administrativas que se realizan, identificando los desafíos actuales y factores de sostenibilidad, con el fin de describir el "Engranaje Logístico" que permite el funcionamiento del turismo y su influencia en la percepción de calidad del destino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un diseño cualitativo no experimental, con un análisis transversal que permitió examinar la situación del turismo en Los Santos en un periodo determinado. Se utilizaron los enfoques metodológicos exploratorio y descriptivo

El universo de estudio comprende a todos los actores involucrados en la actividad turística de la provincia de Los Santos, organizados en tres grupos poblacionales: sector público (instituciones gubernamentales), sector privado (empresas turísticas) y consumidores (turistas nacionales e internacionales). Para cada grupo se estableció una muestra representativa:

Sector privado: Utilizando la fórmula para poblaciones finitas, con un nivel de confianza del 95%, margen de error del 5%, y probabilidad de éxito/fracaso del 50%, se determinó una muestra de 78 empresas de un total de 98 registradas formalmente. Para calcular la muestra finita, seguimos la fórmula:

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N - 1)e^2 + Z^2pq}$$

Consumidores: Dada la naturaleza variable e indefinida del número de turistas, se estableció una muestra intencionada de 60 participantes, buscando equilibrio entre representatividad y viabilidad.

Sector público y ONGs: La muestra se seleccionó bajo criterios de representatividad territorial (7 alcaldías), funcional (instituciones clave en turismo) y participación de actores clave (ONGs y comités organizadores de eventos turísticos).

Para garantizar una recopilación de datos integral y confiable, se aplicaron tres instrumentos principales: Encuestas estructuradas, aplicadas a empresas turísticas y turistas, entrevistas semiestructuradas que fueron realizadas con actores clave del sector público y privado y

análisis documental que consistió revisión de informes gubernamentales, regulaciones turísticas, estudios previos y literatura científica relacionada al turismo.

Los datos fueron procesados mediante técnicas de análisis de contenido cualitativo, organizando la información en categorías temáticas: Infraestructura y conectividad, gestión de la calidad del servicio, planificación administrativa y logística, sostenibilidad y cooperación sectorial. Se utilizaron herramientas de codificación para identificar patrones y tendencias en las respuestas, permitiendo generar conclusiones basadas en la evidencia recopilada.

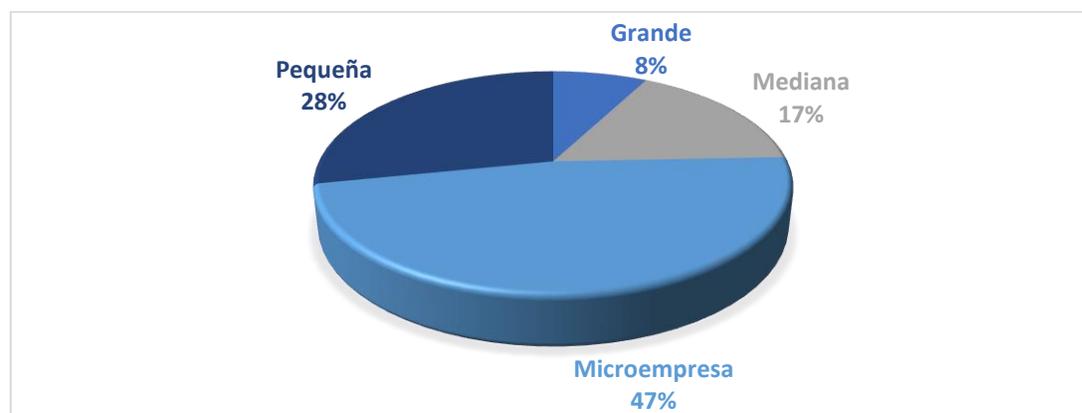
El estudio se llevó a cabo respetando los principios éticos de investigación. Se garantizó la confidencialidad y anonimato de los participantes y se obtuvo el consentimiento informado antes de la aplicación de encuestas y entrevistas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los datos evidencia que el turismo en la provincia de Los Santos enfrenta limitaciones estructurales que afectan su competitividad, destacándose problemas en la planificación estratégica del destino, infraestructura, logística, calidad del servicio y sostenibilidad.

Figura 1

Tamaño de las empresas turísticas de la provincia de Los Santos

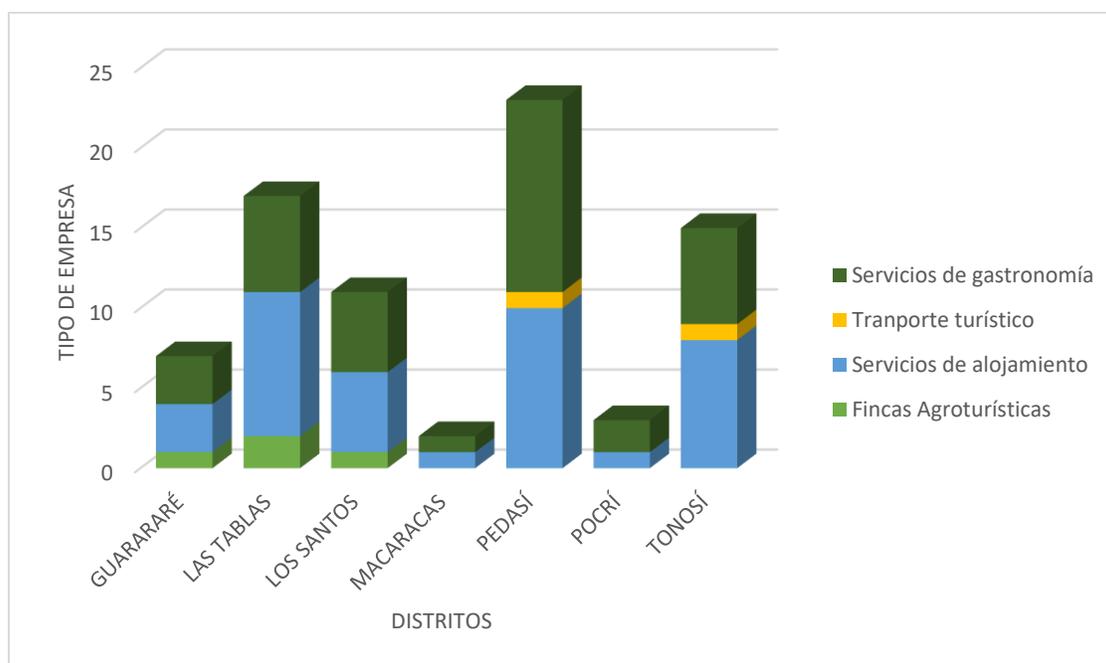


Fuente: (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024).

El análisis de las 78 empresas encuestadas refleja una industria turística compuesta principalmente por micro y pequeñas empresas (75 %). Con una oferta centrada en hospedaje (47 %) y gastronomía (45 %). La mayor concentración de establecimientos se encuentra en Pedasí (29 %), Las Tablas (22 %) y Tonosí (19 %), lo que evidencia una fuerte dependencia de ciertos destinos dentro de la provincia

Figura 2

Tipo de empresa y ubicación



Fuente: (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024).

A pesar de su potencial, la provincia de Los Santos cuenta con una escasa renovación de emprendimientos en los últimos años, lo que ha limitado la diversificación de la oferta turística en la región.

En la Figura 3 podemos observar que el 69% de las empresas dicen tener de 5 a 20 años de operación, mientras que un 24% mantienen sus operaciones en los rangos de menos de uno hasta cuatro años y solo un 6% dice tener más de veinte años de operación.

Figura 3

Años de Operación de las empresas Estudiadas

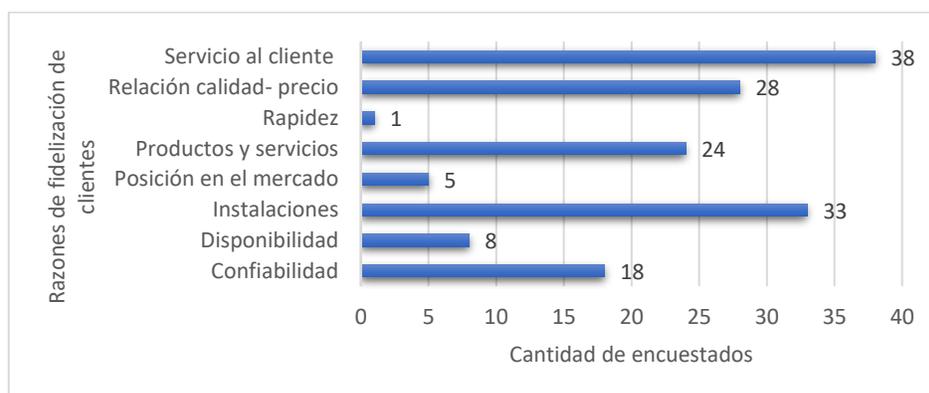


Fuente: (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024).

Gestión Empresarial y Atención al Cliente: A las 78 empresas encuestadas se les consultó sobre las 3 principales razones por las que sus clientes preferían su negocio, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 4

Ventajas Competitivas de las empresas estudiadas



Fuente: (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024).

Es evidente que los aspectos menos valorados fueron la rapidez y la disponibilidad, factores que guardan estrecha relación con la gestión de la cadena de suministro de las empresas.

Adicionalmente, aunque el 96 % de las empresas utiliza herramientas tecnológicas básicas, principalmente pagos digitales, son muy pocas las que han implementado estrategias avanzadas de fidelización y marketing digital.

Actualmente, la falta de programas de formación continua y la ausencia de certificaciones impactan negativamente la percepción de calidad por parte del visitante, generando una brecha entre las expectativas creadas por la promoción turística y la experiencia real.

En mercados turísticos altamente competitivos, la capacitación del personal es clave para garantizar un servicio de excelencia (Unidad de Monitoreo y Análisis de la Competitividad-CNC, 2014). La implementación de estándares de calidad ayudaría a reducir la insatisfacción del turista y mejorar la fidelización del cliente.

La Infraestructura: El estudio revela deficiencias críticas en la infraestructura de apoyo al turismo, afectando la percepción de calidad del visitante como sucede en otros puntos de interés turísticos en el país (Nel-lo Andreu & Pérez Albert, 2007).

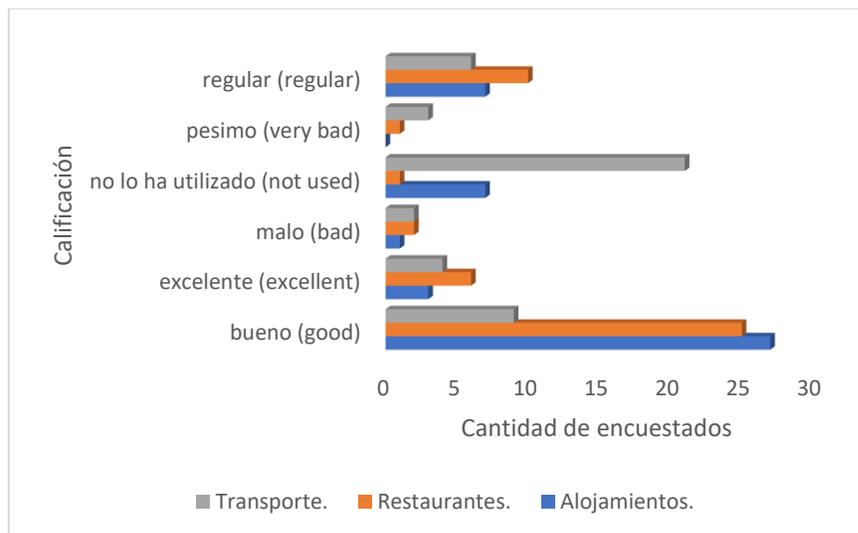
Conectividad terrestre y el transporte: se evidencia que, a pesar de que Los Santos dispone de más de 60 rutas de transporte, la conectividad sigue siendo limitada. Los resultados indican que en todos los distritos existen dificultades de acceso al transporte, ya sea por la reducción de horarios o la disponibilidad del servicio, lo que impacta negativamente en la movilidad de los turistas.

Accesibilidad marítima y aérea: A pesar de que existen cuatro puertos en la provincia, solo el puerto de Pedasí cuenta con infraestructura para el turismo (Autoridad Marítima de Panamá, 2024), y los dos aeródromos locales (Georgia tech Panamá, 2024) tienen una oferta de vuelos comerciales limitada.. Estos problemas coinciden con estudios previos que destacan la importancia de la infraestructura para el desarrollo del turismo sostenible (Santamaría, 2020).

Suministro de servicios básicos: La cobertura de agua potable, electricidad e internet es deficiente en muchas zonas rurales, impactando negativamente la operatividad de las empresas turísticas. Además, la gestión del abastecimiento presenta cuellos de botella en la cadena de suministro, lo que repercute en la disponibilidad de productos y servicios en temporadas altas. La falta de una planificación logística eficiente afecta tanto a empresarios como a turistas, reduciendo la satisfacción y la competitividad del destino.

Figura 5.

Calificación de los turistas hacia servicios ofrecidos



Fuente: (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024).

El análisis de los 60 turistas encuestados muestra que el 71 % califica el servicio de alojamiento como bueno, mientras que la gastronomía (55.6 %) y el transporte turístico (39.1 %) reciben calificaciones menos favorables. Las principales quejas de los visitantes incluyen: Atención al cliente deficiente (19 %). Falta de información turística clara (19 %). Disponibilidad limitada de productos y servicios (16 %) (Gomez, Monroy & Villarreal, Quintero , 2024). Estos resultados destacan la necesidad de mejorar la capacitación del personal, optimizar los procesos logísticos y fortalecer la promoción turística para mejorar la experiencia del visitante.



El 33 % de las empresas no implementa prácticas de sostenibilidad, mientras que aquellas que sí lo hacen se enfocan en reciclaje, conservación de especies y cuidado del agua.

Problemas como la contaminación de ríos y la falta de infraestructura de gestión de residuos siguen afectando la imagen del destino (Franco, 2024). Esta situación demuestra la urgencia de implementar estrategias ambientales y de distribución y planificación estratégica de recursos que garanticen un turismo sostenible a largo plazo (Perez, 2024).

Uno de los principales hallazgos del estudio es la fragmentación entre los actores del sector turístico. La ausencia de un espacio de diálogo entre empresas, gobierno, academia y comunidades ha impedido la formulación de estrategias conjuntas para fortalecer la infraestructura, mejorar la calidad del servicio y promover el destino de manera eficiente. Experiencias en otros países han demostrado que la colaboración público-privada es fundamental para el desarrollo del turismo sostenible (Rudolf, 2014).

Ante los desafíos identificados en la investigación sobre la calidad de los servicios turísticos en Los Santos, se propone la creación de un Foro de Turismo Sostenible en el Centro Regional Universitario de Los Santos de La Universidad de Panamá. Este espacio reunirá a los principales actores del sector (hoteles, restaurantes, entidades gubernamentales, comunidades y academia) para abordar problemáticas comunes, fomentar la colaboración público-privada y generar estrategias que mejoren la sostenibilidad y competitividad del turismo regional.

El foro se presenta como una solución viable para mejorar la calidad de los servicios turísticos, asegurar ingresos económicos estables y promover un turismo sostenible. Esta iniciativa podría replicarse en otras regiones del país, generando un impacto positivo en la economía nacional.

Descripción general de los hallazgos por distrito

Los Santos: Conocido por eventos como el Corpus Christi y la Feria Internacional de Azuero, este distrito combina tradición y turismo. No obstante, su infraestructura presenta limitaciones en accesos y promoción hotelera, lo que restringe su crecimiento. Se recomienda mayor inversión pública y privada.



Guararé: Destacado por su folclore y el Festival Nacional de la Mejorana (VERGARA, 2024), enfrenta problemas ambientales, especialmente la contaminación del río Guararé. Aunque su infraestructura turística es funcional, necesita mejoras y diversificación. La descentralización de recursos ayudaría a su gestión autónoma. (Franco, 2024).

Las Tablas: Sede de eventos icónicos como el Carnaval y el Desfile de las Mil Polleras, depende demasiado del turismo estacional. La falta de una planificación estratégica de diversificación y las deficiencias en accesos y servicios básicos limitan su crecimiento.

Pocrí: Con potencial turístico emergente, pero con recursos limitados. Sus atractivos naturales y culturales carecen de una promoción efectiva, y su infraestructura en hospedaje y gastronomía es insuficiente.

Pedasí: Destino turístico consolidado con lugares como Playa Venao e Isla Iguana, beneficiado por inversiones privadas y colaboración público-privada (MOREINIS, 2024).

Sin embargo, su desarrollo es desigual, con algunas zonas aún sin infraestructura ni servicios básicos adecuados.

Tonosí: Posee una riqueza natural destacada con playas y reservas como Cerro Hoya, pero la falta de carreteras y servicios básicos obstaculiza su potencial. Mejorar la conectividad y rehabilitar el aeródromo son claves para su desarrollo. (DOMÍNGUEZ, 2024)

Macaracas: A pesar de su conectividad con otras regiones y su oferta cultural y natural, enfrenta desafíos similares a Pocrí, como falta de estrategias de promoción y deficiencia en servicios turísticos. Además, no tiene acceso a la costa, lo que lo coloca en desventaja frente a otros distritos.

Los resultados confirman la hipótesis del estudio: "La percepción de calidad de los servicios turísticos en la provincia de Los Santos está directamente influenciada por deficiencias en la cadena de suministro, las cuales son agravadas por el estado de la infraestructura de apoyo al sector turístico." Se evidencia que la falta de inversión en logística, capacitación y planificación estratégica impacta negativamente en la experiencia del turista. La implementación del Foro de Turismo Sostenible permitirá establecer estrategias conjuntas para mejorar la calidad del servicio y la sostenibilidad del turismo en la región.

CONCLUSIONES

La infraestructura y las operaciones administrativas son pilares fundamentales para la sostenibilidad y competitividad del turismo en Los Santos. La falta de inversión en infraestructura básica (transporte, agua potable, electricidad y seguridad sanitaria) limita la experiencia del turista y reduce la capacidad de la provincia para competir en mercados internacionales. (AMAYA, 2024) Paralelamente, las deficiencias en la gestión administrativa, como la falta de capacitación del personal y la coordinación entre actores. (Vergara, 2024), afectan la calidad de los servicios.

Para superar estos desafíos, es esencial priorizar inversiones en infraestructura y optimizar las operaciones administrativas, integrando esfuerzos entre el gobierno, la empresa privada, las comunidades y la academia. El Foro de Turismo Sostenible propuesto surge como una plataforma clave para fomentar la colaboración intersectorial, promover prácticas sostenibles y generar estrategias que impulsen un turismo competitivo y equitativo. Con acciones concretas y una visión compartida, Los Santos puede transformarse en un destino turístico de calidad, beneficiando tanto a los visitantes como a las comunidades locales. Esta iniciativa podría replicarse en otras regiones del país, generando un impacto positivo en la economía nacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su sincero agradecimiento a las empresas del sector turístico y a los municipios de la provincia de Los Santos por su valiosa colaboración en la recopilación de información a través de encuestas y entrevistas, lo que permitió enriquecer significativamente los hallazgos de esta investigación.

Asimismo, se reconoce el apoyo de diversas instituciones gubernamentales, incluyendo la Autoridad de Turismo de Panamá, el Ministerio de Ambiente (MiAmbiente), el Ministerio de Salud (MINSa), el Patronato del Festival de la Mejorana, la Feria Internacional de Azuero



y la Cámara de Turismo de Pedasí, por facilitar datos clave que contribuyeron a contextualizar la logística turística en la región.

Su contribución ha sido fundamental para el desarrollo de este estudio y para la generación de propuestas que promuevan un turismo más sostenible y competitivo en Los Santos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gómez Monroy, A. G., & Villarreal Quintero, R. C. (2024). *Operaciones administrativas y logísticas que influyen en la calidad de los servicios turísticos en la provincia de Los Santos* [Tesis de licenciatura, Universidad de Panamá]. Repositorio Institucional de la Universidad de Panamá. Recuperado de https://up-rid.up.ac.pa/8638/1/ana_gomez.pdf
- Martínez, L., & El Kadi, O. (2019). Logística integral y calidad total: Filosofía de gestión organizacional orientada al cliente. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(7), 202-232.
- Nel-lo Andreu, M., & Pérez Albert, Y. (2007). La política turística en Panamá: Resultados y perspectivas. *Revista de Turismo*, 19(1). Recuperado de <https://revistas.um.es/turismo/article/view/12951>
- Rudolf, G. (2014). Desarrollo, ¿para quién y hasta cuándo?: Impactos del turismo residencial en zonas rurales de Panamá. *Canto Rodado: Revista Especializada en Patrimonio*, 9, 85-110.
- Santamaría, L. M. (2020). Cadena de suministro en servicios turísticos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 91. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890303>
- Unidad de Monitoreo y Análisis de la Competitividad-CNC. (2014). *Competitividad al Día No. 173: La importancia del turismo y su impacto económico en Panamá*. CNC.
- Hernández, M. (2000). *Estudio del marco legal para un desarrollo turístico sostenible en Centroamérica*. Asociación de Orientación Legal y Administrativa de Panamá (ASLAP). Recuperado de https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=leys_2137_2_1108_2005.htm
- Mellado, M. E. (2012). Implantar turismo: ¿Sembrar desarrollo? El caso del archipiélago de las Perlas, Panamá. En A. C. Heriberto Cairo Carou (Ed.), *Congreso Internacional "América Latina: La autonomía de una región"* (p. 13). TRAMA Editorial/CEEIB. Recuperado de <https://shs.hal.science/halshs-00875592/>
- Autoridad de Turismo de Panamá. (2024). Legislación de turismo. *ATP Panamá*. Recuperado de <https://www.atp.gob.pa/acerca-de-atp/legislacion/>



Autoridad Marítima de Panamá. (2024). Puertos estatales y su infraestructura. *AMP Panamá*. Recuperado de <https://www.amp.gob.pa/servicios/puertos-e-industrias-maritimas-auxiliares/infraestructura/puertos-estatales-2/>

Georgia Tech Panamá. (2024). Infraestructura aeroportuaria y logística en Panamá. *Logistics Gatech Panamá*. Recuperado de <https://logistics.gatech.pa/plataforma-logistica/activos-logisticos/aeropuertos/todos-los-aeropuertos-en-panama/>

Entrevistas

Amaya, A. A. (2024). Ingeniero. (A. G. Gómez Monroy, Entrevistador).

Domínguez, A. (2024). Honorable Alcalde. (A. G. Gómez Monroy, Entrevistador).

Franco, A. (2024). Honorable Alcalde. (A. G. Gómez Monroy, Entrevistador).

Luna, J. (2024). Licenciado. (R. C. Villarreal Quintero, Entrevistador).

Moreinis, D. (2024). Señor. (R. C. Villarreal Quintero, Entrevistador).

Pérez, D. (2024). Director de la Autoridad de Turismo de Panamá (Los Santos). (R. C. Villarreal Quintero, Entrevistador).

Vergara, D. (2024). Profesor. (A. G. Gómez Monroy, Entrevistador).

Vergara, I. (2024). Ingeniero. (R. C. Villarreal Quintero, Entrevistador).



Bivalves (Pelecypoda) used as bioindicators of pollution on different beaches in the Bay of Panama.

Bivalvos (Pelecypoda) usados como bioindicadores de contaminación en diferentes playas de la Bahía de Panamá.

Darío Eliecer Córdoba González

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Museo de Malacología. Panamá.

dario.cordoba@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-0693-4176>

Recepción: 21 de febrero de 2025

Aprobación: 7 de julio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.6938>

Abstract

In this study, we analyzed the role of bivalve species present on 10 beaches in the Bay of Panama as bioindicators of pollution. We evaluated the type of adaptation they exhibit (tolerant and less tolerant). To this end, we evaluated the correlation between the different collection sites and the species found at each site. A total of 108 species in 58 genera and 33 families of bivalves (Pelecypods) were recorded. *Lima pacifica*, a highly pollution-tolerant bivalve, was found on the beaches of Punta Paitilla and Naos Island. Other filter-feeding bivalves collected with high commercial value and widely consumed in our country included *Ostrea conchaphila*, *Agerostrea megodon*, *Crassostrea columbiensis*, *C. corteziensis*, *Saccostrea palmula*, and *Striostrea iridescens*, which were attached to the rocks on five beaches in the Bay of Panama. The similarity coefficients obtained between these beaches indicate that two of the beaches studied have the same structural configuration, favoring the adaptability of the species found there. This suggests that, if only those sites with a high abundance of pollution-tolerant species are considered, the hypothesis is supported that the closest sectors share a greater number of pollutant-resistant species and are likely to recover more quickly than those farther away. Meanwhile, beaches with species that are not very tolerant, when these species disappear, indicate the unfavorable conditions these coastal areas face for the prevalence of these species' populations.

Keywords: coastal zone, pollution, bay, tolerant Panama,

Resumen

En este estudio, hemos analizado el papel que desempeñan especies de bivalvos, presentes en 10 playas de la bahía de Panamá, como bioindicadores de contaminación. Mediante el tipo de adaptación que presentan (tolerantes y poco tolerantes); para eso se evaluó la correlación que existe



entre los diferentes puntos de recolecta y las especies encontradas en cada uno de ellos. Se registraron un total de 108 especies en 58 géneros y 33 familias de bivalvos (Pelecípodos). *Lima pacifica*, un bivalvo altamente tolerante a la contaminación, localizado en las playas de punta Paitilla e isla Naos; otros bivalvos filtradores recolectados de alto valor comercial y muy consumidas en nuestro país fueron la *Ostrea conchaphila*, *Agerostrea megodon*, *Crassostrea columbiensis*, *C. corteziensis*, *Saccostrea palmula* y *Striostrea iridescens*, estaban adheridos a las rocas de cinco playas de bahía de Panamá. Los coeficientes de similitud, obtenidos entre estas playas, nos indican que dos de las playas estudiadas poseen la misma conformación estructural que favorecen la adaptabilidad de las especies encontradas en ellas. Deduciendo que, si se consideran únicamente aquellos sitios con gran riqueza de especies tolerantes a la contaminación, se apoya la hipótesis de que los sectores más cercanos entre sí comparten un mayor número de especies resistentes a los contaminantes y es probable que tiendan a recuperarse más rápido que los alejados entre sí; mientras que las playas que presentan especies poco tolerantes al desaparecer estas especies, nos indican las condiciones desfavorables que tienen estas zonas costeras para que prevalezcan las poblaciones de estas especies.

Palabras clave: bahía, contaminación, Panamá tolerantes, zona costera

INTRODUCTION

The combination of rapid population growth, industrialization, and urbanization are causes directly associated with water pollution (Courtemanch *et al.*, 1989). Initially, water quality was assessed using physicochemical data, primarily analyzing the short-term effects of pollution; however, since the beginning of the 20th century, biological methods for determining water quality have been widely developed in Europe, accelerating in the 1950s, with plant and animal responses being identified as direct evidence of pollution (Figueroa, 1999).

According to Dauvin *et al.* (2010) there are different techniques to evaluate the quality of water subjected to wastewater discharges, where the most used are those using physicochemical parameters and the use of biological indicators or bioindicators. Now, when designing monitoring studies for different types of pollutants in aquatic habitats, it is important to consider the bivalve populations present in the study area as bioindicator organisms (Page *et al.*, 2005; Chec *et al.*, 2008). A clear example is the mussel, an excellent bivalve for monitoring marine pollutants due to

its very limited metabolism, its filter feeding, and its sedentary behavior (Soriano-Sanz *et al.*, 2006).

It is well known that one of the public health hazards is the discharge of wastewater into coastal waters, both for those who consume bivalves and for people who bathe in these waters (Fernández *et al.*, 1971; Wanke & Guerrant 1987). Feeding on these mollusks, whether raw or undercooked, has led to the emergence of enteric diseases in people across the world (Dsenelos, 1991). This is because these mollusks can filter up to 50 liters of water per day (Martinez *et al.*, 1991). Viruses present in wastewater when consumed by bivalves pass through the gill mucosa and are carried by ciliary movements to the mouth and subsequently transported to the stomach. Although these viruses do not replicate in bivalves, they can be digested by enzymes and are usually transported by macrophages to the musculature or are excreted in bivalve feces (Campos, 1990, Martínez *et al.*, 1991); this confirms that bivalves can biomagnified concentrations of both bacteria and viruses, thus increasing the chances of infection when consumed raw or undercooked.

For biomonitoring of water quality and determining the degree of water pollution, bivalve mollusks have almost always been used, due to their ability to accumulate different contaminants in their soft tissues, without any affectation to the organism (Hamza-Chaffai, 2014), now this is given by the type of feeding of them, since they are capable of filtering large volumes of water, which helps them retain both microorganisms and contaminants in their soft parts; according to Ghazzi *et al.* (2017) this characteristic is generally present in all shellfish, which are considered among the best biological indicators of the health status of marine ecosystems.

According to Arce *et al.*, (2006), the use of bioindicators is being proposed as a new tool for understanding water quality because their use greatly simplifies field and laboratory activities, as their application depends on the identification and quantification of species based on interval-adjusted diversity indices that assess water quality. This is very important because the methodology is very simple, but it does not mean that traditional methods of physicochemical analysis will be displaced.



Responses to pollution can be observed in both individuals and populations and are manifested through changes in behavior and physiology, or simply tolerance and intolerance to pollution. Given the diverse responses of both individuals and populations, different groups of mollusks have been used as indicators of pollution, either due to the disappearance of the species (stenobiotic), the predominance of certain species (euribiotic), or due to their ability to accumulate contaminants, or through bioaccumulation processes throughout their life cycle (biomagnification) (Baqueiro-Cárdenas *et al.*, 2007).

A fundamental role in the quality of a marine ecosystem lies with its waters, as they provide many benefits and are part of various activities for nearby populations. However, as they are overused, they are subject to numerous pressures that consequently diminish water quality and modify its natural properties (Vivas-Aguas *et al.*, 2010). This quality is measured by biotic and abiotic factors using environmental parameters present in the water (Pomeroy *et al.*, 2006). According to Vivas-Aguas (2011), this quality is determined by the presence of compounds foreign to the natural environment, the natural levels of certain substances, and resource use. Furthermore, the state of the water is subject to movement, anthropogenic activities, and natural processes (Posada *et al.*, 2012).

In biological processes, water quality is a limiting factor because it depends on the organisms, populations, and habitats found in marine and coastal areas. This is why, according to Pomeroy *et al.* (2006), water quality is key to the overall health and viability of biotic communities. Although water quality is constantly being studied to determine the viability of the resource for specific uses, the focus is on how aquatic environments are affected by the discharge of pollutants resulting from human activities, especially from urban wastewater treatment (Aurazo, 2004).

The biological information generated from these so-called bioindicators does not replace physicochemical analyses, but it does reduce the cost of water quality analyses, according to Chapman (1996). Some organisms have a very wide tolerance range to the environmental



conditions present in the habitat where they live, largely depending on the degree of pollution at the site (Whiton, 1975). Based on this concept, the use of bioindicators is an ecological technique based on measuring the diversity and presence or absence of specific organisms (De La Lanza *et al.*, 2000). which leads us to present in this article the importance of bivalves as alternative tools for the evaluation of water quality, and to demonstrate this we will use different criteria and definitions that are used by some authors who used different organisms as bioindicators of water quality.

MATERIALS AND METHODS

Sampling was carried out on foot, collecting bivalve specimens by hand, on ten beaches in the Bay of Panama between the coordinates of 8°35' and 9°01' North latitude and 78°10' and 80°28' West longitude (Juan Díaz, Panama La Vieja, San Francisco de la Caleta, Punta Paitilla, the Paitilla ramp, San Felipe Market, Santo Domingo, Las Bóvedas, Punta Calafate and Naos Island), due to the characteristics of this area, which is shallow throughout its extension to the continental shelf, where it deepens abruptly. It has a very open coastal configuration, with a predominant amount of mud on the bottom, sometimes bordered by rocks that are exposed at low tide. Wastewater, industrial wastewater, and water from the capital city's hospitals also flow into this section. Several rivers also flow into the area, such as the Matasnillo, a tributary heavily polluted by the large amount of waste dumped into it because of human activities.

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 108 species in 58 genera and 33 families of bivalves (Pelecypods) were recorded; 39 species were used as food by residents. Due to the tolerance and adaptability of some species of this class of mollusks, they have been considered preferred organisms for monitoring the presence of pollutants and as indicators of water quality in ecosystems. One of the species collected was the *Lima pacifica* Bruguiere 1797, a highly pollution-tolerant bivalve found on the beaches of Punta Paitilla and Isla Naos, two areas comprised of rocky substrates, an ideal habitat for the adaptation of this species. According to Keen (1971), it likes to live under rocks for protection when the tide is low.



Other filter-feeding bivalves are oysters, which are capable of ingesting suspended particles with high concentrations of pathogenic microorganisms, which can affect the health of those who consume them if prepared improperly, according to González et al. (2009). From this group, species of high commercial value and widely consumed in our country were collected, such as *Ostrea conchaphila* Carpenter 1857, *Agerostrea megodon* (Hanley 1846), *Crassostrea columbiensis* Hanley 1846, *C. corteziensis* Hertlein 1951, *Saccostrea palmula* (Carpenter 1857), and *Striostrea iridescens* Hanley 1854, which were attached to the rocks of five beaches in the Bay of Panama. These organisms are efficient filter feeders and like to live on rocks, being exposed when the tide goes out and disappearing when the tide comes in. They are also highly sought-after organisms for the flavor of their flesh and their easy preparation for consumption.

Baquero-Cárdenas *et al.* (2007), the determination of contaminants in mollusk tissues is an indisputable indicator of their presence in the environment, particularly when their concentrations are not constant or are very high in the water, making it difficult to determine the actual values. Likewise, the decrease in reproductive potential, physiological state and population condition index are indicators of the presence of contaminants; moreover, it has been shown that the accumulation of contaminants is selective, making it impossible to determine their concentrations in different mollusk's.

CONCLUSION

Data obtained from different bivalve species should be used as a reference for bioindicators, because a single population used as an indicator of the health of a body of water can be recording erroneous signals of water quality due to the increase in a species that is highly tolerant or adapted to pollution. Using the bivalve group as bioindicators of water pollution is also essential because they are a heterogeneous group in which various responses to different types of environmental pressures can be obtained. The sedentary lifestyle of most species makes spatial studies possible, thanks in large part to their long-life cycles.



BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- Arce, O., Herbas, A., Rivero, O. & Gonzáles, A. (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua. Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba.
- Aurazo, M. (2004). *Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima.
- Baqueiro-Cárdenas, E., Borabe, L., Goldaracena-Islas, C. & Rodríguez-Navarro, J. (2007). Los moluscos y la contaminación: Una revisión. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78:1-7.
- Campos J.A., M.L Fournier & R. Soto. (1990). Estimación de la población de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en Sierpe-Térraba, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 38:477-480.
- Chec, E., Podgórska, B. & Wegrzyn, G. (2008). Comparison of the use of mussels and semipermeable membrane devices for monitoring and assessment of accumulation of mutagenic pollutants in marine environment in combination with a novel microbiological mutagenicity assay. *Environmental Monitoring and Assessment*, 140: 83-90.
- Courtemanch, D.L., Davies, S.P. & Laverty, E.B. (1989). Incorporation of biological information in water quality planning. *Environmental Management*, 13(1): 35-41.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman Hill. Londres.
- Dauvin, J.C., Bellan, G. & Bellan-Santini, D. (2010). Benthic indicators: From subjectivity to objectivity – Where is the line? *Marine Pollution Bulletin*, 60: 947-953.
- De la Lanza E. G., Hernández, P.S. & Carbajal, P.J. (2000). Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México.
- Dsenclos J.C.A., Klontz, K.C., Wilder, M.H., Nainan, O.V., Margolis, H.S. & Gunn, R.A. (1991). A Multistate Outbreak of Hepatitis A caused by the consumption of Raw Oysters. *American Journal of Public Health*, 81:1268-1272.
- Fernández B., Brunker, T. & González, C. (1971). Calidad Sanitaria de las Aguas de la Playa de Puntarenas. *Acta Médica Costarricense*, 14:91-100.



- Figueroa, R. (1999). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de calidad de agua, Río Damas, Osorno, X Región de los Lagos, Chile*. Tesis para optar al Magister en Ciencias mención en Zoología.
- Ghozzi, K., Marangi, M., Papini, R., Lahmar, I., Challouf, R., Houas, N., ben Dhiab, R., Normanno, G., Babba, H., y Giangaspero, A. (2017). First report of Tunisian coastal water contamination by protozoan parasites using mollusk bivalves as biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1–2), 197–202.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.057>
- González, M., Graü, C., Villalobos, L.B., Gil, H. & Vásquez-Suárez, A. (2009). Calidad microbiológica de la ostra *Crassostrea rhizophorae* y aguas de extracción, estado sucre, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XIX(6): 659 – 666*.
- Hamza-Chaffai, A. (2014). Usefulness of Bioindicators and Biomarkers in Pollution Biomonitoring. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 3(1), 19–26. <https://doi.org/10.6000/1927-3037.2014.03.01.4>
- Keen, M. (1971). *Seashells of tropical West America. Marine mollusks from Baja California to Peru*. 2nd ed, Stanford University Press.
- Martínez E., Egea, E., Castro, D., Morinigo, M, Romero, P. & Barrigo, J. (1991). Accumulation and depuration of pathogenic and indicator microorganisms by the mollusk *Chlamelea gallina*, under controlled laboratory conditions. *Journal of Food Protection*, 54:612-618.
- Page, D.S., Boehm, P.D., Brown, J.S., Neff, J.M., Burns, W.A. & Bence, A.E. (2005). Mussels document loss of bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons and the return to baseline conditions for oiled shorelines in Prince William Sound, Alaska. *Marine Environmental Research*, 60:422-436.
- Pomeroy, R. S., Parks, J. E. & Watson, L.M. (2006). *Cómo evaluar una AMP. Manual de indicadores naturales y sociales para evaluar la efectividad de la gestión de áreas marinas protegidas*. UICN, Gland y Cambridge.
- Posada, B. O., Díaz, M., Navas, R., Batista-Morales, A., Vivas-Aguas, L.J., Narváez, S., Perdomo, L., Villamil, C., Orjuela, A., Gómez-López, D. & Vega-Sequeda, J. (2012). Estado del ambiente abiótico, calidad de aguas y biodiversidad marina: indicadores de estado. 27- 78. En: Invemar (Ed.). *Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2011*. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 8, Santa Marta.



- Soriano-Sanz, J.A., Franco-Hernández, A., Viñas-Diéguez, L., Cambeiro-Cambeiro, B. & González-Fernández, J.J. (2006). Datos preliminares de hidrocarburos aromáticos policíclicos en mejillón silvestre de la costa cantábrica (España) después del vertido del Prestige. *Ciencias Marinas*, 32(2B):457-463.
- Vivas-Aguas, L.J., Narváez-Flórez, S. & Espinosa, L. (2010). Calidad de las aguas marinas y costeras del Caribe y Pacífico colombiano. 55-71. En: Invemar (Ed.). *Informe del Estado de los Ambientes y Recursos Marinos y Costeros en Colombia: Año 2009*. Serie de Publicaciones Periódicas del Invemar No. 8, Santa Marta.
- Vivas-Aguas, L.J. (2011). *Formulación del índice de calidad de aguas costeras para los países del Proyecto Spincam: Documento Metodológico. Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la gestión integrada del área costera (SPINCAM)*. Invemar-Programa Calidad Ambiental Marina, Santa Marta.
- Wanke, C.A. & Guerrant, R.L. (1987). Viral hepatitis and gastroenteritis transmitted by shellfish and water. *Infectious Disease Clinics of North America*, 1:649-664.
- Whiton AB. 1975. *River Ecology*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

**Exploración costera: estudio sobre macro, meso y microplásticos en playa Bique,
Panamá Oeste**

Coastal Exploration: Study on Macro, Meso, and Microplastics in Bique Beach, Panama
Oeste

Justin Ezequiel Perez

Universidad de Panamá, Escuela de Biología. Panamá

justin-e.perez-r@up.ac.pa. <https://orcid.org/0009-0001-7477-3175>

Astrid Ortega Conte

Colegio Bilingüe San José del Carmen. Panamá

astrid@soporteortega.com

Noemí León Correoso

Ministerio de Educación, Centro Educativo Cristóbal Adán De Urriola. Panamá

noemi.leon@meduca.edu.pa <https://orcid.org/0000-0003-2113-5361>

Carlos Vergara Chen

Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil. Panamá

carlos.vergara3@utp.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-6314-3231>

Recepción: 24 de julio de 2025

Aprobación: 28 de septiembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7800>

Resumen

Los residuos plásticos contaminan el ecosistema marino ya que no se descomponen naturalmente, sino que se fragmentan en trozos cada vez más pequeños, acumulándose en el ambiente y volviéndose difíciles de detectar y eliminar. Esta investigación representa el primer registro de plásticos en Playa Bique, distrito de Arraiján, con el objetivo de clasificar los residuos plásticos según su tamaño y composición. Mediante recorridos por cuatro zonas de la playa y un muestreo por cuadrantes, se cuantificaron los plásticos en tres categorías: macro, meso y microplásticos. Los macroplásticos se clasificaron según su composición química, mientras que los mesoplásticos y microplásticos fueron diferenciados por sus características físicas (fragmentos rígidos, laminares, varillas, fibras y pellets). En mayor cantidad se encontró el macroplástico compuesto de poliéster (24 ítems), el mesoplástico tipo

fragmento rígido (15 ítems) y el microplástico tipo fragmento rígido en arena (18 ítems). Los macroplásticos se concentraron principalmente en la zona urbanizada y cercana a la costa, mientras que los meso y microplásticos aumentaron hacia la zona intermareal y el manglar, respectivamente. La presencia de diferentes tipos de plástico en diversas zonas evidencia un proceso activo de fragmentación, generando un escenario de transición entre tamaños. Se concluye que es necesario continuar con estudios de monitoreo sobre la presencia y transformación de estos residuos en las playas del país, para evaluar su impacto en los ecosistemas y en la salud ambiental.

Palabras clave: contaminación marina, manglar, plásticos, playa, zona costera, zona intermareal

Abstract

Plastic waste contaminates the marine ecosystem since it does not naturally decompose, but rather fragments into increasingly smaller pieces, accumulating in the environment and becoming difficult to detect and remove. This research represents the first record of plastics in Bique Beach, Arraiján district, with the aim of classifying plastic waste according to its size and composition. Through surveys across four beach zones and quadrat sampling, plastics were quantified in three categories: macro, meso, and microplastics. Macroplastics were classified according to their chemical composition, while mesoplastics and microplastics were differentiated by their physical characteristics (rigid fragments, film, rods, fibers, and pellets). The most abundant types were polyester macroplastics (24 items), rigid mesoplastic fragments (15 items), and rigid microplastic fragments in sand (18 items). Macroplastics were mainly concentrated in the urbanized and coastal areas, while meso- and microplastics increased toward the intertidal zone and mangrove, respectively. The presence of different types of plastics in diverse zones evidences an active fragmentation process, generating a transitional scenario among size categories. It is concluded that further monitoring studies on the presence and transformation of these residues in the country's beaches are necessary to evaluate their impact on ecosystems and environmental health.

Keywords: marine pollution, plastics, beach, coastal zone, mangrove, intertidal zone

INTRODUCCIÓN

La playita de Bique, situada estratégicamente en el distrito de Arraiján, Panamá Oeste, destaca por su ubicación céntrica y por el crecimiento económico que experimenta, albergando proyectos futuros como corredores de playa, pesca y turismo. Sin embargo, también enfrenta desafíos ambientales que afectan su entorno marino.



A pesar de la diversidad de factores que aportan a la acumulación de residuos en los ambientes costeros, los datos revelan que el plástico representa más del 80 % de la basura presente en las playas (Gonzales-Fernández et al., 2021; Ramón, 2015). La basura antropogénica representa una amenaza creciente para los ecosistemas en todo el mundo. El crecimiento de esta problemática está relacionado con el aumento acelerado en la producción mundial de plásticos, que alcanzó los 288 millones de toneladas anuales en 2012 y sigue creciendo a un ritmo aproximado del 4 % cada año (PlasticsEurope, 2015).

Según el informe de los Científicos de la Basura (Thiel et al., 2022), en países de Latinoamérica con costas en el Pacífico, más del 60 % de los residuos recolectados en playas fueron plásticos, lo que confirma que este tipo de contaminación proviene principalmente de fuentes terrestres locales, como las actividades urbanas o el turismo no regulado. Esto resalta la necesidad de enfocar los esfuerzos de mitigación en la misma playa y en los núcleos urbanos cercanos.

En Panamá, un estudio realizado en playas del distrito de Las Tablas, provincia de Los Santos, identificó fragmentos y láminas como los microplásticos más frecuentes, lo cual evidencia que esta problemática se extiende por diferentes puntos del país (Fuentes et al., 2023) Asimismo, en playas del Pacífico y Caribe costarricense se detectó que casi el 70 % de los microplásticos eran de poliestireno, especialmente fragmentos pequeños provenientes de productos de un solo uso (RETEMA, 2019), reforzando la necesidad de estudiar este fenómeno en diversas zonas costeras de Centroamérica.

Los plásticos son materiales sintéticos moldeables y duraderos (Ucha, 2013), ampliamente utilizados por sus beneficios en la conservación de alimentos, el ámbito sanitario y su capacidad de ser reciclados (AIMPLAS, 2018). No obstante, su durabilidad y baja densidad los convierte en una amenaza, ya que pueden persistir y dispersarse fácilmente en el ambiente (Barnes et al., 2009).

Los plásticos se clasifican numéricamente del 1 al 7, información que suele ir impresa en forma de triángulo en los objetos. Según su tamaño, pueden dividirse en megaplásticos (>100 mm), macroplásticos (25–100 mm), mesoplásticos (5–25 mm), microplásticos

(5000–1 μm) y nanoplásticos (<1 μm), lo que aumenta su interacción con la vida marina (Blanco, 2022). Además, se presentan en diferentes formas físicas: fragmentos rígidos, fibras (restos de redes o nylon), fragmentos esponjosos y pellets (Barrera et al., 2023; Observadores del Mar, 2020; Del Valle et al., 2020; Gavilán et al., 2019).

El objetivo del estudio fue evidenciar la magnitud del problema sobre contaminación por plástico en una zona costera en el distrito de Arraiján, clasificar los residuos plásticos encontrados en la playa Bique y resaltar cómo su presencia afecta al ecosistema marino y a la salud de la comunidad adyacente

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se evaluaron muestras de arena por triplicado en playa Bique, un área residencial en Panamá Oeste situada cerca de Veracruz y Arraiján (figura 1). Es una zona pesquera, con una cobertura de manglar a lo largo de la costa. Se eligieron cuatro zonas de muestreo a las cuales se les llamó: costa, intermareal, antropogénica y manglar (figura 2). Sus características se presentan en la tabla 1

Figura 1.

Fotografías de la zona “La playita de Bique”



Figura 2.

Zonas de muestreo.



Tabla 1.

Características de las zonas de muestreo.

Sitio	Sustrato	Descripción
Costa	Arena gruesa	Dividida por un área de arena llena de conchas y una placa rocosa.
Intermareal	Arena gruesa	Área arenosa llena de rocas grandes y restos de conchas pequeñas.
Manglar	Arena fangosa	Área boscosa rodeada de árboles de mangle y poblada por fauna silvestre.
Antropogénica	Arena fina	Área altamente concurrida por la población aledaña y bastante contaminada por plástico.

Recolecta, procesamiento y análisis de las muestras

El muestreo de macrolásticos se realizó mediante un cuadrante de 2 x 2 metros y fotografías tomadas durante la caminata por las cuatro zonas de muestreo en el mes de enero y julio. Los macrolásticos fueron clasificados según la composición de sus características físicas. Para el muestreo de mesoplásticos se utilizó un cuadrante de madera de 0.5 x 0.5 m² y se tomó la capa superficial de la arena dentro del cuadrante (figura 3 a, 3b). Las muestras se tamizaron con una malla de 1 mm y con ayuda de unas pinzas se recolectaron los plásticos de entre 5 y 25 mm para su posterior clasificación (figura 3 c).

Figura 3.

Muestreo de mesoplásticos.



Según la metodología de Vicioso et al., (2020), las muestras para análisis de microplásticos se recolectaron directamente del sedimento con una lata de aluminio a lo largo de un transecto de 0,5 m. Se determinó el peso de cada muestra y se colocaron en bandejas para secarlas en el horno entre 150 °F y 140 °F. Estando secas se tamizaron con una malla de 1 mm. Lo tamizado se pesó nuevamente para obtener el peso final de las muestras.

Clasificación de plásticos

Los macrolásticos fueron clasificados según su composición, los mesoplásticos y microplásticos se clasificaron según las categorías del grupo de investigadores observadores del mar (2020) como fragmentos rígidos, fragmentos laminares, varillas, fibras, pellets y

espumas. Para determinar el tipo de microplásticos se realizó una separación por densidad utilizando una solución saturada de NaCl (121g en 100ml H₂O) (Cruz, 2018), esto permitió separar plásticos menos densos y plásticos difíciles de identificar a simple vista (figura 4).

Figura 4.

Prueba de separación por densidad para microplásticos.



Análisis estadísticos

Se calculó la cantidad total, estadística descriptiva y porcentaje de cada tipo de plástico por zona de muestreo. Para determinar si existen diferencias significativas entre la cantidad de plástico encontrado y las zonas de muestreo se realizó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 60% del plástico alguna vez producido se ha convertido en desecho y una parte significativa va directamente al océano. Entre 86 y 150 millones de toneladas métricas (MMT) de plástico ya se han acumulado en los océanos en forma de macroplásticos, los que a su vez se fragmentan en trozos más pequeños (Tekman et al., 2022).

Macroplásticos

El recorrido por las zonas de muestreo resultó en la observación de mayor cantidad de mega basura en la zona antropogénica, encontrándose desde ropa, botellas, equipos electrónicos, redes, zapatos y restos de cartuchos en la zona de manglar, hasta colchones de espuma y toboganes de juguetes en la zona de costa (figura 5).

Figura 5.

Macroplásticos según su composición.



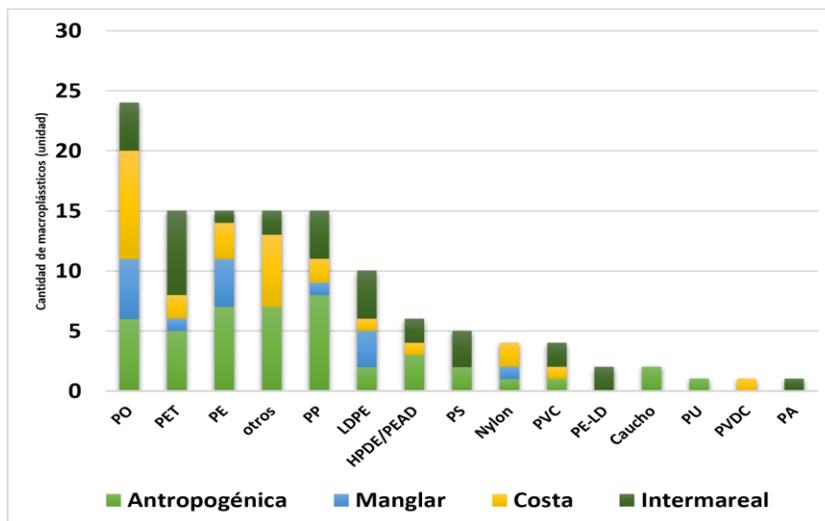
Nota. A) Pantalón de poliéster, B) Botella PET (tereftalato de polietileno) de malta, C) cuerda de polietileno, D) Control de policarbonato, E) empaque de paleta de polipropiileno, F) espuma y G) redes de pescar de nylon.

En la figura 6 se muestra la cantidad de macroplásticos recolectados por zonas de muestreo. El PO fue el plástico encontrado en mayor cantidad (24 ítems), seguido por el PET , PE,

otros y PP con quince ítems (15) y los plásticos de tipo PU, PVDC y PA con un ítem respectivamente (1).

Figura 6.

Tipos de macrolásticos según su composición por zona de muestreo.



Nota. PO= poliéster, PET= Tereftalato de polietileno, PE=polietileno, PP=polipropileno, LDPE=polietileno de baja densidad, HPDE=polietileno de alta densidad, PS=poliestireno, PVC=Policloruro de vinilo, PU=poliuretano, PVDC=cloruro de polivinilideno y PA=poliamida. Otros=policarbonato, fibra de vidrio, plastic mix= mezcla de plástico.

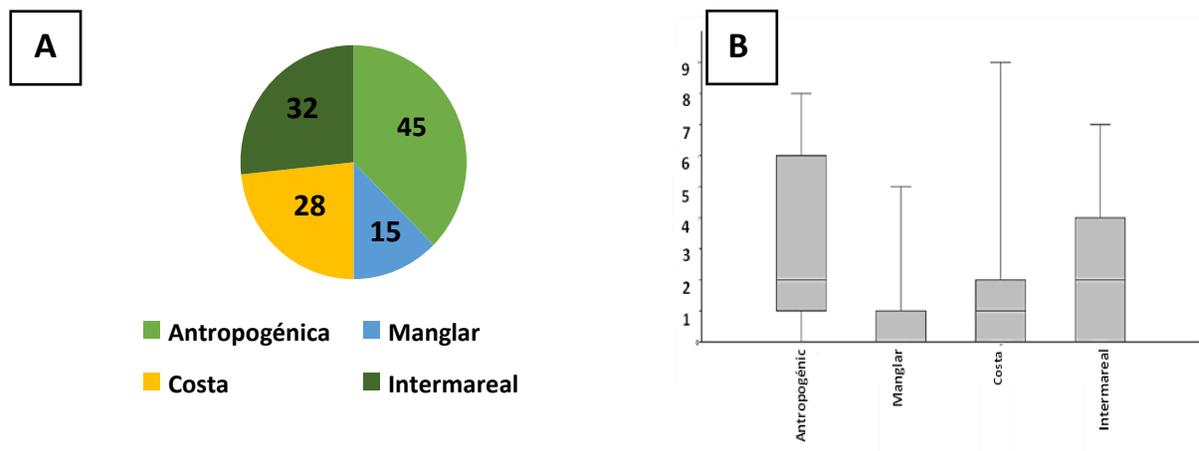
La zona de muestreo con mayor cantidad de macrolásticos fue la antropogénica (45), seguido por la zona intermareal (32), la zona de costa (28) y la zona de manglar (15) (figura 7 A). Según Teckman et al., hasta el 2022 se realizaron 105 estudios sobre megafauna emblemática y enredos e ingesta de macrolásticos, lo que hace importante el estudio de estos plásticos de más de 25 mm por su afectación en los ecosistemas cercanos a nuestras comunidades y la cantidad de residuos que se generan en estas costas y que impactan en nuestra calidad de vida.

Estudios en Ecuador y Mesoamérica coinciden con nuestros resultados al registrar la presencia en mayor cantidad de desechos sólidos como bolsas de plásticos, vasos y platos desechables, vidrios, papel y cartón en zonas de playas (Tekman, 2022 y Pernía et al. 2019). La falta de conciencia ambiental de los pobladores de la zona, el desconocimiento del impacto que genera la mala disposición de los desechos y la necesidad de un mejor sistema de recolección de residuos sólidos son factores que inciden en la gran cantidad de macroplásticos que encontramos en la zona antropogénica.

De acuerdo con los resultados de la prueba Shapiro Wilk los datos no provienen de una distribución normal. El análisis de Kruskal Wallis nos demuestra que no existen diferencias significativas entre las medianas de los tipos de macroplásticos encontrados ($H=6.28$, $p=0.08$) (figura 7 B) por zona. La presencia de los tipos de macroplásticos no está condicionada a la zona de muestreo, por lo que el plástico que es desechado en cualquier punto puede ser encontrado en las otras zonas de la playa.

Figura 7.

Macroplástico. A) Porcentaje total de macroplásticos por zona, B) Prueba estadística Kruskal Wallis para macroplásticos por zona de muestreo

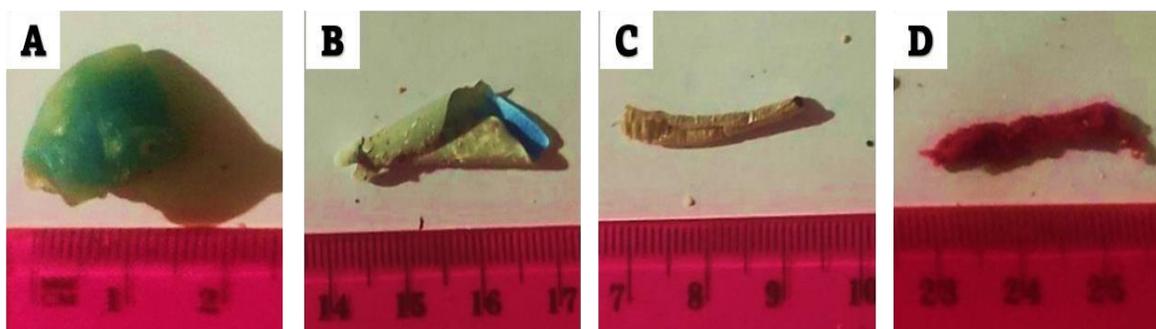


Mesoplásticos

En cuanto a los mesoplásticos (5mm a 25mm) (figura 13), los fragmentos rígidos presentaron mayor cantidad de ítems (15), seguido por los fragmentos laminares (8), varillas (2) y las fibras (1) (figura 8).

Figura 8.

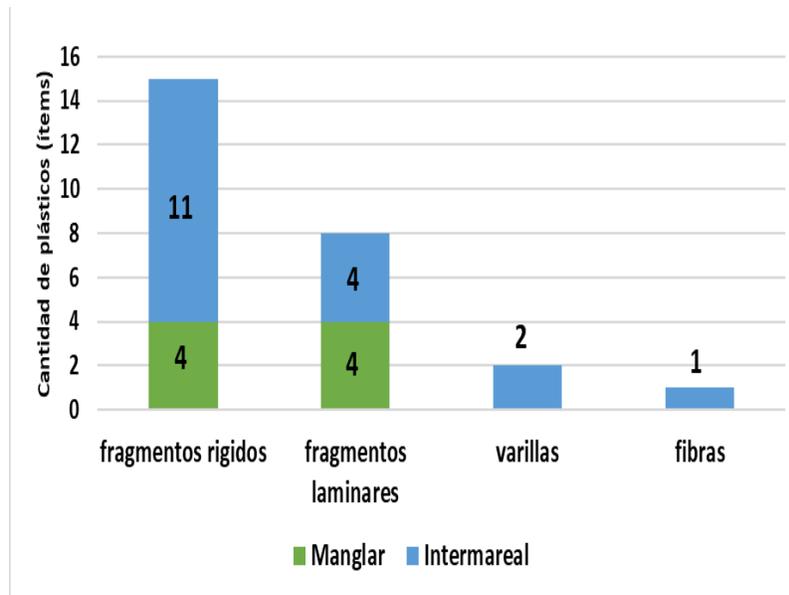
Mesoplásticos: A) fragmento rígido, B) fragmento laminar, C) varillas, D) fibras.



Los resultados indican que la zona intermareal presenta mayor cantidad de mesoplásticos (18), seguido por la zona de manglar (8) (figura 9). Los mesoplásticos pueden variar de diferentes formas, debido a la fragmentación de plásticos más grandes, lo cual es causado por múltiples factores. En comparación a estudios en Bogotá, nuestros resultados coinciden al registrar que la mayor parte de mesoplásticos corresponde a los fragmentos (Porras,2021).

Figura 9.

Clasificación de mesoplásticos según su forma por zona de muestreo.



Microplásticos

Los microplásticos obtenidos en mayor cantidad son los fragmentos rígidos, seguidos por fibras y en menor cantidad los fragmentos esponjosos y el pellet (figura 10 y 11). El sitio de muestreo con mayor cantidad de fragmentos rígidos es el manglar (10 ítems), seguido de la zona antropogénica (7 ítems) e intermareal con la mínima cantidad (1 ítem) (figura 12).

Figura 10.

Microplásticos en muestras de arena de playa Bique. A-L) fragmentos rígidos, M-P) fibras, Q) pellet y R) fragmento esponjoso.

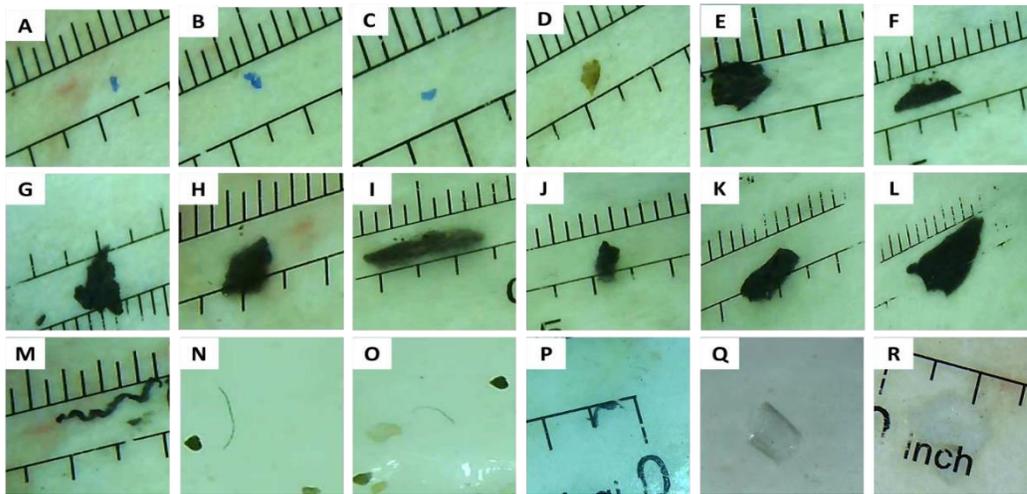


Figura 11.

Porcentaje de microplásticos encontrados en playa Bique, Arraiján

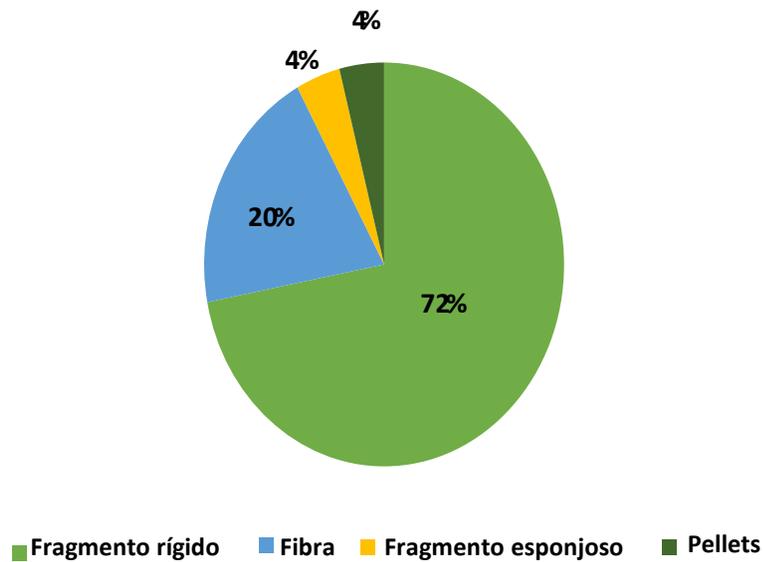
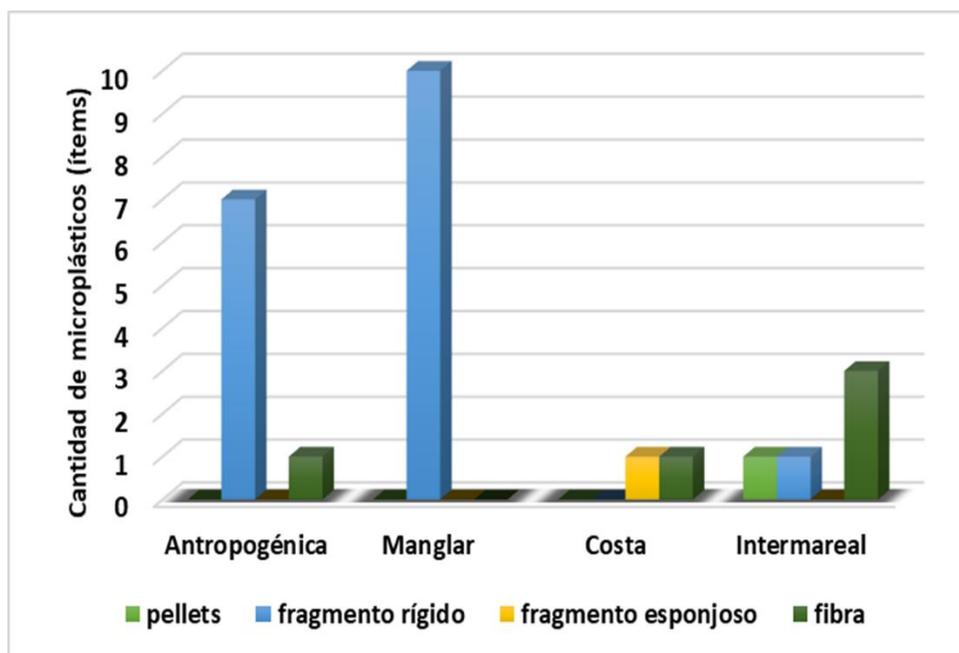


Figura 12.

Tipos de microplásticos encontrados por zona de muestreo.



Resultados de la investigación en las playas de Juan Díaz y San Carlos (Delvalle et al. 2019) nos permiten comparar los datos obtenidos; los fragmentos se encontraron en mayor cantidad tanto en Juan Díaz (44%) como en San Carlos (30%), al igual que en este estudio (72%). Los fragmentos esponjosos o espuma se hallaron en Juan Díaz en un 35%, en San Carlos 23%, y en las muestras de este estudio se encontraron en menor cantidad (4%). En el caso de las fibras, solo hubo presencia en Juan Díaz en un 7% y en este estudio en un 20%. En otras playas ubicadas en Los Santos: El Uverito, El Estero y Las Comadres los más abundante fueron la goma espumosa (42, 1%) seguido de los fragmentos (22,8%) (Barrera et al. 2022). Los microplásticos se forman a partir de la fragmentación de grandes objetos de plástico, como bolsas de plástico, botellas o redes de pesca, acumulándose en nuestras costas playeras.

La distribución y tipo de residuos plásticos encontrados en la playa Bique concuerda con lo reportado en estudios similares realizados en otras regiones costeras de América Latina y el Caribe donde la mayor concentración de macroplásticos se asocia a la actividad humana cercana y al inadecuado manejo de residuos sólidos, Cedano Zavaleta (2023). La prevalencia de materiales como PET y poliéster, utilizados comúnmente en productos de un solo uso y textiles, evidencia patrones de consumo no sostenibles y fallas estructurales en los sistemas de recolección y reciclaje en Panamá. (Alvarado-Zambrano et al., 2024) .

Los resultados del presente estudio mostraron una mayor cantidad de macroplásticos (117 unidades), seguidos por microplásticos (65) y mesoplásticos (26). Los macroplásticos, en su mayoría elaborados con tereftalato de polietileno (PET) y poliéster, se localizaron principalmente en la zona intermareal y en áreas próximas a viviendas, lo cual indica una fuerte influencia de fuentes terrestres y actividades humanas locales. De igual forma, los mesoplásticos predominantemente fragmentos rígidos se concentraron en esas mismas zonas, posiblemente como resultado de la degradación progresiva de objetos plásticos mayores.

Este patrón coincide con estudios realizados en playas del Pacífico panameño, donde se ha documentado la presencia significativa de microplásticos en zonas intermareales y manglares, destacando la necesidad de establecer líneas de monitoreo continuo (Barrera et al., 2023). Asimismo, en tres playas de Las Tablas, se identificó una alta proporción de microplásticos tipo poliestireno, (Fuentes et al., 2023) conocidos por su persistencia y toxicidad, lo que refuerza la preocupación por sus posibles impactos en la salud ambiental y humana.

Comparativamente, en playas del departamento de La Libertad, Perú, se identificaron diferencias significativas en la cantidad y peso de microplásticos entre zonas supralitoral y litoral, con una mayor concentración en áreas cercanas a la actividad humana (Cedano Zavaleta, 2023). Este patrón se repite en la región del Caribe colombiano, específicamente

en el área marina protegida de Cispata, donde la acumulación de microplásticos en playas y manglares ha sido atribuida al transporte de residuos desde zonas urbanas a través de ríos y corrientes marinas (Ordóñez, 2022).

La fragmentación progresiva observada en los residuos de la playa Bique sugiere su permanencia prolongada en el ambiente y una degradación constante que dificulta su recolección por las autoridades pertinentes. Esta característica es típica de materiales plásticos que, al degradarse, forman partículas más pequeñas con alta capacidad de persistencia. Los microplásticos son especialmente preocupantes debido a su potencial de ser ingeridos por organismos marinos, afectando la salud de especies clave, alterando cadenas tróficas y generando riesgos para la salud humana. Su presencia en zonas de manglar podría además interferir con funciones ecológicas esenciales.

Estos hallazgos refuerzan la necesidad urgente de implementar políticas públicas integradas que no solo promuevan la educación ambiental y la reducción en el uso de plásticos, sino también establezcan sistemas eficaces de monitoreo y recolección continua en playas y zonas costeras en la zona de Panamá Oeste.

CONCLUSIÓN

En conclusión, este estudio evidenció una significativa presencia de residuos plásticos en la playa Bique, distrito de Arraiján. 117 macroplásticos, 26 mesoplásticos y 65 microplásticos. Los macroplásticos, principalmente compuestos por poliéster y tereftalato de polietileno (PET), fueron los más frecuentes, asociados al uso cotidiano de productos como botellas, cuerdas, redes y prendas de vestir. Su concentración predominó en la zona intermareal y áreas adyacentes a asentamientos humanos. En cuanto a los mesoplásticos, los fragmentos rígidos fueron los más comunes en la misma zona, mientras que los microplásticos se hallaron en mayor proporción en la zona de manglar.

Estos hallazgos reflejan el avanzado proceso de fragmentación de residuos plásticos mayores, lo que favorece la generación de partículas más pequeñas y persistentes en el ambiente. La identificación y cuantificación de estos residuos representa un paso crucial para entender su distribución espacial, y proporciona una base esencial para implementar estrategias de mitigación mediante la educación ambiental de la comunidad y control de la contaminación plástica en los ecosistemas costeros del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIMPLAS. (2018, julio). “No culpes al plástico”: 7 ventajas del plástico que no conocías. <https://naeco.com/es/actualidad/ventajas-del-plastico-que-noconocias/>
- Alvarado-Zambrano, D., Rivera-Hernández, J. R., & Green-Ruiz, C. (2024). Macroplastic and microparticle pollution in beach sediments from Urias Coastal Lagoon (Northwest Mexico). *Toxics*, 12(6), 439. <https://doi.org/10.3390/toxics12060439>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1985–1998.
- Barrera, C., Fuentes, M., Cedeño, J., Domínguez, E., Cedeño, A., Argüello, B., & Irias, A. (2023). Diagnóstico de la abundancia de microplásticos en tres playas del distrito de Las Tablas, Pacífico panameño, durante agosto y octubre de 2022. *Visión Antataura*, 7(1), 77–91.
- Blanco, J. (2022). Análisis del aporte de microplásticos mediante muestreo combinado de redes de plancton en el río Guadalquivir [Tesis de maestría, Universidad de Cádiz]. https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/27505/TFM_JuanCeballo_RODIN.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Cedano Zavaleta, G. J. (2023). Presencia de microplásticos en seis playas del departamento de La Libertad, 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/38609/4.%20Formato%20AC_Cedano_G.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cruz, A. (2018). Pruebas para extraer microplásticos. Proyecto de microplásticos en ambientes marinos. Demostración de método en video de YouTube. Recuperado el 14 de junio del 2019 en: www.youtube.com/watch?v=N0mdO2GXogU&t=8s



- De Veer, D., Villalobos, V., & Thiel, M. (2022). Informe de resultados: Primer muestreo internacional de macrobasura en playas de arena 2021. Red de Científicos de la Basura, Universidad Católica del Norte. https://cientificosdelabasura.ucn.cl/wp-content/uploads/2023/09/InformeResultados_Macrobasura_Internacional_Julio2022_compressed.pdf
- Delvalle de Borrero, D., Fábrega Duque, J., Olmos, J., et al. (2020). Distribution of plastic debris in the Pacific and Caribbean beaches of Panama. *Air, Soil and Water Research*, 13. <https://doi.org/10.1177/1178622120920268>
- Fuentes, M., Cedeño, J., Domínguez, E., Cedeño, A., Argüello, B., & Irias, A. (2023). Diagnóstico de la abundancia de microplástico en tres playas del distrito de Las Tablas, Pacífico panameño, durante agosto y octubre de 2022. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/225/2254439004/html/>
- Gavilán, S. J., Ortíz, C. Y., Aranda, B. K., & Stive, F. G. (2019). Microplástico en contenido estomacal de la “lisa” *Mugil cephalus*, Lima-Perú. *Revista Científica de Ciencias del Mar*, 5(2), 39–46.
- González-Fernández, D., Cózar, A., Hanke, G., et al. (2021). Macrobasura flotante se filtró desde Europa al océano. *Nature Sustainability*, 4, 474–483. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00722-6>
- Ordóñez, O. G. (2022). Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata, Caribe colombiano. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/revmar/article/view/17753>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador.
- PlasticsEurope. (2015). *Plastics – the facts 2014/2015*. <http://www.plasticseurope.fr/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FolID=2>
- Porras, M. A. (2021). Caracterización de micro y mesoplásticos y su asociación con biopelículas en el Humedal Guali (Funza, Cundinamarca). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/58262>
- Ramón, J. (2015). *Basura marítima* [Tesis de grado, Escuela Técnica Superior de Náutica, Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7431/Jos%E9%20Ram%C3n%20L%F3pez.pdf?sequence=1>



- RETEMA. (2019). Casi el 70% de los microplásticos encontrados en playas del Pacífico y del Caribe son poliestireno. <https://www.retema.es/actualidad/casi-70-microplasticos-encontrados-playas-del-pacifico-del-caribe-son-poliestireno>
- Tekman, M. B., Walther, B. A., Peter, C., Gutow, L., & Bergmann, M. (2022). Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems (pp. 1–221). WWF Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5898684>
- Ucha, F. (2013). Definición de plástico. DefinicionABC. <https://www.definicionabc.com/general/plastico.php>
- Vicioso, M., Agell, G., Puig, C., & Ruiz-Orejón, L. (2020). Categorías de micro y mesoplásticos. Observadores del Mar. <https://www.observadoresdelmar.es/Proyecto/Microplastic-Watchers/8>



Reducción del “período abierto” en vacas lecheras cruzadas mediante la optimización del protocolo Ovsynch: Un análisis comparativo de la inseminación a las 48 y 56 horas

Reducing the open period in crossbred dairy cows by optimizing the Ovsynch protocol: A comparative analysis of insemination at 48 and 56 hours.

Jorge Maure,

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Panamá
jmaure01@yahoo.es <https://orcid.org/0000-0003-0118-6743>

Alberto Gamarra

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Panamá
alberto.gamarra@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0005-1530-3498>

Edwin Pile

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá
edwin.pilem@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-6226-1500>

Recepción: 3 de agosto de 2025

Aprobación: 30 de septiembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7881>

Resumen

La optimización de los protocolos de Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) es clave para la rentabilidad de la ganadería en el trópico. Este estudio comparó el efecto de dos tiempos de IATF (48 vs. 56 horas post-PGF2 α) dentro de un protocolo Ovsynch sobre parámetros reproductivos en vacas lecheras cruzadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*). Se asignaron aleatoriamente 46 vacas lactantes a uno de dos grupos: Ovsynch-48 (n=24) y Ovsynch-56 (n=22). La tasa de preñez no fue significativamente diferente entre el grupo de 48 horas (37.5%) y el de 56 horas (18.2%) ($\chi^2=1.267$, $p=0.260$). Sin embargo, el protocolo Ovsynch-56 redujo significativamente el período abierto total de los animales en comparación con el Ovsynch-48 ($p=0.039$). Adicionalmente, no se encontró un efecto significativo del número de partos o la condición corporal sobre la probabilidad de preñez. Se concluye que, aunque ambos protocolos ofrecen tasas de preñez estadísticamente similares, el de 56 horas presenta una ventaja estratégica al acortar los días abiertos, mejorando así un indicador clave de eficiencia reproductiva.

Palabras clave: tasa de preñez, días abiertos, ganado cruzado, trópico.



Abstract

The optimization of Fixed-Time Artificial Insemination (FTAI) protocols is key for profitability in tropical livestock farming. This study compared the effect of two FTAI timings (48 vs. 56 hours post-PGF2 α) within an Ovsynch protocol on reproductive parameters in crossbred dairy cows (*Bos taurus* x *Bos indicus*). Forty-six lactating cows were randomly assigned to one of two groups: Ovsynch-48 (n=24) and Ovsynch-56 (n=22). The pregnancy rate was not significantly different between the 48-hour group (37.5%) and the 56-hour group (18.2%) ($\chi^2=1.267$, $p=0.260$). However, the Ovsynch-56 protocol significantly reduced the total days open compared to the Ovsynch-48 protocol ($p=0.039$). Additionally, no significant effect of the number of parities or body condition on the probability of pregnancy was found. It is concluded that, while both protocols yield statistically similar pregnancy rates, the 56-hour protocol offers a strategic advantage by shortening the days open, thereby improving a key indicator of reproductive efficiency.

Keywords: pregnancy rate, days open, crossbred cattle, tropics.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia reproductiva es el pilar fundamental de la rentabilidad en las explotaciones de ganado lechero a nivel mundial. En los sistemas de producción del trópico, como los de Panamá, optimizar los parámetros reproductivos representa un desafío constante debido a factores como el estrés calórico, la estacionalidad de los forrajes y las particularidades fisiológicas del ganado cruzado (*Bos taurus* x *Bos indicus*), el cual es predominante en la región. Uno de los indicadores de mayor impacto económico es el intervalo entre partos, que está directamente determinado por la duración del anestro posparto. Períodos de anestro prolongados son el principal factor que afecta negativamente el rendimiento reproductivo y la viabilidad económica de la finca (Baruselli et al., 2004).

Para abordar estos desafíos, se han desarrollado herramientas de manejo reproductivo que permiten superar la dependencia de la detección de celos, cuya corta duración y difícil observación en climas tropicales limitan severamente la eficiencia de la inseminación artificial (Baruselli et al., 2004). Los protocolos de sincronización de la ovulación para la Inseminación Artificial a Tiempo Fijo (IATF) se han consolidado como una estrategia biotecnológica clave, al permitir la aplicación de la IA en grandes hatos manejados de forma



extensiva (Bó & Baruselli, 2014). Estos protocolos hormonales manipulan el ciclo estral para inducir la ovulación en un momento predecible, permitiendo inseminar a un gran número de animales simultáneamente. Entre estos, el protocolo Ovsynch, basado en el uso de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y la prostaglandina F2 α (PGF2 α), es uno de los tratamientos hormonales fundamentales para la IATF, particularmente evaluado en ganado de climas tropicales (Ahuja et al., 2005; Baruselli et al., 2004).

A pesar de la amplia adopción del protocolo Ovsynch, sus resultados pueden ser inconsistentes, influenciados por factores como el estado cíclico del animal al inicio del tratamiento (Baruselli et al., 2004). El éxito del protocolo depende de una sincronización precisa de la ovulación, que ocurre en una ventana de tiempo predecible tras la segunda inyección de GnRH (Mirmahmoudi & Prakash, 2012). Por ello, se investigan continuamente diversas modificaciones para mejorar su eficacia, como la adición de otras hormonas como la eCG o la alteración de las dosis de PGF2 α (Rowe et al., 2019; Say et al., 2016).

Si bien gran parte de la investigación sobre la optimización de protocolos de IATF se ha centrado en razas lecheras especializadas como la Holstein en climas templados (Mendonça et al., 2017; Say et al., 2016), existe una importante brecha de conocimiento sobre la aplicación de estos protocolos en ganado cruzado con influencia *Bos indicus*. Estas poblaciones presentan particularidades fisiológicas y desafíos de manejo distintos, lo que subraya la necesidad de validar estrategias reproductivas específicas para sus condiciones (Bó et al., 2003; Fontes et al., 2020). Por lo tanto, es indispensable ajustar estas tecnologías a las condiciones y al genotipo animal del trópico húmedo para ofrecer recomendaciones técnicas que sean verdaderamente efectivas para los productores locales.

En este contexto, los objetivos de este estudio fueron: 1) evaluar el efecto de dos tiempos de inseminación artificial a tiempo fijo (48 vs. 56 horas) dentro de un protocolo Ovsynch sobre la tasa de preñez en vacas lecheras cruzadas; y 2) analizar la influencia de factores como el protocolo, el número de partos y la condición corporal sobre parámetros reproductivos clave como los días abiertos, bajo las condiciones de producción del trópico húmedo de bajura en Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Estudio y Condiciones Ambientales

Este estudio se condujo entre los meses de septiembre y diciembre de 2021 en fincas lecheras representativas de un sistema de producción de doble propósito. Dichas fincas están situadas en la provincia de Los Santos, Panamá, en los corregimientos de Vallerriquito (7°37'0.12" N, 80°19'0.12" W) y Nuario (7°31'59.88" N, 80°19'59.88" W). La zona se caracteriza por un clima de trópico húmedo de bajura, con valores medios de temperatura anual de 27 °C y de humedad relativa por encima del 80%. Todos los procedimientos aplicados a los animales siguieron estrictamente las normas de bienestar animal vigentes y las prácticas de manejo de la finca.

Animales Experimentales y Manejo

Se seleccionaron 46 vacas lactantes de genotipo cruzado (*Bos taurus* x *Bos indicus*), múltiparas (2 a 8 partos), con más de 60 días posparto y una condición corporal (CC) al inicio del protocolo ≥ 2.5 en una escala de 1 a 5. Se excluyeron del estudio animales con problemas reproductivos evidentes o enfermedades sistémicas. Durante todo el período experimental, las vacas se mantuvieron en pastoreo rotacional con acceso a pastos de la región, suplementación con alimento balanceado comercial durante el ordeño y acceso *ad libitum* a agua y sales minerales.

Diseño Experimental y Protocolos de Sincronización

Las vacas seleccionadas fueron asignadas aleatoriamente a uno de dos grupos de tratamiento para IATF.

- Grupo 1: Ovsynch-48 (n = 24): Se aplicó GnRH el día 0, PGF2 α el día 7, y una segunda dosis de GnRH junto con la IATF a las 48 horas post-PGF2 α .
- Grupo 2: Ovsynch-56 (n = 22): Se aplicó GnRH el día 0, PGF2 α el día 7, y una segunda dosis de GnRH junto con la IATF a las 56 horas post-PGF2 α .

Inseminación Artificial y Diagnóstico de Gestación



Todas las inseminaciones fueron realizadas por un único técnico experimentado. Se utilizó semen congelado-descongelado de toros de probada fertilidad. El diagnóstico de gestación se realizó entre los 30 y 35 días posteriores a la IATF mediante ecografía transrectal.

Variables Evaluadas

- Tasa de Preñez a la IATF (%): Calculada como (vacas gestantes / total de vacas inseminadas) x 100 para cada grupo de tratamiento.
- Período Abierto Total: Días desde el último parto hasta el inicio del protocolo experimental (Día 0).
- Número de Partos: Paridad de la vaca al inicio del estudio.

Análisis Estadístico

El análisis de los datos se realizó utilizando el lenguaje de programación Python con sus librerías científicas. La asociación entre el protocolo de IATF y la tasa de preñez se evaluó mediante la prueba de Chi-cuadrado (χ^2). Para las variables numéricas (período abierto total, número de partos y condición corporal), las comparaciones entre dos grupos se realizaron con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. Se eligió esta prueba debido a su robustez y para no depender del supuesto de distribución normal de los datos, el cual es difícil de verificar con certeza en muestras de tamaño moderado. Se consideró un resultado como estadísticamente significativo si el valor p era inferior a 0.05.

3. Resultados

Análisis Descriptivo

Un total de 46 vacas completaron el estudio, distribuidas en el grupo Ovsynch 48 ($n = 24$) y el grupo Ovsynch 56 ($n = 22$). Las características descriptivas de la muestra en cuanto a paridad, condición corporal y días abiertos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.
Estadísticas descriptivas de las variables numéricas para la muestra total (n=46).

Variable	Media	Desv. Estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Partos	2.33	1.74	1.0	2.0	8.0
Condición Corporal (CC)	2.84	0.27	2.5	2.75	3.5
Días Abiertos Totales	126.41	57.57	60	120	305

Efecto del Protocolo de Sincronización

La tasa de preñez general del experimento fue del 28.3% (13/46). Al desglosar por grupo, el protocolo Ovsynch 48 obtuvo una tasa de preñez del 37.5% (9/24), mientras que el grupo Ovsynch 56 alcanzó un 18.2% (4/22). A pesar de esta diferencia numérica, el análisis estadístico no encontró una asociación significativa entre el protocolo utilizado y el resultado de la preñez ($\chi^2(1) = 1.267, p = 0.260$) (Tabla 2).

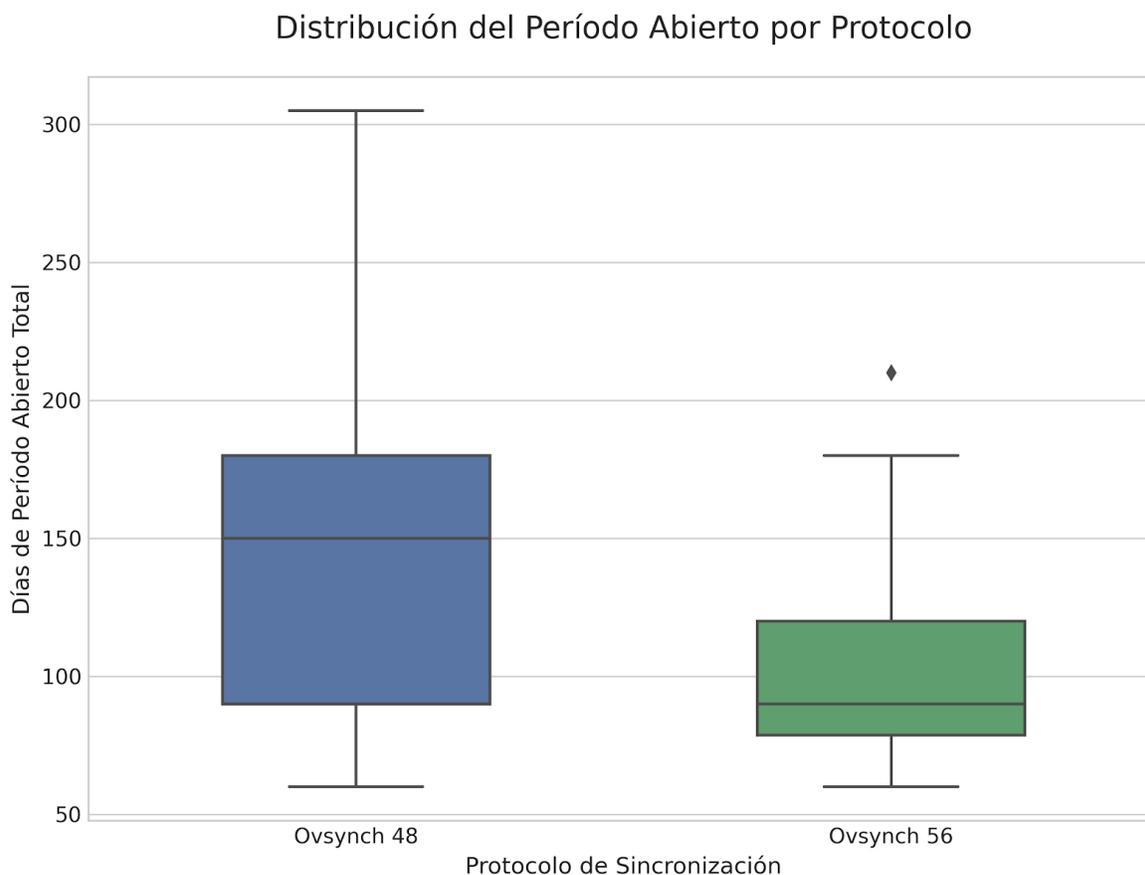
Tabla 2.
Frecuencia de resultados de preñez (Preñada vs. Vacía) por protocolo de IATF.

Protocolo	Preñada	Vacía	Total
Ovsynch 48	9	15	24
Ovsynch 56	4	18	22
Total	13	33	46

Sin embargo, se encontró un efecto significativo del protocolo sobre los días abiertos totales de los animales. El grupo Ovsynch 56 presentó un período abierto significativamente menor (107.05 ± 41.74 días) en comparación con el grupo Ovsynch 48 (144.17 ± 64.85 días) ($p = 0.039$) (Figura 1).

Figura 1.

Distribución de los días abiertos en vacas no gestantes (Vacía)



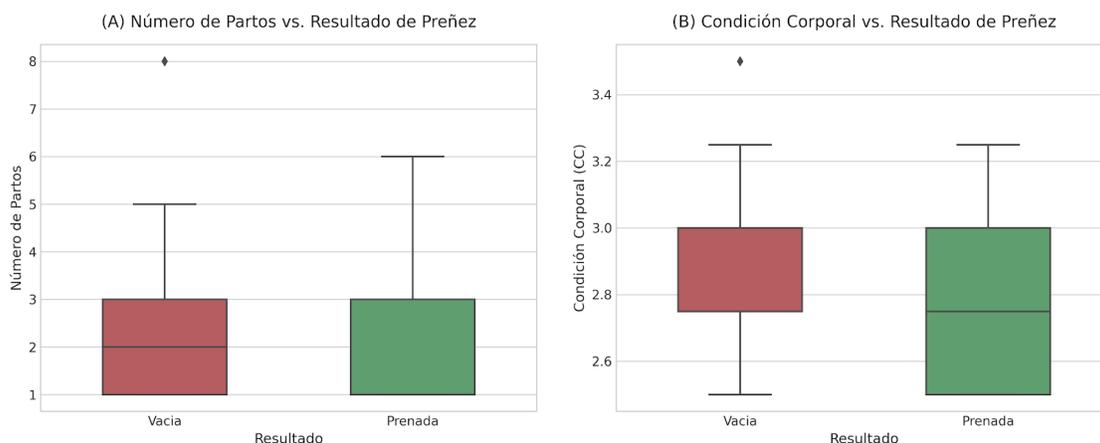
Nota. Según el protocolo de IATF (Ovsynch 48 vs. Ovsynch 56). El diagrama de cajas ilustra la tendencia a una mediana ligeramente inferior de días abiertos en el grupo Ovsynch 56 en comparación con el grupo Ovsynch 48.

Factores Asociados al Resultado de la Preñez

Se evaluó si la paridad o la condición corporal al inicio del tratamiento influyeron en el éxito de la concepción. El análisis no reveló diferencias significativas en el número de partos ($p = 0.990$) ni en la condición corporal ($p = 0.980$) entre las vacas que resultaron preñadas y las que quedaron vacías. Las distribuciones similares de estas variables entre ambos grupos de resultado se pueden observar en la Figura 2.

Figura 2.

Diagramas de caja que comparan el número de partos



Nota- (A) y la condición corporal (B) entre los grupos de resultado de preñez (Preñada vs. Vacía). Ambos diagramas muestran medianas y distribuciones muy similares entre los grupos, lo que refleja la falta de diferencias estadísticamente significativas.

El objetivo de este estudio fue comparar la eficacia de dos protocolos de IATF, Ovsynch 48 y Ovsynch 56, en vacas lecheras de doble propósito en las condiciones del trópico panameño. Los resultados indican que, si bien no hubo una diferencia estadísticamente significativa en las tasas de preñez, emergieron otros hallazgos de relevancia para el manejo reproductivo.

Tasas de Preñez y Comparación de Protocolos

El principal hallazgo de este estudio fue la falta de una diferencia estadísticamente significativa en la tasa de preñez entre el protocolo Ovsynch 48 (37.5%) y el Ovsynch 56 (18.2%) ($p = 0.260$). La tasa de preñez obtenida, particularmente en el grupo Ovsynch 48, es comparable a los resultados reportados en otros estudios con ganado con influencia *Bos indicus* (Williams et al., 2020). La diferencia numérica observada, aunque no significativa, podría atribuirse a la limitada potencia estadística debido al tamaño de la muestra ($n=46$). Estudios con un mayor número de animales serían necesarios para confirmar si la tendencia a una mayor preñez en el grupo Ovsynch 48 es real.



La literatura confirma que los resultados de los protocolos de IATF pueden ser variables. El éxito del tratamiento depende en gran medida del estado fisiológico de los animales al inicio del protocolo, obteniéndose resultados inferiores en vacas en anestro posparto en comparación con vacas cíclicas (Bó et al., 2003). Este es un factor que no fue controlado en este estudio y que pudo haber introducido variabilidad en los resultados.

Influencia en los Días Abiertos: Un Hallazgo Clave

Un resultado particularmente interesante y significativo fue que el protocolo Ovsynch 56 redujo el período abierto total en comparación con el Ovsynch 48 ($p = 0.039$). Este hallazgo sugiere que, aunque no se tradujo en una mayor tasa de preñez en este ensayo, el protocolo más corto podría tener un efecto beneficioso en la fisiología reproductiva de los animales. Una posible explicación es que un protocolo más corto podría inducir una luteólisis más eficaz o mejorar el ambiente uterino post-parto, facilitando que las vacas que no conciben retornen al celo más rápidamente. Reducir los días abiertos es un objetivo económico crucial en la ganadería lechera, y este hallazgo merece una investigación más profunda.

Factores de Paridad y Condición Corporal

En contraposición a numerosos estudios que identifican la paridad y la condición corporal (CC) como factores críticos para el éxito reproductivo, nuestro análisis no encontró una asociación significativa entre estas variables y el resultado de la preñez. Las vacas que quedaron preñadas y las que no, tenían un número de partos ($p = 0.990$) y una CC ($p = 0.980$) muy similares. Esto podría indicar que la población de estudio era relativamente homogénea y se encontraba en un plano nutricional adecuado, donde la CC no fue un factor limitante. La CC media de la muestra fue de 2.84, un valor considerado aceptable para la reproducción en ganado de doble propósito.

Limitaciones y Futuras Direcciones

Se debe reconocer que la principal limitación de este estudio es el tamaño reducido de la muestra, lo que dificulta la generalización de los resultados. Además, al realizarse en fincas comerciales, no se controlaron todas las variables que podrían influir en la reproducción, como el estado cíclico exacto al inicio del protocolo.



Futuras investigaciones deberían replicar este estudio con un mayor número de animales para confirmar los hallazgos, especialmente la tendencia a una mayor preñez con Ovsynch 48 y el efecto significativo de Ovsynch 56 en la reducción de los días abiertos.

CONCLUSIONES

No se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la tasa de preñez entre los protocolos Ovsynch 48 y Ovsynch 56 en las condiciones evaluadas, lo que sugiere que ambos son igualmente efectivos para este fin.

El protocolo Ovsynch 56 demostró ser eficaz para reducir significativamente el período abierto total en comparación con el Ovsynch 48, lo cual representa una ventaja zootécnica y económica importante para el manejo del hato.

El número de partos y la condición corporal de los animales no fueron factores determinantes en el resultado de la preñez en este estudio, indicando una buena homogeneidad y estado nutricional de la muestra.

Se concluye que el protocolo Ovsynch 56 es una alternativa estratégica viable para la IATF en sistemas de doble propósito, especialmente cuando el objetivo es optimizar los tiempos productivos y reducir los días abiertos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahuja, C., Montiel, F., Canseco, R., Silva, E., & Mapes, G. (2005). Pregnancy rate following GnRH+PGF2 α treatment of low body condition, anestrous *Bos taurus* by *Bos indicus* crossbred cows during the summer months in a tropical environment. *Animal Reproduction Science*, 87(3), 203-213.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.12.002>
- Baruselli, P. S., Reis, E. L., Marques, M. O., Nasser, L. F., & Bó, G. A. (2004). The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 479-486.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.025>
- Bó, G. A., & Baruselli, P. S. (2014). Synchronization of ovulation and fixed-time artificial insemination in beef cattle. *Animal*, 8(s1), 144-150.
<https://doi.org/10.1017/S1751731114000822>



- Bó, G. A., Baruselli, P. S., & Martínez, M. F. (2003). Pattern and manipulation of follicular development in *Bos indicus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 78(3), 307-326. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(03\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(03)00097-6)
- Fontes, P. L. P., Oosthuizen, N., & Lamb, G. C. (2020). Reproductive management of beef cattle. In F. W. Bazer, G. C. Lamb, & G. Wu (Eds.), *Animal Agriculture* (pp. 57-73). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00004-5>
- Mendonça, L. G. D., Mantelo, F. M., & Stevenson, J. S. (2017). Fertility of lactating dairy cows treated with gonadotropin-releasing hormone at AI, 5 days after AI, or both, during summer heat stress. *Theriogenology*, 91, 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.032>
- Mirmahmoudi, R., & Prakash, B. S. (2012). The endocrine changes, the timing of ovulation and the efficacy of the Doublesynch protocol in the Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*). *General and Comparative Endocrinology*, 177(1), 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2012.03.004>
- Rowe, S. M., Pryor, L., Tranter, W. P., Hosie, J., & Cavalieri, J. (2019). Effect of equine chorionic gonadotropin on reproductive performance in a dairy herd in Northern Queensland, Australia. *Theriogenology*, 125, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.10.016>
- Say, E., Çoban, S., Nak, Y., Nak, D., Kara, U., White, S., Kasimanickam, V., & Kasimanickam, R. (2016). Fertility of Holstein heifers after two doses of PGF 2α in 5-day CO-Synch progesterone-based synchronization protocol. *Theriogenology*, 86(4), 988-993. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.026>
- Williams, G. L., & Stanko, R. L. (2020). Pregnancy rates to fixed-time AI in *Bos indicus*-influenced beef cows using PGF 2α with (Bee Synch I) or without (Bee Synch II) GnRH at the onset of the 5-day CO-Synch + CIDR protocol. *Theriogenology*, 142, 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.09.047>

**Comunidad de insectos acuáticos en el arroyo La Colorada, Antón, Provincia de Coclé,
Panamá**

Aquatic insect community in La Colorada stream, Anton, Cocle Province, Panama

Marta Higuera Gómez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé, Facultad de Ciencias Naturales
Exactas y Tecnología. Panamá

marta.higuera@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-0275-5936>

Mailine Pitty Vásquez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé, Facultad de Ciencias Naturales
Exactas y Tecnología. Panamá

maypitty15@gmail.com <https://orcid.org/0009-0004-3936-4407>

Estefany Ubarte Jiménez

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Coclé, Facultad de Ciencias Naturales
Exactas y Tecnología. Panamá

estefanyubarte08@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-9680-0915>

Recepción: 15 de septiembre de 2025

Aprobación: 30 de septiembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.8128>

Resumen

Los insectos acuáticos son un grupo importante en los ecosistemas acuáticos. La mayoría son individuos con ciclos de vida largos, abundantes y diversos. Estos desarrollan diferentes roles en la cadena trófica, como procesadores de materia orgánica y alimento de niveles superiores. Se pueden encontrar en diferentes microhábitats acuáticos. Sus diferentes niveles de sensibilidad, periodos de vida y fácil recolección permiten saber si se presentan cambios por alguna alteración en el medio. El objetivo de este trabajo fue Los objetivos de este trabajo fueron identificar la comunidad de insectos acuáticos y determinar si los parámetros fisicoquímicos influyen en los insectos acuáticos asociado a la hojarasca en el arroyo La Colorada en Juan Díaz, Antón, provincia de Coclé, Panamá. Esta investigación se realizó durante los meses de enero a junio del año 2023, estableciendo 6 estaciones a lo largo del arroyo, donde se recolectó una muestra de hojarasca una



vez al mes. También se midieron los parámetros físicos utilizando un multiparámetro, en cada una de las estaciones. Además, se determinó la diversidad de insectos mediante los índices de Margalef y Shannon-Wiener. Se identificó un total de 8979 individuos, distribuidos en 7 órdenes, 21 familias y 33 géneros, destacando como más abundantes los órdenes: Díptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleóptera. Las familias con mayor abundancia fueron Chironomidae, Leptophlebiidae, Caenidae, Ceratopogonidae y Elmidae. Las subfamilias más numerosas fueron: Chironominae, Orthocladinae y Tanytopodinae. Los géneros más representativos fueron: *Farrodes*, *Caenis*, *Probezzia*, *Microcyloepus* y *Phylloicus*. Los índices de Shannon-Wiener reflejaron que el arroyo posee una excelente equidad; además, tiene una buena diversidad relativa obtenida mediante el índice de Margalef. Concluimos que el arroyo La Colorada en Juan Díaz habita una comunidad con buena diversidad de insectos acuáticos asociados a la hojarasca. Además, los parámetros fisicoquímicos si influyen en la comunidad de los insectos acuáticos.

Palabras clave: abundancia, hojarasca, índices de diversidad

Abstract

Aquatic insects are an important group in aquatic ecosystems. Most are abundant and diverse individuals with long life cycles. They play different roles in the food chain, such as processors of organic matter and food from higher levels. They can be found in different aquatic microhabitats. Their varying levels of sensitivity, life spans, and easy collection allow us to identify changes due to environmental disturbances. The objectives of this work were to identify the aquatic insect community and determine whether physicochemical parameters influence aquatic insects associated with leaf litter in La Colorada stream in Juan Díaz, Antón, Coclé province, Panama. This research was conducted from January to June 2023, establishing six stations along the stream, where a leaf litter sample was collected once a month. Physical parameters were also measured using a multiparameter, at each of the stations. In addition, insect diversity was determined using the Margalef and Shannon-Wiener index. A total of 8,979 individuals were identified, distributed across 7 orders, 21 families, and 33 genera, with the most abundant orders being: Díptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleóptera. The families with the greatest abundance were Chironomidae, Leptophlebiidae, Caenidae, Ceratopogonidae y Elmidae. The most abundant



subfamilies were: Chironominae, Orthocladinae y Tanypodinae. The most representative genres were: *Farrodes*, *Caenis*, *Probezzia*, *Microcylloepus* y *Phylloicus*. The index Shannon-Wiener found that the stream has excellent water quality and a good relative diversity, as obtained using the Margalef index. We conclude that La Colorada Stream in Juan Díaz supports a community with a good diversity of aquatic insects associated with leaf litter. Furthermore, physicochemical parameters do influence the aquatic insect community.

Keywords: abundance, leaf litter, diversity index

INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos son importante en el ecosistema acuático, porque presentan sensibilidad a diversos contaminantes, también reaccionan relativamente rápido, además aprovechan todos los hábitats disponibles, son abundantes y relativamente fáciles de recolectar, su taxonomía está bien establecida en la mayoría de los casos. Los macroinvertebrados en su mayoría son estacionarios y característicos de las condiciones locales, porque tienen ciclos de vida largos, que les permite esclarecer cambios temporales ocasionados por alguna perturbación, sus comunidades son diversas, con una alta riqueza taxonómica y distintos grupos funcionales, por lo que ofrecen un amplio espectro de respuestas a diferentes problemáticas (Barba-Álvarez et al., 2013).

Los insectos acuáticos son un componente importante en las comunidades de invertebrados, lo que les permite dominar la abundancia en ríos, arroyos y lagunas tropicales (Jacobsen et al., 2008; Kouamé et al., 2010). Estos organismos se distinguen por tener una gran variedad de adaptaciones al intercambio gaseoso y a la osmorregulación, permitiéndoles emplear una gran cantidad de microhábitats en los ambientes acuáticos (Merritt et al., 2008). Además, desempeñan un papel importante en el procesamiento de la materia orgánica tanto de origen acuático como terrestre, representando una conexión importante entre las fuentes basales de energía y los niveles tróficos superiores como peces y anfibios (Hershey et al., 2010).



El empleo de los insectos acuáticos como instrumento para la caracterización biológica, es importante para mantener un control adecuado y la conservación de los ecosistemas (Roldán Pérez, 1999). Estas comunidades representan un gran valor para los ecosistemas acuáticos, ya que forman un vínculo para llevar energía a otros niveles tróficos, ya sea estando en diferentes fases como adultos, larvas o ninfas que se encargan de degradar la hojarasca, después este material puede llegar a otros organismos filtradores o recolectores, beneficiando así los procesos ecológicos del medio (Springer et al., 2010). Los objetivos de este trabajo fueron identificar la comunidad de insectos acuáticos y determinar si los parámetros fisicoquímicos influyen en los insectos acuáticos asociado a la hojarasca en el arroyo La Colorada en Juan Díaz, Antón, provincia de Coclé, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: esta investigación se realizó en el arroyo La Colorada, localizado en el corregimiento de Juan Díaz, distrito de Antón, provincia de Coclé, en las coordenadas 8°29'29.5" N, 80°17'36.8" W. Durante la temporada seca que presentó un clima ventoso y parcialmente nublado.

Descripción ecológica de las estaciones de muestreo: estas poseen una numerosa vegetación con árboles y arbustos ubicados a ambos lados del arroyo, en uno de estos lados hay una pendiente de terreno. El cauce tiene un sustrato arenoso y rocoso por lo que logra acumular una gran cantidad de hojarasca en la orilla del arroyo La Colorada de Juan Díaz.

Período de Recolecta: Se realizó de enero a junio del 2023. En la cuenca media del arroyo, colocamos seis estaciones con 15 metros de distancia entre cada una; para marcar la ubicación de cada estación, pusimos cinta adhesiva alrededor del tronco de un árbol que estaba en la orilla y los enumeramos del 1 al 6. En cada estación se recolectó una muestra de hojarasca una vez al mes. Las cuales fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético. Las bolsas tienen un volumen de 4,262 cm³, en cada bolsa se colocaron 2, 131 cm³ de hojarascas con una pequeña porción de agua del arroyo y para preservar las muestras se utilizó alcohol al 95%. También se utilizó un medidor



multiparámetros portátil, con el cual se obtuvo los datos fisicoquímicos como: pH, temperatura, sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica, en cada estación.

Transporte, almacenaje e identificación: las muestras de las hojarasca fueron llevadas al Laboratorio de Biología del Centro Regional Universitario de Coclé, de la Universidad de Panamá. En el laboratorio la hojarasca de cada estación se lavó con agua en una bandeja blanca donde separamos manualmente los insectos acuáticos, con ayuda de una pinza y una lupa de cuello largo de luz fluorescente con aumento de 10X. Los especímenes encontrados se colocaron en frascos de vidrio con alcohol al 95%, rotulados con sus datos de colecta (mes, número de estación y lugar de colecta), posteriormente identificamos taxonómicamente los insectos hasta género con la ayuda de un estereoscopio. La identificación se realizó con la ayuda de un estereoscopio Leica y las claves sistemáticas de Flowers y De la Rosa (2010), Gutiérrez-Fonseca (2010), González y Naranjo (2007), Ramírez (2010), Roldán Pérez (1988), Ruiz Moreno et al., (2000a, b), González- Córdoba et al., (2020), Palma (2013), Prat y Rieradevall (2011,2012) y Springer et al., (2010).

Análisis de datos: para estimar la riqueza de especies en las estaciones se utilizaron los índices de Margalef y la estructura de la comunidad con el índice de equidad de Shannon-Wiener, a través del programa Past 4.03 para Windows (Moreno, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recolectaron 8979 individuos distribuidos en siete órdenes, 21 familias y 33 géneros, durante los seis meses de muestreo. En orden decreciente, el más abundante fue Diptera (6529 individuos), con la familia Chironomidae (6093). Continúa Ephemeroptera (1345), con Leptophlebiidae (661) y el género *Farrodes* (614). Sigue Trichoptera (427), con Calamoceratidae y *Philloicus* (190). Después Coleoptera (415), con Elmidae (406) y el género de *Mycrocylloepus* (251). Por último, Odonata (259), con Libellulidae (109) y el género de *Argia* (84), (Tabla 1). Los organismos identificados en este arroyo también se han descrito en otros trabajos realizadas en otros ríos del país, como son los de Higuera Gómez y Gómez Pinzón (2015, 2017, 2018, 2021), Higuera Gómez et al., (2024 a y b).

El orden Díptera fue el más abundante en la investigación. Esto se debe a la gran capacidad de adaptación y a las condiciones que el medio le presenta, localizándose en diversos hábitats (Ruiz Moreno et al., 2000). La familia Chironomidae corresponde a organismos que habitan tanto en aguas lóxicas como lénticas, en una variedad de sustratos y hábitats desde aguas ricas en oxígeno a pobres en oxígeno. Los que habitan estos sitios tienen hemoglobina que les permite almacenarlo (Menjivar Rosa, 2010), (Figura 1).

Continuando con el orden Ephemeroptera, estos efímeros tienden a presentar una buena cantidad de especímenes, lo que puede estar relacionado con los múltiples ciclos de reproducción que realizan por año y su capacidad de colonizar diferentes sustratos, presentando mayor diversidad en ríos de aguas bien oxigenadas, con fondo rocoso. Además, son capaces de sobrevivir en casi todo tipo de cuerpos dulceacuícolas (Mosquera Murillo y Mosquera Mosquera, 2017). La abundancia del género *Farrodes* puede deberse a que suele vivir en ríos o arroyos bien oxigenados entre la vegetación, troncos y hojarasca, además de presentar altos valores de abundancia en zonas de hoja retenida en la corriente (Sajamí Reymundo y Huamantínco Araujo, 2016).

El índice de Margalef indica que el arroyo posee buena riqueza de organismos, porque la mayoría tienen valores arriba de tres. Además, el índice Shannon Wiener revela una buena abundancia de organismos en los meses de recolecta, (Tabla No. 1).

Sobre los parámetros fisicoquímicos registrados en este trabajo, se puede mencionar que el pH se mantuvo en un promedio de 7,4 a 7,9 en todas las estaciones. En aguas neotropicales, los valores varían entre 6,0 y 9,0. Fuera de este rango, la diversidad y abundancia se reducirían a causa del estrés fisiológico (Roldán Pérez y Ramírez, 2008). Por lo tanto, encontramos que el promedio obtenido se mantiene dentro de los valores normales establecidos. Es de vital importancia para la biota que el pH se mantenga, ya que un alto o bajo puede romper el equilibrio de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas (Camaño Gordillo et al., 2022), (Tabla No.2).

La temperatura todas las estaciones se mantuvo en un promedio de 26 °C. Según Roldán Pérez y Ramírez (2008), los valores normales de la temperatura en aguas tropicales varían entre 25°C y 30°C. Por lo cual los datos obtenidos en esta investigación están dentro de los valores normales.



La temperatura en un afluente influye en los hábitos de alimentación, reproducción y tasas de desarrollo, así como la velocidad de reutilización de los nutrientes en un cuerpo de agua (Luciani Alegría, 2022).

Con respecto a la conductividad eléctrica del agua, en los meses de muestreo, se mantuvo en un promedio de 125-140 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según Roldán Pérez (2003), la conductividad en cuerpos de agua dulce varía entre 50-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para este tipo de ecosistema. Resultados por debajo de estos valores indican una baja productividad, y valores por encima indican alta productividad. Según Caicedo y Palacio (2017) y Giraldo et al. (2014) confirman que registrar un aumento de esta variable está estrechamente ligado con la afectación negativa de la calidad del agua por actividades humanas.

Los valores de sólidos totales disueltos (STD), en este trabajo, estuvieron entre 60-65 ppm. Estos datos se mantienen dentro de los valores normales estipulados para los ríos del neotrópico, que presentan rangos entre 10 y 200 ppm (Roldán Pérez y Ramírez, 2008). Elevados valores de STD pueden ser perjudiciales para la biota acuática debido a la salinidad o cambios en la composición del agua. Las principales fuentes de elevadas concentraciones de STD lo constituyen los suelos erosionados, los desechos de la agricultura, de la ganadería, entre otras actividades humanas (Ewaid et al., 2020).

Tabla 1.

Abundancia e índices de diversidad en los meses de recolecta de insectos acuáticos en el arroyo La Colorada, en Juan Díaz de Antón, Coclé, Panamá.

Orden-Familia	Género	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
EPHEMEROPTERA								
Caenidae	<i>Caenis</i>	21	127	168	54	121	90	581
Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	88	154	134	162	70	6	614
	<i>Ulmeritoides</i>	5	3	5	10	19	5	47
Leptohyphidae	<i>Leptohyphes</i>	2	2	1	0	1	0	6
	<i>Tricorythodes</i>	24	26	26	14	7	0	97
ODONATA								
Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	2	0	0	0	0	0	2
Coenagrionidae	<i>Argia</i>	15	18	20	16	10	5	84
Gomphidae	<i>Progomphus</i>	0	1	0	1	1	0	3
Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	4	3	3	2	2	0	14
	<i>Dythemis</i>	10	2	2	5	3	1	23
	<i>Macrothemis</i>	8	17	19	12	16	0	72
Protoneuridae	<i>Neoneura</i>	0	13	9	6	15	2	45
	<i>Protoneura</i>	0	3	0	5	8	0	16
PLECOPTERA								
Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	0	0	0	1	0	0	1
HEMIPTERA								
Belostomatidae	<i>Lethocerus</i>	0	0	0	0	0	2	2
Nepidae	<i>Ranatra</i>	0	0	0	0	0	1	1
COLEOPTERA								
Dytiscidae	<i>Thermonectus</i>	1	0	0	1	1	0	3
Elmidae	<i>Heterelmis</i>	11	7	14	10	32	8	82
	<i>Hexacylloepus</i>	12	9	9	10	30	3	73
	<i>Mycrocylloepus</i>	113	17	35	78	8	0	251
Gyrinidae	<i>Gyretes</i>	2	3	1	0	0	0	6
TRICHOPTERA								
Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	30	20	19	68	43	10	190
Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	4	24	8	19	26	3	84
	<i>Smicridea</i>	1	0	0	6	0	0	7
Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	3	4	4	3	8	0	22
	<i>Nectopsyche</i>	1	2	3	3	7	2	18
	<i>Triplectides</i>	1	2	3	1	1	0	8
Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	0	1	3	8	5	0	17
Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	16	18	17	15	12	0	78
	<i>Polyplectropus</i>	1	0	1	0	1	0	3
DIPTERA								
Ceratopogonidae	<i>Alluaudomyia</i>	0	36	46	31	11	0	124
	<i>Probezzia</i>	5	53	123	71	41	3	296
	<i>Stilobezzia</i>	0	2	0	5	9	0	16
Chironomidae	Chironominae	183	481	594	502	736	279	2775
	Orthocladinae	96	281	379	567	460	239	2022
	Tanytopodinae	98	276	225	354	284	59	1296
Total		757	1605	1871	2040	1988	718	8979
Índice de Margalef		3.92	3.79	3.45	3.80	3.82	2.43	
Índice Shannon-Wiener		2.36	2.18	2.14	2.12	2.01	1.55	

Tabla 2.

Promedio de los parámetros fisicoquímicos tomados por estación, en el arroyo La Colorada en Juan Díaz de Antón, Coclé, Panamá.

Parámetros	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6
Fisicoquímicos						
pH	7.9	7.7	7.7	7.6	7.6	7.4
C°	26°	26°	26°	26°	26°	26°
Conductividad eléctrica (µS/cm)	140	135	125	130	125	130
Sólido totales disueltos (ppm)	65	65	60	60	60	60
No. total de individuo	2068	1742	2770	373	418	1608

Figura 1.

Larva de Chironomidae, orden Diptera.



CONCLUSIÓN

El arroyo La Colorada en Juan Díaz de Antón habita una comunidad con buena diversidad de insectos acuáticos asociados a la hojarasca. Además, los parámetros fisicoquímicos si influyen en la comunidad de los insectos acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Dios por permitirnos llevar a cabo esta investigación y llegar a su culminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barba-Álvarez, R., De la Lanza-Espino, G., Contreras-Ramos, A., y González-Mora, I. (2013). Insectos acuáticos indicadores de calidad del agua en México: casos de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1), 381–383. <https://doi.org/10.7550/rmb.31037>
- Camaño Gordillo, L. D., Álvarez Guale, R., Núñez Franco, R., Terán Alvarado, F., Joza Quiroz, M., Aroca Delhi, K., Founes Merchán, J., Véliz Delgado, A., Garcés Villón, L., Pérez Urresto, C., Garzón Morales, R., Mendieta Villalba, N., García Álava, S., Rojas Párraga, T., Guerrero Maldonado, A., Vásquez Freire, G., Aguilar Pacheco, S., y Velecela, J. (2022). Calidad de agua en el río Daule. 147p. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23913>.
- Caicedo, O., y Palacio, J. (2017). Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada La Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas*, 20(69), 61–73. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.329779>
- Ewaid, S. H., Abed, S. A., Al-Ansari, N. y Salih, R. M. (2020). Development and Evaluation of a Water Quality Index for the Iraqi Rivers. *Hydrology*, 7, 67. doi: <https://doi.org/10.3390/hydrology7030067>
- Flowers, R. W. y De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Biología de Biología Tropical*, 63-93.
- Giraldo, L. P., Chará, J., Zúñiga, M. D. C., Chará-Serna, A. M., y Pedraza, G. (2014). Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 62, 203-219.
- González Córdoba, M., Zúñiga, M. D. C., y Manzo, V. (2020). La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 522-553.
- González Lazo, D. y Naranjo, C. (2007). Clave de identificación para larvas del orden Ephemeroptera presentes en Cuba. *Revista Entomología Argentina*, 66 (1-2), 137- 145.

- Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleóptera en El Salvador. En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas *Tecnociencia*, Vol. 18, N°1 113 (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto UES –OEA. Ed. Universitaria. 64 pp.
- Hershey, A. E., Lamberti, G. A., Chaloner, D. T. & Northington, R. M. (2010). Aquatic insect ecology. En J. H. Thorp y A. P. Covich (Eds.), *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, 3a. Ed. (659–694). Londres: Academic Press
- Higuera Gómez, M. y Gómez R., (2015). Diversidad de insectos acuáticos asociados a hojarasca en la quebrada Capisucia o El Barrigón en la Ciudad del Árbol, Chilibre, Panamá. *Tecnociencia*, 17 (2), 57-73.
- Higuera Gómez, M. y Gómez R. (2017). Comunidad de insectos acuáticos asociada a hojarasca en la isla Maje, lago Bayano, Panamá. *Revista Científica Centros*, 6 (1),31-41.
- Higuera Gómez, M. y Gómez, R. (2018). Comunidad de insectos acuáticos asociados a la hojarasca en el río Vista Mares de Altos de Cerro Azul, provincia de Panamá, Panamá, *Tecnociencia*, 20(1), 35-49.
- Higuera Gómez, M., y Gómez Pinzón, R. (2021). Comunidades de insectos acuáticos en el arroyo de Cabuyita, provincia de Panamá, Panamá. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 8(2), 105-120.
- Higuera Gómez, M., Bernal, A. y Vargas, Y. (2024). Comunidad de insectos acuáticos en Los Uveros, Penonomé, provincia de Coclé, Panamá, *Revista Semilla del Este*, 5(1), 87 -101.
- Higuera Gómez M., Quijada Gutiérrez L, y Moreno Quirós R. (2024). Diversidad de insectos acuáticos en Chiguirí Arriba, Penonomé, Coclé, Panamá, *Revista Científica Guacamaya*, 8(2), 77-87.
- Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J. M. y Dudgeon, D. (2008). Macroinvertebrates. Composition, life histories and production. En D. Dudgeon (Ed.), *Tropical stream ecology* (pp. 66-105). Londres: Academic Press.
- Kouamé, M. K., Diétoa, M. Y., da Costa, S. K., Edia, E. O., Ouattara, A. y Gourène, G. (2010). Aquatic macroinvertebrate assemblages associated with root masses of water hyacinths, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach, 1883 (Commelinales: Pontederiaceae) in Taabo Lake, Ivory Coast. *Journal of Natural History*, 44, 257–278.
- Luciani Alegría, J. A. (2022). Determinación de la relación entre las propiedades fisicoquímicas del agua y macroinvertebrados acuáticos-Santa Carmen.



- Menjívar Rosa, R.A. (2010). Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del Orden Díptera en El Salvador. En: Springer, M. & J.M. Sermeño Chicas (eds). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES)-Organización de los Estados Americanos (OEA). SINAI Editores e Impresores, S.A. de C.V., San Salvador, El Salvador. 50 pp.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. & Berg, M.B. (2008). An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Fourth Edition. Printed in the United States, 1158 pp.
- Moreno, C. (2001). Métodos para Medir la Biodiversidad. CYTED, ORCYT, SEA. México. 80 pp.
- Mosquera Murillo, Z., y Mosquera Mosquera, M. M. (2017). Diversidad de la entomofauna acuática y calidad de agua en quebradas del río San Juan, Chocó-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 20(1), 149-161.
- Palma, A. (2013). Guía para la identificación de invertebrados acuáticos. 1.^a edición. 122 pp.
- Prat, N. y Rieradevall, M. (2011). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos altoandinos de Ecuador y Perú. Clave para la determinación de los géneros. Proyectos de investigación CERA, FUCARA y BIQUORA, con el auspicio de la AECID y el MCYT de España.
- Prat, N. y Rieradevall, M. (2012). Guía para el reconocimiento de las larvas de Chironomidae (Diptera) de los ríos mediterráneos. Clave para la determinación de los principales morfotipos larvarios. Grupo de Investigación F.E.M., Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. 42 pp.
- Ramírez, A. (2010). Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 97-136.
- Roldán Pérez, G. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Colombia, 217 pp.
- Roldán Pérez, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*: vol XXIII, No. 88: 376-387.
- Roldán Pérez, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia, Medellín. 170 pp.
- Roldán Pérez, G. y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical 2^a Edición. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 440 pp.



- Ruiz Moreno, J., Ospina Torres, R., y Riss, W. (2000 a). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. II. Subfamilia Chironominae. *Caldasia*, 22(1): 15-33.
- Ruiz Moreno, J.L., Ospina Torres, R., Gómez Sierra, H. y Riss, W. (2000). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae) de la Sabana de Bogotá. III. Subfamilias Tanypodinae, Podonominae y Diamesinae”. *Caldasia*. 22 (1):34-60.
- Sajamí Reymundo, J. I., y Huamantínco Araujo, A. A. (2016). Distribución espacial de Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Coleoptera (Insecta) en una quebrada de primer orden, bosque montano, Junín, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 23(2), 95-102.
<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v23i2.12377>
- Springer, M., Ramírez, A. y Hanson, P. (2010). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical*, 58(4), 240 pp.

Tecnologías Emergentes y Gestión Ambiental: Inteligencia Artificial y su Rol en la Conservación Frente a la Crisis Ecológica Global

Emerging Technologies and Environmental Management: The Role of Artificial Intelligence in Conservation

Ricardo M. Candanedo Yau

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Panamá Este, Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Panamá

ricardo.candanedo@up.c.pa <https://orcid.org/0009-0002-5017-9830>

Recepción: 2 de septiembre de 2025

Aprobación: 30 de septiembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.8159>

Resumen

Analizar el papel de las tecnologías emergentes, especialmente la inteligencia artificial (IA), en la gestión ambiental y su contribución a la conservación de los ecosistemas y los recursos naturales frente a la crisis ecológica global.

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de investigaciones recientes sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el monitoreo de la biodiversidad, la detección temprana de desastres ambientales y el apoyo a la toma de decisiones en políticas de sostenibilidad. Se incluyeron estudios de caso en diversas regiones para identificar patrones, beneficios y limitaciones de estas herramientas tecnológicas. Las soluciones basadas en inteligencia artificial (IA) permiten optimizar la recopilación y análisis de datos ambientales en tiempo real, mejorar la precisión de los sistemas predictivos y reducir los tiempos de respuesta frente a amenazas ecológicas. Se evidenció un aumento en la eficiencia de los programas de conservación y una mayor capacidad de anticipación ante fenómenos asociados al cambio climático. La incorporación de la inteligencia artificial (IA) en la gestión ambiental constituye un avance significativo hacia modelos de conservación más proactivos y sostenibles. Su implementación requiere marcos éticos y regulatorios que garanticen el uso responsable de los datos y la inclusión de comunidades locales en los procesos de toma de decisiones.



Palabras clave: gestión ambiental, inteligencia artificial, sostenibilidad, tecnologías emergentes, conservación, cambio climático

Abstract

To analyze the role of emerging technologies, particularly artificial intelligence (AI), in environmental management and their contribution to ecosystem and natural resource conservation amid the global ecological crisis. A systematic literature review of recent research on artificial intelligence (AI) applications in biodiversity monitoring, early detection of environmental disasters, and decision-making support for sustainability policies was conducted. Case studies from various regions were included to identify patterns, benefits, and limitations of these technological tools. AI-based solutions optimize real-time environmental data collection and analysis, improve predictive system accuracy, and reduce response times to ecological threats. An increase in conservation program efficiency and improved anticipation of climate change-related phenomena were observed. Integrating artificial intelligence (AI) into environmental management represents a significant step toward proactive and sustainable conservation models. Implementation requires ethical and regulatory frameworks to ensure responsible data use and local community involvement in decision-making processes.

Keywords: environmental management, artificial intelligence, sustainability, emerging technologies, conservation, climate change

INTRODUCCIÓN

La crisis ambiental global representa uno de los desafíos más complejos del siglo XXI. La acelerada degradación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad, el agotamiento de los recursos naturales y el impacto creciente del cambio climático exigen soluciones innovadoras y eficaces para garantizar la sostenibilidad planetaria. En este contexto, la gestión ambiental se configura como un eje estratégico, integrando políticas, prácticas y tecnologías emergentes que permiten prevenir, mitigar y revertir los daños ocasionados por las actividades humanas.

La gestión ambiental en la era digital requiere integrar tecnologías emergentes que permitan abordar los retos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad de manera más eficaz. La inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT), el blockchain y el big data representan innovaciones que han transformado la capacidad de los gobiernos y las organizaciones para anticipar riesgos, optimizar recursos y diseñar políticas sostenibles (UNEP, 2023). Estas herramientas pueden cumplir funciones preventivas, predictivas y correctivas en ámbitos como la gestión de residuos, la conservación de ecosistemas y la reducción de emisiones contaminantes. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), la última década ha evidenciado un aumento sin precedentes en fenómenos climáticos extremos, lo que ha impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas con base científica. En este contexto, comprender el papel de la inteligencia artificial (IA) y otras tecnologías innovadoras se vuelve indispensable para plantear estrategias de sostenibilidad efectivas (Zhu, Wang, & Chen, 2024).

La aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la gestión ambiental es un campo en rápida expansión. Tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) permiten la recolección masiva de datos en tiempo real a través de sensores distribuidos en el entorno, proporcionando información invaluable para la monitorización de la calidad del aire y del agua, el seguimiento de la fauna silvestre y la detección temprana de eventos catastróficos, como los incendios forestales (Castaño & Villalba, 2023). Por ejemplo, los sensores del Internet de las Cosas (IoT) pueden alertar a las autoridades sobre cambios en los niveles de contaminación o la presencia de humo en áreas remotas, lo que facilita una respuesta más rápida y eficiente. Además, la combinación del Internet de las Cosas (IoT) con el blockchain ha mostrado ser prometedora en la trazabilidad de las cadenas de suministro sostenibles y la certificación de productos ecológicos, ya que asegura la integridad y transparencia de los datos (Kaur & Singh, 2023; Li, Wang, & Li, 2023). Además de la inteligencia artificial (IA), el espectro de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en la gestión ambiental incluye sistemas de información geográfica (SIG), plataformas



de ciencia ciudadana y aplicaciones móviles, que permiten la participación directa de la sociedad en la recopilación de datos ambientales y en la toma de decisiones colectivas (Badii, Uden, & Al-Sarray, 2022). Estas herramientas fortalecen la gobernanza ambiental digital, promueven la transparencia en la gestión de recursos y mejoran la interacción entre comunidades, gobiernos y organismos internacionales.

El Big Data, por su parte, complementa a la inteligencia artificial (IA) al manejar los inmensos volúmenes de datos generados por el Internet de las Cosas (IoT) y otras fuentes (Hinojosa & Valdés, 2024). La capacidad de analizar grandes conjuntos de datos geoespaciales y climáticos permite a los investigadores identificar patrones complejos y proyecciones a largo plazo. Por ejemplo, el análisis de datos masivos puede ayudar a modelar el impacto del cambio climático en los ecosistemas y predecir la propagación de enfermedades o la migración de especies (Liu et al., 2022). Esto es fundamental para la planificación de políticas públicas y la toma de decisiones basadas en evidencia.

Entre estas tecnologías, la inteligencia artificial (IA) destaca por su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos, generar modelos predictivos y brindar soporte en la toma de decisiones basadas en evidencia (UNEP, 2023; González & López, 2021). Su aplicación en la monitorización de la biodiversidad, la modelización climática, la detección de patrones de contaminación y la gestión de riesgos ambientales ha demostrado resultados prometedores, reduciendo tiempos de respuesta y aumentando la eficacia de las intervenciones (Liu et al., 2022). Un ejemplo notorio es el uso de algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones de migración de especies o la propagación de enfermedades en ecosistemas (IUCN, 2023). La inteligencia artificial explicable (XAI), además, está emergiendo como un campo clave para asegurar que los modelos sean transparentes y comprensibles, lo que es vital para la confianza en la toma de decisiones ambientales (Arrieta, Díaz-Rodríguez, & Ser, 2022).

No obstante, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos éticos y técnicos, como la privacidad de los datos, la equidad en el acceso y la dependencia tecnológica. A pesar de



su potencial, la integración efectiva de la inteligencia artificial (IA) y otras Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en políticas ambientales aún presenta brechas que limitan su impacto a nivel local y global. La falta de infraestructura digital robusta en países en desarrollo, así como los riesgos de sesgos algorítmicos que podrían discriminar a ciertas comunidades, son temas que requieren una atención urgente (Pérez & Ramírez, 2020). Además, es crucial considerar el propio impacto ambiental de la inteligencia artificial (IA), ya que el entrenamiento de modelos complejos consume grandes cantidades de energía y recursos.

El objetivo de este artículo es analizar el papel de la inteligencia artificial (IA) y otras tecnologías emergentes en la gestión ambiental, resaltando sus aplicaciones, beneficios observados y los desafíos que deben superarse para garantizar su implementación sostenible y responsable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar la literatura científica reciente sobre tecnologías emergentes aplicadas a la gestión ambiental, con un énfasis particular en la inteligencia artificial (IA). La búsqueda se llevó a cabo entre mayo y julio de 2025 en bases de datos científicas de renombre como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Se incluyeron artículos publicados entre 2018 y 2025 en revistas indexadas y con revisión por pares, priorizando aquellos que presentaban evidencia empírica, estudios de caso o revisiones sistemáticas.

Para la inclusión de un estudio, se consideró fundamental que hiciera uso de la inteligencia artificial (IA) para el monitoreo, análisis predictivo o la toma de decisiones en el ámbito ambiental. Además, se requería que el documento presentara evidencia, ya fuera cuantitativa o cualitativa, que demostrara el impacto de esta tecnología en programas de conservación o sostenibilidad (Arrieta et al., 2022). Finalmente, se exigió que la información metodológica



fuera lo suficientemente detallada para que un tercero pudiera evaluar la validez y replicabilidad del estudio.

En cuanto a los criterios de exclusión, se descartaron todas las publicaciones cuyo acceso no fuera completo, así como los contenidos de divulgación que carecieran de un soporte científico riguroso. De igual manera, se excluyeron los estudios que presentaban metodologías no replicables, ya que esto impedía verificar sus resultados de manera independiente.

El proceso de selección se realizó en tres fases: una primera lectura de títulos y resúmenes para una preselección; una segunda fase de revisión completa de los documentos preseleccionados; y, finalmente, la extracción de los datos relevantes. La información obtenida se organizó en tablas de síntesis para facilitar su análisis.

La búsqueda inicial arrojó un total de 108 artículos. De estos, se eliminaron 72 por no cumplir con los criterios de relevancia temática o por estar duplicados. Posteriormente, 23 trabajos fueron descartados por carecer de rigor metodológico o por no centrarse en aplicaciones tecnológicas vinculadas a la gestión ambiental. Finalmente, se seleccionaron 13 documentos que cumplieran con los estándares establecidos para la revisión. Además, se incorporaron fuentes grises de alta relevancia, como informes de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2023), debido a su aporte en la definición de políticas públicas globales.

Tabla 1.
Aplicaciones de Inteligencia Artificial (IA) en la Gestión Ambiental.

Aplicación	Región	Datos de Uso (%)	Impacto en Precisión (%)
Monitoreo de biodiversidad a	Global	78	65
Detección de deforestación b	América Latina	62	58
Predicción de eventos climáticos c	Global	54	61
Gestión de riesgos ambientales d	NA	46	49

Nota: La Inteligencia Artificial (IA) se aplica principalmente en el monitoreo de biodiversidad y en la predicción de eventos climáticos extremos, con impactos significativos en la precisión de los sistemas de alerta temprana.

a Uso de sensores y cámaras trampa para registrar especies.

b Basado en imágenes satelitales para identificar pérdida de cobertura forestal.

c Modelos predictivos de incendios, inundaciones y sequías.

d Datos no disponibles o no aplicables en todos los estudios.

A continuación, en el Tabla 1, se resumen las principales aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en la gestión ambiental, evaluando cada una de ellas en función del porcentaje de datos que utilizan y el impacto que logran en la precisión.

El monitoreo de la biodiversidad es la aplicación que destaca en ambos aspectos, con un 78% de uso de datos y un 65% de impacto en la precisión. Esto demuestra que es un área madura y efectiva, utilizando tecnologías como sensores y cámaras trampa a nivel global para registrar especies. La detección de la deforestación, que se enfoca en América Latina y utiliza imágenes satelitales, le sigue con porcentajes ligeramente inferiores (62% de uso de datos y 58% de impacto), lo que la consolida como una herramienta poderosa. Por su parte, la predicción de eventos climáticos utiliza un 54% de datos, pero logra un 61% de precisión, lo que la hace crucial para los sistemas de alerta temprana ante desastres naturales como inundaciones o sequías (Castaño & Villalba, 2023). Finalmente, la gestión de riesgos ambientales muestra los porcentajes más bajos (46% de uso de datos y 49% de impacto), lo

que, según la nota de la tabla, se debe a la falta de datos disponibles o aplicables en todos los estudios. En resumen, la inteligencia artificial (IA) está demostrando ser una herramienta clave en la gestión ambiental, especialmente en el monitoreo de la biodiversidad y la predicción de eventos climáticos extremos, donde sus aplicaciones tienen un impacto significativo en la precisión de los sistemas de alerta (González & López, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la literatura permitió identificar un crecimiento significativo en el uso de la inteligencia artificial (IA) en la gestión ambiental entre 2018 y 2025. Los estudios revisados destacan el empleo de algoritmos de aprendizaje automático y redes neuronales para optimizar la recopilación y el procesamiento de datos ambientales en tiempo real. Entre las aplicaciones más frecuentes se encuentran el monitoreo de la biodiversidad a través de sensores y cámaras trampa, la detección temprana de deforestación mediante imágenes satelitales, y la predicción de eventos extremos vinculados al cambio climático, como incendios forestales, inundaciones y sequías (Liu et al., 2022; Castaño & Villalba, 2023).

Los resultados muestran que estas herramientas han incrementado la precisión en los modelos de pronóstico y han reducido el tiempo de respuesta de los sistemas de alerta temprana, lo que permite implementar medidas preventivas con mayor anticipación. Además, se observó una tendencia creciente a la integración de plataformas de análisis de Big Data que combinan datos climáticos, geoespaciales y socioeconómicos para apoyar la toma de decisiones en políticas públicas de sostenibilidad (Hinojosa & Valdés, 2024). Este enfoque holístico permite, por ejemplo, identificar la vulnerabilidad de poblaciones frente a desastres naturales o predecir el impacto de nuevas infraestructuras en los ecosistemas locales, facilitando una planificación más informada y estratégica.

Sin embargo, los estudios también señalan limitaciones importantes, como la necesidad de infraestructuras tecnológicas robustas, la disponibilidad de datos de calidad y los desafíos



asociados con la interoperabilidad de sistemas, especialmente en países en desarrollo. Algunos autores también advierten sobre los riesgos de sesgos algorítmicos y la posible exclusión de comunidades locales en los procesos de gestión ambiental, lo que podría afectar la equidad de las soluciones implementadas (Pérez & Ramírez, 2020). Por ello, es fundamental que los algoritmos sean transparentes y auditables para evitar que reproduzcan desigualdades existentes.

Tabla 2.

Beneficios y Limitaciones de la inteligencia artificial (IA), en Gestión Ambiental.

Aspecto	Beneficios (%)	Limitaciones (%)
Precisión en modelos predictivos a	71	29
Reducción de tiempos de respuesta b	65	35
Optimización de recursos c	58	42
Inclusión comunitaria d	40	35
Brecha tecnológica e	52	48

Nota: Sintetiza los principales beneficios y limitaciones de la inteligencia artificial (IA), evidenciando

la necesidad de estrategias que superen la brecha tecnológica y fortalezcan la inclusión comunitaria.

a Incremento de precisión en predicciones de biodiversidad y clima.

b Respuesta más rápida ante eventos ambientales extremos.

c Uso más eficiente de recursos naturales y financieros en programas de conservación.

d Participación de comunidades locales en toma de decisiones; limitada en varios contextos.

e Infraestructura tecnológica insuficiente o desigual; datos incompletos.

La tabla 2 presenta un análisis de los beneficios y limitaciones de la inteligencia artificial (IA) en la gestión ambiental. En general, los datos demuestran que aportan grandes ventajas, especialmente en áreas técnicas. Por ejemplo, en la precisión de los modelos predictivos, los beneficios alcanzan un impresionante 71%, lo que indica que la inteligencia artificial (IA) es muy eficaz para mejorar las predicciones sobre el clima y la biodiversidad. De manera similar, la reducción del tiempo de respuesta ante eventos ambientales extremos también muestra un alto beneficio del 65%. La inteligencia artificial (IA) también contribuye a la



optimización de recursos, con un 58% de beneficios en la gestión más eficiente de programas de conservación.

No obstante, el panorama cambia en los aspectos sociales y de infraestructura. La inclusión comunitaria, por ejemplo, tiene un beneficio más modesto del 40%, lo que sugiere que la participación de las comunidades locales es un área que aún presenta limitaciones significativas. El mayor desafío se encuentra en la brecha tecnológica, donde los beneficios (52%) apenas superan las limitaciones (48%). Esto subraya que la falta de infraestructura y datos incompletos son obstáculos importantes para la implementación sostenible de la inteligencia artificial (IA). En resumen, si bien la inteligencia artificial (IA) ofrece avances considerables, es crucial abordar estos desafíos —particularmente la brecha tecnológica y la inclusión de las comunidades— para maximizar su potencial en el cuidado del medio ambiente.

Tabla 3.

Ejemplos internacionales de aplicación de inteligencia artificial (IA) en gestión ambiental.

Caso	Tecnología utilizada	Aplicación	Región	Fuente
SMART para conservación de fauna a	IA + sensores remotos	Monitoreo de elefantes y rinocerontes	África	IUCN (2023)
Google Earth Engine b	Algoritmos de aprendizaje automático	Detección de deforestación en la Amazonía	América del Sur	González & López (2021)
Modelos predictivos de huracanes c	Redes neuronales profundas	Predicción de trayectorias de ciclones	Caribe	Liu, Chen, & Zhang (2022)
Agricultura inteligente d	IoT + blockchain	Optimización del uso de agua y trazabilidad de cultivos	Asia	Kaur & Singh (2023); Li, Wang, & Li (2023)

Nota: Elaboración propia a partir de las fuentes consultadas. Se incluyen experiencias representativas de uso de inteligencia artificial y tecnologías emergentes en diferentes regiones, con impacto en conservación de biodiversidad, gestión de riesgos y sostenibilidad agrícola.

- a: Iniciativa liderada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).
- b: Plataforma global de Google utilizada para monitoreo satelital.
- c: Aplicación orientada a gestión de riesgos climáticos en el Caribe.
- d: Casos de uso en agricultura de precisión y cadenas de suministro sostenibles en Asia.

La tabla 3 resume experiencias internacionales en las que la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías emergentes se han aplicado a la gestión ambiental. Estas iniciativas abarcan distintos niveles de intervención. En África, por ejemplo, la inteligencia artificial (IA) se ha utilizado para la conservación de la biodiversidad mediante el monitoreo de especies amenazadas (IUCN, 2023). En la Amazonía, ha servido para la gestión forestal, facilitando la detección temprana de la deforestación (González & López, 2021).

En el Caribe, se han utilizado modelos predictivos basados en redes neuronales profundas para anticipar trayectorias de huracanes y reducir el impacto en comunidades vulnerables (Liu, Chen, & Zhang, 2022). Finalmente, en Asia, la integración del Internet de las Cosas (IoT) y blockchain en la agricultura inteligente ha permitido optimizar el uso del agua y garantizar la trazabilidad de cultivos, contribuyendo a la sostenibilidad productiva (Kaur & Singh, 2023; Li, Wang, & Li, 2023). Estos casos evidencian que la inteligencia artificial (IA) ambiental no es solo una herramienta técnica, sino un recurso estratégico que fortalece las políticas públicas y la toma de decisiones en distintos contextos regionales, lo que la convierte en un pilar fundamental para la gestión ambiental global.

La revisión bibliográfica demuestra que las tecnologías emergentes no solo cumplen un papel central en la gestión ambiental, sino que también abren un abanico de oportunidades para el emprendimiento y el desarrollo de nuevos modelos de negocio sostenibles. La inteligencia artificial (IA), el blockchain, el Internet de las Cosas (IoT), la computación en la nube y la automatización robótica de procesos (RPA) se erigen como los pilares de una transformación digital orientada a la sostenibilidad. Juntas, estas herramientas permiten optimizar procesos, reducir el uso de recursos y anticipar riesgos ambientales (Zhu et al., 2024).



El análisis de la literatura pone de manifiesto que estas herramientas pueden integrarse de forma innovadora en proyectos de emprendimiento tecnológico que fomenten la economía verde. Por ejemplo, el Internet de las Cosas (IoT) y la microsensibilización permiten el monitoreo en tiempo real de cultivos y recursos hídricos, lo que impulsa la agricultura de precisión (Kaur & Singh, 2023). El blockchain puede garantizar la trazabilidad de cadenas de suministro sostenibles y fortalecer la transparencia en mercados de carbono (Li et al., 2023). Además, tecnologías como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) ofrecen nuevas posibilidades para la educación ambiental y la capacitación inmersiva, permitiendo a comunidades y empresas visualizar el impacto de sus decisiones sobre los ecosistemas.

La incorporación de la ciberseguridad y la computación en la nube resulta esencial para proteger los datos ambientales y garantizar la integridad de las plataformas tecnológicas. Esto asegura que los sistemas de alerta temprana y los modelos predictivos funcionen de manera confiable. Por su parte, la analítica aumentada y el Big Data permiten identificar patrones de comportamiento ambiental y optimizar las decisiones estratégicas en proyectos de conservación. Desde la perspectiva del emprendimiento, estas tecnologías facilitan la creación de agencias digitales de consultoría ambiental, marketplaces sostenibles, plataformas de comercio electrónico con enfoque ecológico y servicios de consultoría para pequeñas y medianas empresas interesadas en soluciones verdes. El proceso de innovación ágil, que combina la exploración de ideas, la creación de prototipos y la validación, permite reducir la incertidumbre y acelerar la adopción de estas tecnologías en el mercado.


Tabla 4.
Tecnologías Emergentes Complementarias en Conservación. Fuente:

Tecnología	Función Principal	Ejemplos de Uso	Nivel de Integración (%)
IoT y microsensores a	Monitoreo en tiempo real	Agricultura de precisión	68
Blockchain b	Trazabilidad	Mercados de carbono	42
RA/RV c	Educación y capacitación	Visualización de impacto ambiental	35
Computación en la nube	Almacenamiento y análisis de datos	Plataformas de Big Data	74
RPA d	Automatización de procesos	Gestión de alertas tempranas	25

Nota: muestra cómo otras tecnologías emergentes complementan la inteligencia artificial (IA), mejorando la eficiencia de los programas de conservación y la educación ambiental

a Sensores en cultivos, cuerpos de agua y ecosistemas naturales.

b Registro de cadenas de suministro sostenibles y certificados ambientales.

c Realidad aumentada y virtual para capacitación comunitaria y empresarial.

d Automatización Robótica de Procesos (RPA); datos de adopción incompletos.

El Tabla 4 ilustra cómo diversas tecnologías se unen a la inteligencia artificial (IA) para potenciar la gestión ambiental. En la tabla se presentan cinco tecnologías, cada una con su función principal, ejemplos de uso y el nivel de integración alcanzado entre 2018 y 2025. La computación en la nube muestra el mayor nivel de integración (74%), lo cual es lógico, ya que su capacidad para el almacenamiento y análisis de datos es fundamental para el manejo de plataformas de Big Data en el sector ambiental. Justo detrás, el Internet de las Cosas (IoT) y los microsensores (68%) permiten el monitoreo en tiempo real de ecosistemas, cultivos y cuerpos de agua, siendo esenciales para la agricultura de precisión.

Por otro lado, el blockchain (42%) cumple un papel crucial en la trazabilidad y la transparencia, especialmente en mercados como el de los bonos de carbono. Las tecnologías de realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), aunque con un nivel de integración más bajo (35%), tienen un gran potencial para la educación y la capacitación inmersiva.



Finalmente, la Automatización Robótica de Procesos (RPA) presenta el menor nivel de integración (25%), aunque es útil para automatizar tareas repetitivas en la gestión de alertas tempranas. En conjunto, la tabla evidencia cómo tecnologías como la nube y el Internet de las Cosas (IoT) son el motor que impulsa la recopilación y el análisis de datos, complementando de forma integral el trabajo de la inteligencia artificial (IA).

Un estudio reciente de Verdecchia et al. (2023) revisa sistemáticamente la literatura sobre *Green AI* y señala que, aunque los avances son prometedores en cuanto a eficiencia energética y reducción de emisiones, persisten importantes desafíos en la transparencia de los modelos, la evaluación del ciclo de vida y los costos ambientales vinculados al uso de los datos y la infraestructura tecnológica. A pesar de estos avances, la literatura advierte sobre retos críticos que requieren atención. Se necesitan marcos regulatorios que promuevan la ética en el uso de algoritmos y estrategias para reducir la brecha digital en países en desarrollo, así como la capacitación de nuevos emprendedores para que puedan aprovechar estas herramientas de forma efectiva. Un aspecto crítico es la propia huella de carbono de la inteligencia artificial (IA), ya que los centros de datos que la sustentan consumen grandes cantidades de energía, lo que paradójicamente puede contribuir al mismo problema climático que intenta resolver.

Un aspecto que merece especial atención es el papel de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como habilitadoras de la gestión ambiental colaborativa. Por ejemplo, las plataformas digitales de ciencia ciudadana han demostrado ser efectivas para ampliar la cobertura del monitoreo ambiental al involucrar voluntarios en la recolección de datos mediante aplicaciones móviles y sensores de bajo costo. Asimismo, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) integrados con big data permite elaborar mapas dinámicos de vulnerabilidad ecológica, que sirven de base para planificar políticas públicas resilientes (Badii et al., 2022). De esta manera, las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) no solo complementan a la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (IoT),



sino que crean un ecosistema digital participativo y descentralizado, fundamental para la sostenibilidad ambiental global.

Además, la brecha tecnológica entre países desarrollados y en vías de desarrollo plantea el riesgo de una dependencia asimétrica, donde las naciones con menor infraestructura digital quedan rezagadas en la toma de decisiones ambientales globales (González & López, 2021). Otro desafío ético reside en la concentración de datos ambientales en corporaciones privadas, lo que podría limitar el acceso abierto a información vital para la formulación de políticas públicas inclusivas (Pérez & Ramírez, 2020). En este sentido, se vuelve indispensable promover modelos de inteligencia artificial explicable (XAI) y mecanismos de gobernanza internacional de datos que garanticen la equidad y la transparencia en la gestión ambiental. La integración de tecnologías emergentes, modelos de negocio innovadores y prácticas de sostenibilidad crea un ecosistema propicio para impulsar la economía digital y la conservación ambiental de manera simultánea, pero solo si se abordan de forma proactiva estos desafíos.

CONCLUSIONES

El presente estudio permite concluir que la inteligencia artificial (IA) representa un avance significativo en la gestión ambiental, al proporcionar soluciones innovadoras que potencian la capacidad de monitoreo, análisis y respuesta frente a los retos que enfrenta el medio ambiente. Las aplicaciones revisadas evidencian beneficios concretos en la detección temprana de amenazas, la optimización de recursos y la formulación de políticas públicas basadas en datos, lo que contribuye de manera directa al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UNEP, 2023).

Este estudio presenta limitaciones vinculadas al alcance de la literatura analizada. La revisión se centró en artículos publicados principalmente en inglés y español, lo que pudo dejar fuera investigaciones relevantes en otros idiomas. Además, algunos estudios técnicos desarrollados por gobiernos y empresas privadas no estuvieron disponibles por restricciones de acceso, lo

que limita la exhaustividad de la revisión. Finalmente, los casos incluidos presentan diferencias metodológicas que dificultan la comparación directa entre ellos.

El análisis realizado permite concluir que la convergencia entre tecnologías emergentes y gestión ambiental representa una oportunidad estratégica para promover el desarrollo sostenible y la innovación empresarial. Herramientas como la inteligencia artificial (IA) y la computación en la nube no solo optimizan los procesos de monitoreo y análisis ambiental, sino que también ofrecen nuevas posibilidades de emprendimiento, desde agencias de comercio electrónico hasta plataformas de consultoría digital para pymes.

Estas tecnologías, cuando se implementan con un enfoque ético y participativo, contribuyen a mejorar la trazabilidad de las cadenas de valor, reducir emisiones, optimizar recursos y crear productos y servicios orientados a la sostenibilidad. Sin embargo, para que su impacto sea global y equitativo, es necesario fortalecer la educación tecnológica, cerrar la brecha digital y garantizar que las soluciones lleguen también a comunidades vulnerables (UNEP, 2023).

En definitiva, el aprovechamiento de estas tecnologías no debe limitarse al ámbito corporativo, sino extenderse como una herramienta de inclusión y resiliencia ambiental. Esto permitirá que la innovación tecnológica se convierta en un motor para la conservación de los ecosistemas, la generación de empleo y la construcción de sociedades más sostenibles e inteligentes. Sin embargo, su implementación a gran escala requiere superar limitaciones técnicas y socioeconómicas, así como establecer marcos éticos y regulatorios que promuevan el uso responsable y equitativo de estas herramientas. Es fundamental que los desarrollos tecnológicos se articulen con procesos de participación comunitaria y enfoques de justicia ambiental, de modo que los beneficios de la inteligencia artificial (IA) se distribuyan de manera inclusiva y contribuyan a la preservación de los ecosistemas a largo plazo (Pérez & Ramírez, 2020).

Se recomienda a los gobiernos diseñar marcos regulatorios que garanticen un uso ético y transparente de la inteligencia artificial (IA) en la gestión ambiental. Para el sector privado, resulta prioritario impulsar incubadoras tecnológicas que fomenten emprendimientos verdes basados en inteligencia artificial (IA), blockchain e Internet de las Cosas (IoT). Asimismo, en el ámbito académico y comunitario, se plantea la necesidad de fortalecer programas de educación y capacitación que integren estas tecnologías en la gestión sostenible, con el fin de democratizar su acceso y reducir las brechas digitales entre regiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., & Ser, J. D. (2022). Explainable artificial intelligence (XAI) in environmental monitoring: A systematic review. *Environmental Modelling & Software*, 155(1), 105437. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105437>. (Accedido el 5 de julio de 2025).
- Badii, A., Uden, L., & Al-Sarray, H. (2022). Smart ICT for sustainable environmental management: A systematic review. *Sustainability*, 14(16), 10123. <https://doi.org/10.3390/su141610123>. (Accedido el 11 de mayo de 2025).
- Castaño, J. F., & Villalba, P. (2023). Aplicaciones de aprendizaje automático para la detección temprana de incendios forestales. *Revista Iberoamericana de Tecnología Ambiental*, 19(2), 45–60. <https://doi.org/10.31095/rita.v19i2.1123>. (Accedido el 2 de junio de 2025).
- González, R., & López, M. (2021). Inteligencia artificial y cambio climático: Oportunidades y desafíos para la gestión de riesgos. *Revista Latinoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 16(3), 67–84. <https://doi.org/10.1590/rlcts.2021.16307>. (Accedido el 7 de julio de 2025).
- Hinojosa, C., & Valdés, P. (2024). Big data y sostenibilidad: integración de datos geoespaciales para políticas públicas. *Journal of Environmental Policy Studies*, 28(1), 23–39. <https://doi.org/10.1080/14693062.2024.1783491>. (Accedido el 1 de mayo de 2025).
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2023). *Artificial intelligence for biodiversity conservation: Opportunities and risks*. IUCN Publications. <https://www.iucn.org/ai-biodiversity>. (Accedido el 8 de junio de 2025).



- Kaur, J., & Singh, R. (2023). IoT and blockchain for smart agriculture: A review of recent applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 205, 107624. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107624>. (Accedido el 3 de julio de 2025).
- Li, J., Wang, S., & Li, Z. (2023). Blockchain-based traceability for sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135432. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135432>. (Accedido el 6 de mayo de 2025).
- Liu, Y., Chen, X., & Zhang, W. (2022). Machine learning models for climate change prediction: A review. *Ecological Informatics*, 70, 101720. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101720>. (Accedido el 4 de junio de 2025).
- Pérez, L., & Ramírez, D. (2020). Ética de los algoritmos en la gestión ambiental. *Revista Colombiana de Ética y Tecnología*, 12(1), 91–104. <https://doi.org/10.18270/rcet.v12i1.3856>. (Accedido el 15 de julio de 2025).
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). *Harnessing artificial intelligence for sustainable development*. UNEP Report. <https://www.unep.org/ai-sustainable>. (Accedido el 10 de mayo de 2025).
- Verdecchia, A., et al. (2023). *A systematic review of Green AI*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 2023. <https://doi.org/10.1002/widm.1507>. (Accedido el 9 de junio de 2025).
- Zhu, X., Wang, Q., & Chen, H. (2024). The role of emerging technologies in the green transformation of industries: A systematic review. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122695. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.122695>. (Accedido el 1 de julio de 2025).



Identificación de fragmentación boscosa en la Microcuenca del Río Cacao mediante drones DJI FLY.

Identification of forest fragmentation in the Cacao River Micro catchment using DJI FLY
drones

Félix Camarena

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

felix.camarena@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Hillary N. Igualada R.

Ministerio de Ambiente. Panamá

higualada@miambiente.gob.pa <https://orcid.org/0009-0007-8416-123X>

Rigoberto Cruz Torres

Universidad Tecnología de Panamá. Panamá.

rigoberto.cruz@utp.ac.pa <https://orcid.org/0009-0002-1018-2963>

Diego A. Arrocha

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

diego07.arrocha21@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5529-1798>

Recepción: 21 de mayo de 2025

Aprobación: 28 de julio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7322>

Resumen

La microcuenca del río Cacao, en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), enfrenta una grave fragmentación de su cobertura boscosa debido a la deforestación ilegal con motosierra, fenómeno que ha reducido los bosques primarios a pequeños fragmentos y amenaza la biodiversidad local. Esta situación se agrava por la expansión agropecuaria desde la década de 1960, lo que ha dejado solo un 9.7% de la vegetación original en cuencas vecinas. Para identificar y cuantificar la fragmentación boscosa, utilizando drones equipados con cámaras de alta resolución. Se planificaron vuelos a 120 metros de altura sobre áreas previamente identificadas como deforestadas, capturando imágenes aéreas con un solape del 70-80%. Estas imágenes fueron



corregidas, georreferenciadas y analizadas mediante software QGIS y Google Earth para delimitar y medir los fragmentos de bosque. Los resultados muestran una fragmentación significativa en la microcuenca, con claros visibles y pérdida de continuidad en la cobertura vegetal. Se identificaron patrones altitudinales: pastizales en zonas bajas, erosión severa en sectores medios y fragmentos de bosques secundarios en áreas altas. El inventario florístico reveló más de 200 especies arbóreas nativas en los remanentes. Las implicaciones ambientales son críticas: la fragmentación reduce la conectividad ecológica, afecta la biodiversidad endémica y compromete servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la estabilidad del suelo. El uso de drones facilita el monitoreo y la planificación de estrategias de restauración y conservación en paisajes tropicales fragmentados.

Palabras clave: biodiversidad local, deforestación, fragmentación boscosa, monitoreo ambiental, servicios ecosistémicos

Abstract

The Cacao River micro-watershed, located in sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), is facing severe fragmentation of its forest cover due to illegal chainsaw deforestation, a phenomenon that has reduced primary forests to small fragments and threatens local biodiversity. This situation has worsened due to agricultural expansion since the 1960s, leaving only 9,7 % of the original vegetation in neighboring watersheds. To identify and quantify forest fragmentation, was employed a dron equipped with high-resolution camera. Flights were planned at 120 meters altitude over previously identified deforested areas, capturing aerial images with 70-80 % overlap. These images were corrected, georeferenced, and analyzed using QGIS and Google Earth software to delineate and measure forest fragments. The results show significant fragmentation in the micro-watershed, with visible clearings and loss of continuity in vegetation cover. Altitudinal patterns were identified: grasslands in low areas, severe erosion in mid sectors, and secondary forest fragments in high areas. The floristic inventory revealed over 200 native tree species in the remnants. Environmental implications are critical: fragmentation reduces ecological



connectivity, affects endemic biodiversity, and compromises ecosystem services such as water regulation and soil stability. The use of drones facilitates monitoring and the planning of restoration and conservation strategies in fragmented tropical landscapes.

Keywords: environmental monitoring, ecosystem services, forest fragmentation, deforestation, local biodiversity,

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Cacao, en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, Los Santos (Panamá), enfrenta una creciente problemática ambiental debido a la deforestación ilegal con motosierra, que ha fragmentado significativamente su cobertura boscosa. Entre 2022 y 2023, Panamá perdió aproximadamente el 4 % de su cobertura forestal, con impactos severos en regiones como Veraguas, Darién, Coclé y Los Santos, donde se han detectado al menos 7 hectáreas deforestadas en áreas protegidas denominada, Reserva Hidrológica de la Microcuenca del Río Cacao, hábitat crucial para especies emblemáticas como guacamayas y venados (Proyecto PROBÍO, 2023). La expansión de la ganadería extensiva y la agricultura comercial ha sido un motor clave en la transformación de los paisajes tropicales de América Latina, incluyendo regiones como la península de Azuero en Panamá. Este proceso ha llevado a una significativa pérdida de cobertura forestal y a la degradación de los ecosistemas (Heckadon-Moreno, 2009; Pacheco et al., 2011).

El estudio de la fragmentación boscosa en esta microcuenca se fundamenta en la ecología de paisaje, que analiza cómo la tala selectiva con motosierra altera la conectividad ecológica y reduce la biodiversidad local. Para documentar y cuantificar estos cambios, se han empleado tecnologías avanzadas como drones DJI FLY AIR 3, equipados con cámaras de alta resolución, que permiten obtener imágenes aéreas detalladas y libres de nubosidad, facilitando la identificación precisa de áreas deforestadas y la extracción individual de árboles (DJI, 2023). Estas herramientas complementan imágenes satelitales y estudios de campo, evidenciando patrones altitudinales de degradación: en las zonas bajas, la conversión de bosques en pastizales para la ganadería extensiva es común. Las áreas medias,



especialmente en terrenos inclinados, son propensas a la erosión del suelo debido a prácticas agrícolas inadecuadas. En las elevaciones más altas, los bosques secundarios fragmentados coexisten con la agricultura de subsistencia (IPCC, 2019).

La aplicación de drones ha sido fundamental para el inventario florístico realizado por el Proyecto PROBÍO, que ha identificado más de 200 especies arbóreas nativas en los fragmentos remanentes y ha establecido indicadores de regeneración basados en la presencia de plántulas y especies maderables, lo que orienta estrategias de restauración y conservación (Proyecto PROBÍO, 2023). La fragmentación y pérdida de hábitat resultantes de la deforestación con motosierra representan una amenaza crítica para la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos hídricos de la microcuenca, afectando la biodiversidad endémica y la estabilidad del suelo (Pacheco et al., 2011; IPCC, 2019). En este trabajo pretendemos identificar y cuantificar la fragmentación boscosa en la Microcuenca del Río Cacao mediante drones DJI FLY AIR 3 para evaluar impactos ambientales y apoyar la sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo pretende evidenciar los impactos que produce la deforestación sobre la Microcuenca del Río Cacao ubicada en el distrito de Macaracas, provincia de Los Santos, Panamá. Para ello utilizaremos la metodología de Camarena y Camargo (2024).

Figura 1.

Área deforestada de la Microcuenca del Río Cacao utilizando la Herramienta Google Earth



La **figura 1**, muestra el área de estudio, este se encuentra ubicado en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, con coordenadas 7°36'28.8"N, 80°31'40.8"W. Para seleccionar la ubicación del área se utilizó la aplicación de la tecnología VANT, se recorrió un camino que conducía al área deforestada en la comunidad de Quema que forma parte de la Microcuenca del Río Cacao. Al verificar el área, llamó la atención la presencia de tala por motosierra; se procedió a levantar una inspección con dron y revisar la extensión del impacto referente a la deforestación.

Se utilizó un dron modelo DJI 3 Fly More Combo SE, con cámara resolución 12 megapíxeles y sensor CMOS de 1/2,3 pulgadas. GPS integrado para posicionamiento preciso, software de control de vuelo DJI Fly V.1.12.8, estación base para control remoto del dron, baterías de repuesto para el dron (3), computadora portátil con capacidades de 59 procesamiento gráfico.

Para la planificación de la misión de vuelo se identificó un segmento en la Microcuenca del Río Cacao, provincia de Los Santos, Panamá, con los siguientes parámetros de vuelo: altura 120 m, solape y superposición de las imágenes 70 % - 80 %, velocidad de vuelo 29 km/h. Se

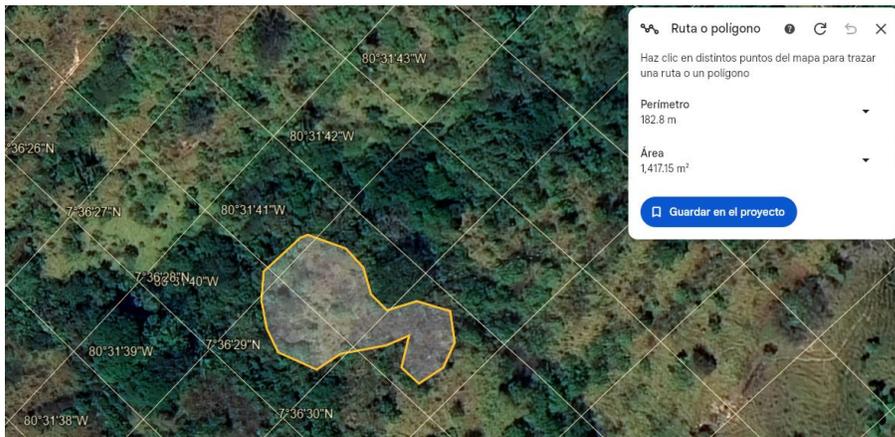
realizó la captura de imágenes realizando vuelos dirigidos sobre el área de estudio con el dron equipado con la cámara de una resolución máxima de 12 mp (4000 x 3000 píxeles).

Se realizó la transferencia de las imágenes capturadas a la computadora portátil para corrección geométrica y georreferenciación de las imágenes utilizando puntos de control terrestre. Para la delimitación del fragmento boscoso se utilizó herramientas de análisis de paisaje y medición por medio de Google Earth y el sistema QGIS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 2.

Área deforestada de la Microcuenca el Cacao utilizando la Herramienta Google Earth



La **figura 2**, indica el área aproximada de deforestación en el sector de Quema, corregimiento de Mogollón, distrito de Macaracas, provincia de Los Santos, demarcando un polígono de $1,417.15 \text{ m}^2$, con la herramienta de Google Earth.

Figura 3.

Vista área frontal con Dron de área deforestada de la Microcuenca del Río Cacao



En la **figura 3**, se observa una vista completa del área deforestada con motosierra siendo un bosque natural secundario mixto latifoliado, con fuentes permanente de caudal de la Microcuenca del Río Cacao que son de vital importancia para la zona.

Figura 4.

Vista área lateral izquierda en la Microcuenca el Cacao



En la **figura 4**, se muestra parte del área deforestada y áreas colindantes que mantienen vegetación, mismas que son importantes para mantener una gran diversidad de especies que dependen de los ríos y los bosques para sobrevivir. Además se observa afectación de flora en la ribera de la Microcuenca del Rio Cacao.

Figura 5.

Vista área perpendicular en la Microcuenca el Cacao



En la **figura 5**, se observa la tala indiscriminada causando fragmentación del hábitat, lo que dificulta la supervivencia de muchas especies que habitaban en el mismo.

La imagen capturada por dron evidencia un claro proceso de fragmentación y degradación boscosa, fenómeno ampliamente documentado en distintas regiones del continente americano. Este tipo de alteración tiene profundas implicaciones ecológicas, como la pérdida de biodiversidad, el deterioro de servicios ecosistémicos y la alteración de ciclos hidrológicos.

En América del Norte, estudios como el de Haddad et al. (2015) han demostrado que la fragmentación de bosques reduce drásticamente la conectividad ecológica, afectando la dispersión de especies y la resiliencia de los ecosistemas. Asimismo, Laurance et al. (2018) destacan que la deforestación y fragmentación en paisajes templados y tropicales incrementan la vulnerabilidad de los bosques ante eventos climáticos extremos y la invasión de especies exóticas.

En Centroamérica, la situación es particularmente crítica debido a la presión agrícola y ganadera. Sánchez-Azofeifa et al. (2001) analizaron la fragmentación en bosques secos de Costa Rica, concluyendo que la pérdida de cobertura forestal afecta la regeneración natural y la supervivencia de especies endémicas. Por su parte, Chazdon et al. (2009) subrayan que la fragmentación en la región reduce la capacidad de los bosques secundarios para restaurar la biodiversidad original, lo que compromete la sostenibilidad a largo plazo.

En Sudamérica, la Amazonía ha sido epicentro de investigaciones sobre deforestación. Fearnside (2005) advierte que la fragmentación, además de reducir la biomasa y el carbono almacenado, incrementa la exposición de los bordes forestales, alterando microclimas y acelerando la degradación. Armenteras et al. (2017), estudiando la región andino-amazónica,



encontraron que la fragmentación promueve la pérdida de especies sensibles y la homogenización del paisaje, dificultando la recuperación ecológica.

En Panamá, Ibáñez et al. (2002) documentaron que la fragmentación en cuencas del Pacífico central ha reducido la diversidad de aves y mamíferos, afectando procesos ecológicos clave. Condit et al. (2001), trabajando en el Parque Natural Metropolitano, concluyeron que la fragmentación limita la regeneración de especies arbóreas y la conectividad entre poblaciones vegetales.

La imagen obtenida mediante dron ilustra de manera contundente el fenómeno de fragmentación boscosa, caracterizado por la presencia de claros y una notable pérdida de continuidad en la cobertura vegetal. Este patrón, ampliamente documentado en la literatura científica, tiene implicaciones profundas para la biodiversidad y la funcionalidad ecológica de los paisajes tropicales.

En este contexto, los aportes del Dr. Farnum resultan especialmente relevantes para comprender y abordar la problemática. Farnum y Murillo (2023) demostró que la fragmentación reduce la conectividad entre hábitats, lo que afecta negativamente la dispersión de especies y la viabilidad de poblaciones silvestres. La importancia de los corredores biológicos, como mecanismo para mitigar estos efectos y mantener la diversidad genética, es un aspecto central en sus hallazgos.

Por otra parte, la restauración ecológica ha sido abordada por Farnum y su equipo como una estrategia clave para revertir los efectos de la fragmentación. Proponen la reforestación de áreas estratégicas y la protección de remanentes boscosos como acciones prioritarias para mejorar la conectividad y la resiliencia de los ecosistemas (Farnum, 2015). Estas propuestas cobran especial relevancia en paisajes como el de la microcuenca del río Cacao, donde la fragmentación amenaza la integridad ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.



Es destacable el énfasis que Farnum y colaboradores han puesto en el uso de tecnologías avanzadas para el monitoreo ambiental. El empleo de drones y sensores remotos ha permitido mapear y cuantificar con precisión la pérdida de hábitat, facilitando la toma de decisiones informadas en materia de conservación (Farnum y Murillo, 2023). La imagen presentada es un claro ejemplo de cómo estas herramientas tecnológicas pueden aportar evidencia visual y cuantitativa para la gestión y restauración de paisajes fragmentados.

La integración de corredores biológicos, estrategias de restauración activa y el monitoreo con drones, como sugieren Farnum y sus colegas, representa una ruta efectiva para enfrentar los desafíos de la fragmentación boscosa en regiones tropicales y subtropicales (Farnum, 2015).

Para finalizar investigaciones de Camarena y Camargo (2024) en el Parque Nacional Santa Fé, Veraguas, Panamá, utilizando drones DJI FLY AIR 3, confirman que la deforestación con motosierra ha generado una fragmentación significativa, identificando patrones espaciales de degradación y pérdida de cobertura boscosa similares a los reportados en otros países del continente. Su estudio resalta la utilidad de los drones para cuantificar la extensión de la fragmentación y proponer estrategias de restauración basadas en evidencia geoespacial, contribuyendo a la gestión sostenible de microcuencas tropicales.

CONCLUSIONES

La aplicación de drones DJI FLY AIR 3 permitió identificar y cuantificar de manera precisa la fragmentación boscosa en la microcuenca del río Cacao. El uso de imágenes aéreas de alta resolución facilitó la delimitación de áreas deforestadas y la medición de fragmentos de bosque, superando las limitaciones de los métodos tradicionales y permitiendo un monitoreo eficiente y actualizado.

Los resultados evidencian una fragmentación significativa de la cobertura boscosa, con la presencia de claros, reducción de la conectividad ecológica y predominio de pastizales en zonas bajas, erosión en sectores medios y remanentes de bosques secundarios en áreas altas.



Esta configuración espacial confirma los patrones de degradación reportados en la literatura científica para paisajes tropicales sometidos a presión antrópica.

La fragmentación observada tiene profundas implicaciones ambientales: se ha reducido la biodiversidad local, afectando especies endémicas y emblemáticas, y se han deteriorado servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica y la estabilidad del suelo. La pérdida de conectividad entre fragmentos limita la dispersión de especies y la regeneración natural, incrementando la vulnerabilidad del ecosistema ante perturbaciones externas.

El estudio demuestra la utilidad de las tecnologías VANT para la gestión ambiental y la toma de decisiones informadas en la conservación y restauración de microcuencas. La integración de corredores biológicos, estrategias de restauración activa y el monitoreo continuo mediante drones son acciones prioritarias para revertir la fragmentación y promover la sostenibilidad ecológica en la región.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ministerio de Ambiente que siempre nos han dado el apoyo para los trabajos en aspectos ambientales en la región de Azuero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenteras, D., Rodríguez, N., & Retana, J. (2017). Landscape dynamics in northwestern Amazonia: An assessment of past, present and future land use change. *Forest Ecology and Management*, 401, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.042>
- Camarena Q., F. H., & Camargo, A. (2024). Identificación de fragmentación boscosa con tecnologías robóticas avanzadas (VANT) en un segmento del Parque Nacional Santa Fé, Veraguas, Panamá. *Revista Semilla del Este*, 4(2), 54–67. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n2.5040>
- Chazdon, R. L., Harvey, C. A., Komar, O., Griffith, D. M., Ferguson, B. G., Martínez-Ramos, M., ... & Philpott, S. M. (2009). Beyond reserves: A research agenda for conserving biodiversity in human-modified tropical landscapes. *Biotropica*, 41(2), 142-153. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00471.x>



- Condit, R., Robinson, W. D., Ibáñez, R., Aguilar, S., Sanjur, A., Martínez, R., ... & Wright, S. J. (2001). The status of the Panama Canal watershed and its biodiversity at the beginning of the 21st century. *BioScience*, 51(5), 389-398.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0389:TSOTPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0389:TSOTPC]2.0.CO;2)
- DJI. (2023). DJI Air 3 - Double Up. <https://www.dji.com/air-3>
- Farnum, F., & Murillo, V. E. (2023). Los fragmentos boscosos a lo largo de la carretera Panamá-Colón: Su importancia para la conservación de los bosques adyacentes. Sello Editorial Nova Educare. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7696903>
- Farnum, F. (2015). Estrategias de conservación a partir de la evaluación etnobotánica de fragmentos de bosques adyacentes a zonas urbanas, Panamá. *Revista CENTROS*, 4(Edición Especial), 72–95.
https://www.academia.edu/35826286/ESTRATEGIAS_DE_CONSERVACION_A_PARTIR_DE_LA_EVALUACION_ETNOBOTANICA_DE_FRAGMENTOS_DE_BOSQUES_ADYACENTES_ZONAS_URBANAS_PANAM%C3%81
- Fearnside, P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conservation Biology*, 19(3), 680-688.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>
- González, M., Pérez, J., & Torres, L. (2022). Dinámica de la cobertura forestal en cuencas hidrográficas de Panamá. *Revista de Ecología Tropical*, 45(2), 123-138.
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Heckadon-Moreno, S. (2009). De selvas a potreros: La colonización santeña en Panamá: 1850–1980. Exedra Books.
- Ibáñez, R., Condit, R., Angehr, G., Aguilar, S., García, T., Martínez, R., ... & Wright, S. J. (2002). An ecosystem report on the Panama Canal: Monitoring the status of the forest communities and the watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 80(1), 65-95. <https://doi.org/10.1023/A:1020292022738>
- IPCC. (2019). Special Report on Climate Change and Land. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-4/>
- Laurance, W. F., Camargo, J. L. C., Luizão, R. C., Laurance, S. G., Pimm, S. L., Bruna, E. M., ... & Lovejoy, T. E. (2018). The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. *Biological Conservation*, 225, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.030>
- Pacheco, P., Aguilar-Støen, M., Börner, J., Etter, A., Putzel, L., & Vera-Díaz, M. d. C. (2011). Landscape Transformation in Tropical Latin America: Assessing Trends



and Policy Implications for REDD+. *Forests*, 2(1), 1–29.

<https://doi.org/10.3390/f2010001>

Proyecto PROBÍO. (2023). Informe técnico sobre fragmentación boscosa y biodiversidad en la microcuenca del río Cacao. Ministerio de Ambiente de Panamá.
<https://instanciasambientales.up.ac.pa/probio>

Sánchez-Azofeifa, G. A., Daily, G. C., Pfaff, A. S., & Busch, C. (2001). Integrity and isolation of Costa Rica's national parks and biological reserves: Examining the dynamics of land-cover change. *Biological Conservation*, 109(1), 123-135.
[https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00145-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00145-3)

Insectos polinizadores asociados al cultivo de café: una revisión sistemática

Pollinating insects associated with coffee crop: a systematic review

Rubén D. Collantes G.

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Estación Experimental de Cerro Punta.
Panamá.

rdcg31@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

Ruth J. Del Cid A.

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Finca Experimental de Ollas Arriba.
Panamá.

rutis07@yahoo.es <https://orcid.org/0000-0002-7917-7663>

Jhon A. Villalaz P.

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Centro de Innovación Agropecuaria de
Divisa, Panamá.

jvillalaz14@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5382-5549>

*Autor de correspondencia: rdcg31@hotmail.com

Recepción: 21 de mayo de 2025

Aprobación: 28 de julio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7083>

Resumen

Este trabajo es una revisión sistemática sobre insectos polinizadores asociados al café. Se consultó publicaciones, principalmente en los últimos 10 años. Los ejes temáticos desarrollados fueron: i) Insectos polinizadores y café; ii) ¿Cómo mejoran el rendimiento y calidad del café con insectos polinizadores?; iii) Diseño de agroecosistema cafetalero sinérgico con insectos polinizadores; iv) Beneficios de un agroecosistema cafetalero integrado con apicultura; v) Consideraciones para introducir *Apis mellifera* en un agroecosistema cafetalero. Según las diversas investigaciones revisadas, las abejas son el principal grupo de insectos polinizadores asociados al café; sin embargo, otros taxa como avispa, moscas, mariposas y polillas, también contribuyen con la misma. Los insectos polinizadores pueden incrementar hasta un 25% el rendimiento esperado de café; por otra



parte, las prácticas de conservación implementadas facilitan la certificación de calidad para mejorar su valor comercial. El manejo de sombra y la integración con sistemas agroforestales pueden propiciar la actividad de insectos polinizadores. La apicultura en el cafetal, además de producir miel y polen, podría brindar otros productos orientados hacia la entomoterapia; así como la elaboración de alimentos con valor agregado. Antes de introducir *Apis mellifera* en un agroecosistema cafetalero, se deben tomar previsiones contra accidentes por envenenamiento y conocer la biodiversidad nativa de polinizadores presentes, para evitar competencia de nichos. En conclusión, la sinergia entre café e insectos polinizadores puede contribuir con la sostenibilidad de estos medios de vida; sin embargo, se requiere de un conocimiento y manejo apropiado de la biota funcional, para potenciar los servicios naturales.

Palabras clave: abejas, agroecosistema, cafetal, conservación, sinergia

Abstract

This work is a systematic review of pollinating insects associated with coffee. Publications were consulted, mainly from the last 10 years. The thematic axes developed were: i) Pollinating insects and coffee; ii) How do pollinating insects improve coffee yield and quality?; iii) Design of a synergistic coffee agroecosystem with pollinating insects; iv) Benefits of a coffee agroecosystem integrated with beekeeping; v) Considerations for introducing *Apis mellifera* into a coffee agroecosystem. According to the various studies reviewed, bees are the main group of pollinating insects associated with coffee; however, other taxa such as wasps, flies, butterflies, and moths also contribute. Pollinating insects can increase expected coffee yield by up to 25%; moreover, implemented conservation practices facilitate quality certification to improve its commercial value. Shade management and integration with agroforestry systems can foster the activity of pollinating insects. Beekeeping on coffee plantations, in addition to producing honey and pollen, could provide other products geared toward entomotherapy, as well as the production of value-added foods. Before introducing *Apis mellifera* into a coffee agroecosystem, precautions against poisoning accidents must be taken, and the native biodiversity of pollinators present must be known to



avoid niche competition. In conclusion, the synergy between coffee and pollinating insects can contribute to the sustainability of these livelihoods; however, proper knowledge and management of the functional biota are required to enhance natural services.

Keywords: agroecosystem, bees, coffee plantation, conservation, synergy

INTRODUCCIÓN

Los insectos polinizadores juegan un papel vital para preservar la biodiversidad, así como en el rendimiento y calidad de los cultivos agrícolas; porque colaboran con la reproducción del 80% de las plantas con flores en el mundo y contribuyen con la sostenibilidad de los agroecosistemas (CONABIO, 2019; Collantes et al., 2023a). Por otro lado, se han dado dos experimentos a gran escala en el Neotrópico: i) La explotación de áreas silvestres por los humanos; ii) La colonización de abejas africanizadas (*Apis mellifera* L., 1758 [Hymenoptera: Apidae]), las cuales han interactuado con una cuarta parte de la flora y polinizadores nativos, con efectos medibles (pero variables) e impactos difíciles de cuantificar (Roubik, 2000).

En el caso del café, las abejas nativas (incluyendo varias especies solitarias), son polinizadores diversos; siendo el 85% de las mismas consideradas más eficaces que *A. mellifera* en la transferencia de polen (Pereira Machado et al., 2024). El café es un rubro estratégico para Panamá y otros países, al servir como fuente de ingresos para comunidades campesinas e indígenas (FAO, 2023); además de representar una alternativa diversificada con otros cultivos como el plátano (sombra temporal), para recuperar agroecosistemas vulnerables a eventos climáticos extremos (sequías), como la Región de Azuero (FAO, 2017).

Algunas investigaciones desarrolladas en Panamá sobre café robusta (*Coffea canephora*), en condiciones de bajura (menos de 300 msnm), son las siguientes: i) Eficacia de un aislado de cepa nativa de *Isaria* sp. (Hypocreales: Cordycipitaceae) para controlar *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Castillo, 2019); ii) Bioprospección de cepas nativas de nematodos entomopatógenos del género *Heterorhabditis* (Candanedo-Lay et al., 2020); iii) Caracterización y sostenibilidad de la caficultura en Colón (Collantes et al., 2020; 2021); iv) Detección temprana de *H. hampei* en función de la floración (Collantes et al., 2022); v) Insectos plaga de granos almacenados como café (Collantes et al., 2023b);



- vi) Artrópodos venenosos y urticantes en el cultivo de café robusta (Collantes et al., 2024c);
- vii) Entomofauna en café, orientado al Manejo Integrado de Plagas (MIP) (IDIAP, 2022).

Otros estudios sobre insectos polinizadores desarrollados en Panamá, han sido realizados con cultivos estratégicos como las cucurbitáceas, en los cuales se ha encontrado que: i) El 65% de las visitas de *A. mellifera* ocurren hasta horas tempranas de la tarde (Di Trani, 2007); ii) Los factores climáticos (como temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar), tienen influencia marcada en el comportamiento de forrajeo, según las condiciones favorables y biología de cada especie (Di Trani et al., 2022); iii) Las especies frecuentemente observadas visitando flores de sandía son *Nannotrigona perilampoides* (58,7%), *A. mellifera* (23%) y *Partamona peckolti* (4%) (Di Trani et al., 2023); iv) *Trigona corvina* fue la especie que depositó la mayor cantidad de polen, el peso y número de semillas por fruto de sandía guarda relación directa con el número de visitas realizadas por las abejas, la mejor calidad de fruta se logró con 16 visitas por abeja o sin restricción de visitas (Di Trani et al., 2024).

Lo anterior reafirma la importancia vital de los insectos polinizadores y la apicultura para la sostenibilidad de los agroecosistemas productivos (Collantes et al., 2023; Collantes et al., 2024a), así como la posibilidad de ser aprovechados en otros cultivos (Di Trani et al., 2024); pero, persisten limitantes económicas, de asistencia técnica idónea y oportuna, así como la integración de comunidades productoras con los mercados. Esto justifica la creación de proyectos para fortalecer capacidades, en pro del desarrollo sostenible (Calatrava, 2023).

En la reciente convocatoria interna de proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), realizada por el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP, 2024), entre las propuestas seleccionadas se tiene la de **Innovación Agro-edafoclimática de los sistemas regenerativos del cultivo del café orgánico en zonas productivas de Azuero**; en atención a las necesidades manifestadas por productores y otros actores de la comunidad. En este sentido, como producto científico de dicha iniciativa, el presente trabajo tiene por objetivo realizar una revisión sistemática sobre insectos polinizadores asociados al café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es de naturaleza exploratoria, descriptiva, analítica y reflexiva. Se revisaron 50 publicaciones vigentes sobre la materia. Además, se incluyen fotografías inéditas y se consultó a dos especialistas. Los ejes temáticos desarrollados en este aporte son los siguientes: i) Insectos polinizadores y café; ii) ¿Cómo mejorar el rendimiento y calidad del café con insectos polinizadores?; iii) Diseño de agroecosistema cafetalero sinérgico con insectos polinizadores; iv) Beneficios de un agroecosistema cafetalero integrado con apicultura; v) Consideraciones para introducir *Apis mellifera* en un agroecosistema cafetalero.

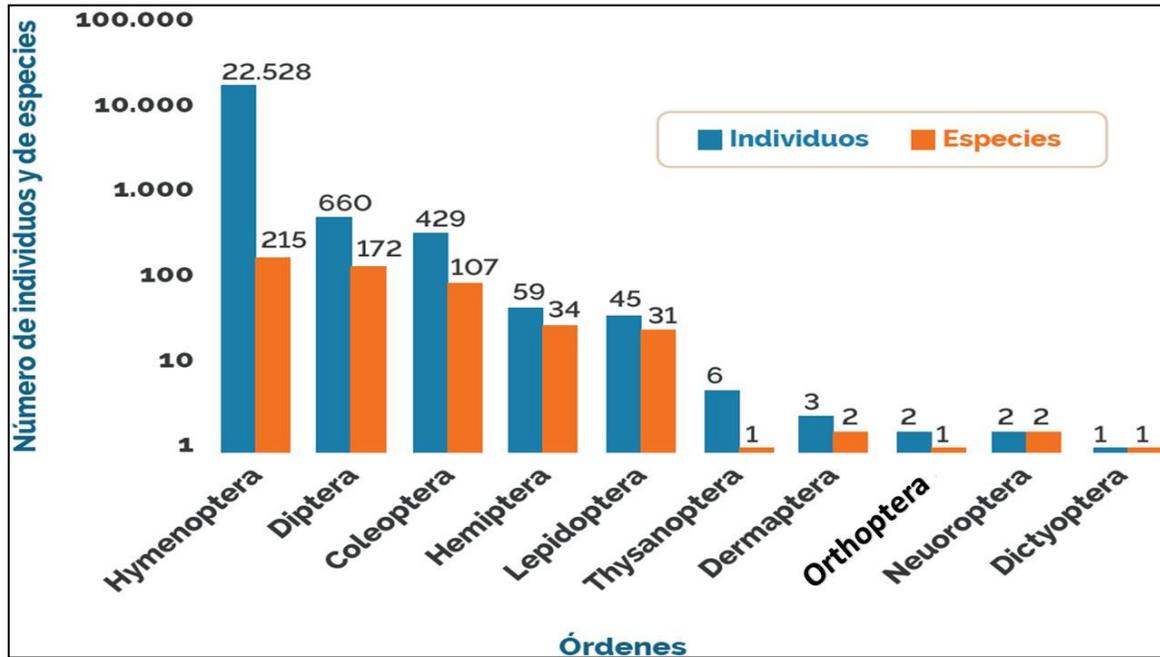
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Insectos polinizadores y café

La familia Apidae es el principal grupo de insectos polinizadores asociados al café (Figura 1), teniéndose además de *Apis* otros géneros como *Bombus*, *Ceratina*, *Epicharis*, *Euglossa*, *Eulaema*, *Exomalopsis*, *Geotrigona*, *Nannotrigona*, *Paratetrapedia*, *Paratrigona*, *Partamona*, *Plebeia*, *Scaptotrigona*, *Tetragonisca*, *Tetragona*, *Trigona*, *Trigonisca*, *Xylocopa* y *Xylocopa*. En cuanto a otras familias de Hymenoptera, se tienen registro de Colletidae, Halictidae, Megachilidae, Braconidae, Crabronidae, Formicidae, Ichneumonidae, Pompilidae, Scoliidae, Tiphidae y Vespidae (Gil-Palacio et al., 2023; Collantes et al., 2024b).

Figura 1.

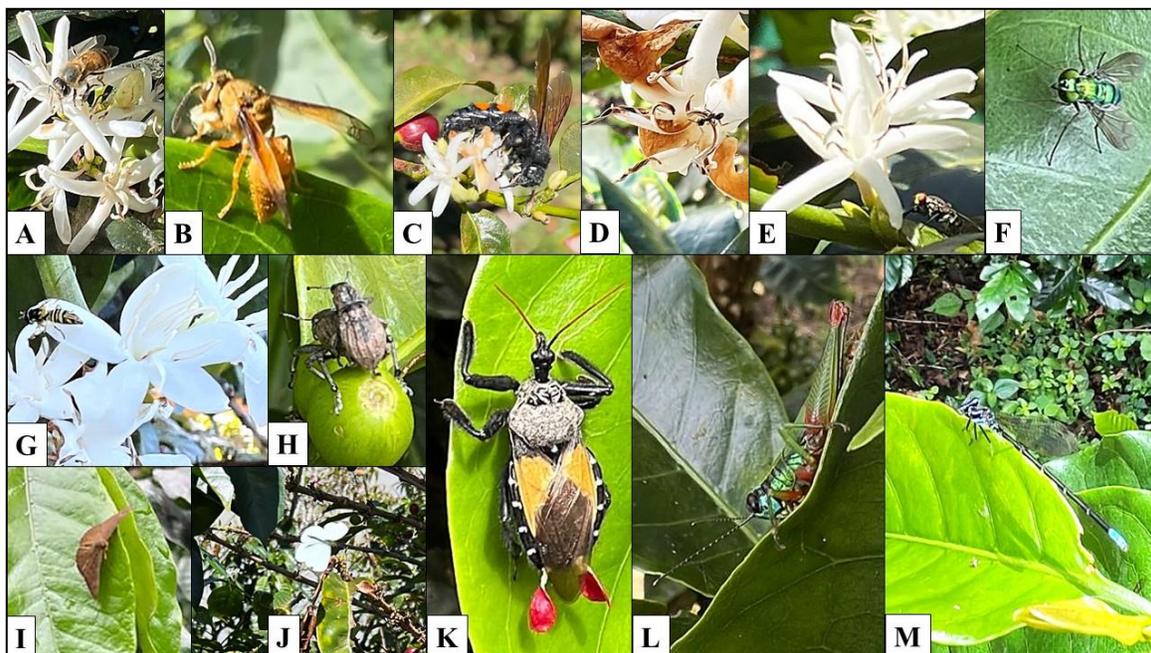
Insectos visitantes de flores en el cultivo de café en Colombia.



Fuente: Adaptado de Gil-Palacio et al. (2023).

Figura 2.

Insectos en café, Chiriquí: A) Apis mellifera; B) Vespidae; C) Pygodasis ephippium ephippium; D) Camponotus sp.; E) Tachinidae; F) Condylostylus sp.; G) Allograpta sp.; H) Epicaerus panamensis; I) Bungalotis sp.; J) Leptophobia aripa; K) Apiomerus vexillarius; L) Acrididae; M) Ischnura capreolus.



Fotos: R. D. Collantes G.

Maldonado-Cepeda et al. (2024), encontraron en cafetales de Colombia 566 especies de insectos visitantes de flores (90 fueron abejas), destacando como polinizadores *A. mellifera*, *Nannotrigona gaboii*, *Tetragonisca angustula*, *Geotrigona cf. tellurica* y *Partamona cf. peckolti*; algunos son similares a los identificados por Di Trani et al. (2023) en cultivos de cucurbitáceas, lo que reafirma la posibilidad de establecer sinergias entre cultivos.

Según Garibaldi et al. (2011), otros órdenes de insectos importantes para la polinización son Coleoptera, Diptera y Lepidoptera (Figura 1). El café es moderadamente dependiente de la polinización entomófila, lo que justifica estudiar estas interacciones en los agroecosistemas, donde es frecuente observar diversos taxa asociados a estas plantas (Figura 2). Si bien lo abordado hasta este punto es alentador, se recomienda crear una mayor

consciencia (en especial en los pequeños caficultores), sobre la importancia vital de los insectos polinizadores para la mejora del rendimiento en el cultivo de café (Munyuli, 2011).

¿Cómo mejoran el rendimiento y calidad del café con insectos polinizadores?

Serrano (2023), resaltó lo afirmado por especialistas de Cenicafé: i) Se estima que, las flores de una planta de café pueden lograr hasta un 70% de cuaje, sin la intervención de insectos polinizadores; ii) Al participar las abejas, se puede incrementar el rendimiento hasta en un 25%; iii) El tamaño de grano con polinización abierta alcanza 1,60 cm de diámetro, mientras que, con la autopolinización se logra 1,34 cm; iv) La concentración de azúcares es mayor en granos en los que participaron insectos polinizadores. Al respecto, Gómez et al., (2023), determinaron que, los insectos contribuyen con el 16,3% del cuajado de frutos, 26,9% con el rendimiento de frutos y con el 30,6% del peso de los granos de calidad superior.

Esto es concordante con lo investigado previamente por Badilla y Ramírez (1991), quienes determinaron que, en ramas de café descubiertas, se obtuvo 15,85% más frutos que las protegidas con malla y un armazón de metal. En Guatemala se observó que, el rendimiento de café es incrementado gracias al comportamiento de forrajeo de abejas silvestres; por lo que, la disponibilidad de recursos florales heterogéneos y el bajo uso de agroquímicos, puede ser positivo para la diversidad de visitantes florales (Escobar-González et al., 2023).

Si bien la actividad de polinizadores como las abejas africanizadas podría, en determinados casos, mejorar la retención de fruta y peso de granos hasta en un 25%, así como el rendimiento potencial en más de un 50%; la edad de las plantas también puede ser un factor que influye en la respuesta del cultivo a estos insectos (Roubik, 2002a).

Diseño de agroecosistema cafetalero sinérgico con insectos polinizadores

La integración del café con sistemas agroforestales puede potenciar los servicios naturales brindados por polinizadores nativos y otros organismos (aves), porque: i) En periodos que el café no florea, las especies arbóreas pueden proveer néctar y polen; ii) Los remanentes de bosque facilitan que colonias de insectos se establezcan; iii) Se pueden mejorar la polinización y producción de cultivos manejando la floración del café con riego, para que los



sistemas agroforestales florezcan de manera no sincronizada; iv) Se fortalece la resiliencia de los agroecosistemas al proteger la biodiversidad; v) El manejo de sombra ayuda a mitigar el cambio climático y establecer condiciones favorables para polinizadores (Krishnan et al., 2017; Chain-Guadarrama et al., 2019; Supriyadi et al., 2020; Centeno-Alvarado et al., 2024).

La inclusión de plantas como *Hibiscus sabdariffa* y *Crotalaria juncea*, puede favorecer la diversidad de insectos polinizadores y mejorar el cuajado de frutos (Setyawati et al., 2018). Añadir otros rubros estratégicos para la seguridad alimentaria, así como plantas ornamentales de alto valor, además de mejorar los beneficios económicos a obtener, contribuye con la protección de cuencas hidrográficas (Forbes Staff, 2024). Por otro lado, al estudiar biodiversidad, son importantes la identificación taxonómica correcta y el método de muestreo; porque, los análisis de diversidad simples no son suficientes, requiriéndose comparar similitud entre gremios y comunidades (Ngo, 2008; Bonet y Vergara, 2019).

Beneficios de un agroecosistema cafetalero integrado con apicultura

Al incorporarse la apicultura como parte del diseño del agroecosistema cafetalero, se podrían obtener beneficios adicionales mediante la obtención y elaboración de productos de la colmena, orientados para fines gastronómicos y de entomoterapia, tales como miel, polen, propóleo, jalea real, cera, apitoxina, entre otros (Atencio et al., 2023a, b).

Por otro lado, es menester recordar los retos que confronta la apicultura en Panamá y otras latitudes, como la competencia desleal, falta de apoyo a I+D+i, baja productividad, sanidad apícola deficiente, falta de inversión en mejoramiento genético, falta de capacitación y de diversificación de productos apícolas (Collantes y Del Cid, 2022). En atención a esta situación, se han organizado capacitaciones con productores y diversos actores del sector apícola; en el marco de proyectos desarrollados por IDIAP junto con entidades a nivel nacional e internacional, en especial en ecosistemas vulnerables como los manglares (Del Cid y Morales, 2024).

Consideraciones para introducir *Apis mellifera* en un agroecosistema cafetalero

La introducción y adaptación de *A. mellifera* en el nuevo mundo, ha contribuido con la mejora del rendimiento (hasta más del 50%) y calidad del café (en especial bajo sombra en elevaciones superiores a 1500 msnm), en países como Panamá (Roubik, 2002b). Sin embargo, en México esta especie es un polinizador pobre, al compararla con insectos nativos; por tanto, la introducción de un elevado número de colmenas podría afectar el rendimiento esperado y los servicios ecosistémicos, al no haber coevolución entre *A. mellifera* y los polinizadores nativos (Badano y Vergara, 2011), pudiendo ocurrir competencia por nichos ecológicos.

Otro aspecto importante a considerar al incorporar colmenas de *A. mellifera* es el riesgo de envenenamiento; dado que, los accidentes con abejas africanizadas son relativamente comunes en el Neotrópico y superan inclusive aquellos provocados por serpientes, alacranes y otros animales venenosos (De Roodt et al., 2005). Entre las sintomatologías que pueden provocar las picaduras de abejas, están ardor, dolor, choque anafiláctico, envenenamiento masivo e insuficiencia renal (Mussen, 2011).

Por este motivo, se recomienda, además de seguir las indicaciones de manejo técnico del apiario (Del Cid, 2021), en casos de envenenamiento atender los procedimientos dados por Collantes (2024): i) Evitar contacto directo si es alérgico o no se tiene experiencia con estos animales; ii) Remover el aguijón con pinzas sin punta; iii) En caso de envenenamiento, tomar antihistamínicos (alérgicos), analgésicos y compresas frías en el área afectada; iv) Si la situación se complica, acudir a un centro de salud. Así mismo, Arnold (2018), sugirió evitar vestirse con colores llamativos, utilizar perfumes o aerosol para el cabello, además de alejarse rápido, pero sin perturbar a las abejas.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se concluye que, la actividad sinérgica entre insectos polinizadores y el cultivo de café puede contribuir con la sostenibilidad de estos medios de vida. Sin embargo, es menester conocer a mayor profundidad tanto la biota funcional presente en el



agroecosistema, como las interacciones tróficas dadas en el mismo; para que, la integración de la apicultura con la producción de café no comprometa los servicios naturales.

En atención a las experiencias de los diversos autores analizadas en el presente documento, la integración del cultivo de café con sistemas agroforestales y un adecuado manejo de los insectos polinizadores (tanto nativos como introducidos), serían el camino a seguir en zonas vulnerables como el arco seco de la región de Azuero, Panamá; en respuesta al gran reto que supone la variabilidad climática.

Se recomienda continuar estudiando sobre la materia, dado que, según criterio de varios expertos referidos en esta obra, los estudios sobre polinizadores y su importancia real aún son incipientes en algunas zonas geográficas; sumado al hecho de que, los avances en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), pueden ayudar a que los estudios sean cada vez más objetivos, respecto al papel real que desempeñan determinados taxa de insectos.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), por el respaldo brindado a los proyectos: Innovación Agro-edafoclimática de los sistemas regenerativos del cultivo del café orgánico en zonas productivas de Azuero; Investigación e Innovación Apícola en Panamá; Diversidad de frutas con potencial como alimentos funcionales para la seguridad alimentaria y nutricional en Tierras Altas, Chiriquí, Panamá. Al Doctor Alonso Santos-Murgas (Universidad de Panamá) y al Doctor Juan Carlos Di Trani (CIAPCP – AIP), por atender las consultas realizadas durante el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, T. (2018). *3 pasos a seguir de inmediato después de una picadura de abeja: comentario*. Manual MSD Versión para público general. Recuperado de: <https://www.msdmanuals.com/es/hogar/news/editorial/2018/05/15/14/05/bee-stings>
- Atencio, R., Madrid, G., Vaña, M., Fung, A., Del Cid, R., Collantes, R. y Jerkovic, M. (2023a). Promoción de la entomoterapia con productos apícolas en Panamá: Estudio de caso de un proyecto apícola artesanal. *Peruvian Agricultural Research*, 5(2), 74-84. <https://doi.org/10.51431/par.v5i2.858>



- Atencio, R., Vaña, M., Fung, A., Molino, J. y Collantes, R. La entomoterapia y sus potenciales aplicaciones en Panamá. *Revista Peruana de Ciencias de la Salud*, 5(3), 220-7. <https://doi.org/10.37711/rpcs.2023.5.3.425>
- Badano, E. I. y Vergara, C. H. (2011). Potential negative effects of exotic honey bees on the diversity of native pollinators and yield of highland coffee plantations. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(4), 365-372. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00527.x>
- Badilla, F. y Ramírez, W. (1991). Polinización de Café por *Apis mellifera* y Otros Insectos en Costa Rica. *Turrialba*, 41(3), 285-288. Recuperado de: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10147/A0790e03-03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bonet, M. y Vergara, C. H. (2019). *Abejas silvestres de un cafetal orgánico en México*. Primera Edición Electrónica. Fundación Universidad de las Américas, Puebla. Recuperado de: <https://issuu.com/webudlap/docs/abejas-silvestres-cafetal-organico-veracruz-mexico>
- Calatrava, C. (2023). *Las manos escondidas detrás de una taza de café en Panamá*. FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/newsroom/story/The-hands-behind-a-cup-of-coffee-in-Panama/es>
- Candanedo-Lay, E., Aranda-Caballero, G., Cabezón-Puchicama, A. y Reina-Peña, L. (2020). Bioprospección y conservación de cepas nativas del nemátodo entomopatógeno *Heterorhabditis* en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (30), 139-149. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/133>
- Castillo, M. (2019). Eficacia del Aislado de una Cepa Nativa de *Isaria* sp. en el Control Biológico de la Broca del Fruto del Café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) en Café Robusta (*Coffea Canephora*). [Tesis de Maestría, Universidad de Panamá]. Recuperado de: https://up-rid.up.ac.pa/3256/1/migdalia_castillo.pdf
- Centeno-Alvarado, D., Lopes, A. V. y Arnan, X. (2024). Shaping pollinator diversity through coffee agroforestry management: A meta-analytical approach. *Insect Conservation and Diversity*, 17(5), 729-742. <https://doi.org/10.1111/icad.12755>
- Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N. y Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 53-67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>
- Collantes, R. (2024). *Prospección de artrópodos venenosos de importancia forense en Chiriquí, Panamá*. Universidad UMECIT. Recuperado de: <https://repositorio.umecit.edu.pa/handle/001/7761>

- Collantes, R. y Del Cid, R. (2022). Diagnóstico participativo de la apicultura en Panamá. *Peruvian Agricultural Research*, 4(2), 87-92. <https://doi.org/10.51431/par.v4i2.796>
- Collantes, R., Del Cid, R., Christopher, Y., Reina, L. D., De Obaldía, J. A., Sánchez, D. y Rivas, Y. (2024a). Contribución de la apicultura con los 17 objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Investigación Agraria*, 6(2), 43-50. <https://doi.org/10.47840/ReInA.6.2.2170>
- Collantes, R., Del Cid, R., Santos-Murgas, A. y Atencio, R. (2023). Importancia de los insectos polinizadores en la sostenibilidad de los agroecosistemas productivos. *Revista Semilla Del Este*, 3(2), 8-26. Recuperado de: https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/3755
- Collantes, R., Lezcano, J. y Marquínez, L. (2021). Sostenibilidad del agroecosistema de café robusta en la provincia de Colón, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (32), 38-50. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/418>
- Collantes, R., Lezcano, J., Marquínez, L. e Ibarra, A. (2020). Caracterización de fincas productoras de café robusta en la provincia de Colón, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 156-168. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/307>
- Collantes, R., Lezcano, J., Reina, L. y Morales, M. (2022). Detección temprana de *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en cultivos de café robusta. *Ciencia Agropecuaria*, (35), 1-12. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/590>
- Collantes, R., Pittí, J., Del Cid, R., Santos-Murgas, A., Atencio, R. y Lezcano, J. (2024b). Comunidad de Hymenoptera asociados a agroecosistemas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (39), 29-44. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/649>
- Collantes, R., Santos-Murgas, A. y Jerkovic, M. (2024c). Artrópodos venenosos y urticantes en el cultivo de café robusta en La Cauchera - Colón, Panamá. *Revista Investigación Agraria*, 6(3), 6-12. <http://dx.doi.org/10.47840/ReInA.6.3.2255>
- Collantes, R., Vergara, O. y Barrios, H. (2023). Insectos plaga de granos y productos almacenados en Panamá Oeste, Panamá. *Revista Investigación Agraria*, 5(3), 28-35. <http://dx.doi.org/10.47840/ReInA.5.3.1939>



- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México). (2019). *¡Los polinizadores nos necesitan y nosotros también!* Gobierno de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conabio/prensa/los-polinizadores-nos-necesitan-y-nosotros-tambien?idiom=es#:~:text=Los%20polinizadores%20son%20esenciales%20en,alimentamos%20gracias%20a%20los%20polinizadores.>
- De Roodt, A. R., Salomón. O. D., Orduna, T. A., Robles Ortiz, L. E., Paniagua Solís, J. F. y Alagón Cano, A. (2005). *Envenenamiento por picaduras de abejas. Gaceta Médica de México*, 141(3), 215-222. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132005000300008
- Del Cid, R. (2021). *Manejo Técnico del Apiario para la Producción de Miel*. [Plegable]. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Recuperado de: [https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MANEJO_TÉCNICO_DEL_APIARIO_PARA_LA_PRODUCIÓN_DE_MIEL_\(PLEGABLE\).pdf](https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/MANEJO_TÉCNICO_DEL_APIARIO_PARA_LA_PRODUCIÓN_DE_MIEL_(PLEGABLE).pdf)
- Del Cid, R. y Morales, M. (2024). Producción apícola como alternativa económica sostenible para los usuarios del manglar en Chame, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (39), 160-174. Recuperado de: <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/656>
- Di Trani, J. C. (2007). Visita de abejas (*Apis mellifera*, Hymenoptera: Apoidea) a flores de melón *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) en Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 677-680. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442007000200030&script=sci_abstract&tlng=es
- Di Trani, J. C., Meléndez Ramírez, V., Añino, Y. y Barba, A. (2022). Environmental conditions and bee foraging on watermelon crops in Panama. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 10(4), 2234. <http://dx.doi.org/10.31893/jabb.22034>
- Di Trani, J. C., Meléndez Ramírez, V., Barba, A. y Añino, Y. (2024). Bee pollination efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) crops in Panama. *Scientia Horticulturae* 323, (1), 112537. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112537>
- Di Trani, J. C., Meléndez Ramírez, V., Barba, A. y Añino, Y. (2023). Foraging patterns of bees in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) flowers in Panama. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 11(3), 2023022. <https://doi.org/10.31893/jabb.23022>
- Escobar-González, D., Landaverde-González, P., Casiá-Ajché, Q. B., Morales-Siná, J., Cardona, E., Mejía-Coroy, A. y Enríquez, E. (2023). Fruit production in coffee (*Coffea arabica* L.) crops is enhanced by the behaviour of wild bees (Hymenoptera: Apidae). *Austral Entomology*, 63(1), 82-94. <https://doi.org/10.1111/aen.12673>



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2023). *Empoderando a los productores y productoras Indígenas de café en Panamá*. Centro de Inversiones de la FAO. Recuperado de: <https://www.fao.org/support-to-investment/news/detail/es/c/1652037/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *Los Santos impulsa la producción de café de bajura con enfoque agroecológico*. FAO en Panamá. Recuperado de: <https://www.fao.org/panama/noticias/detail-events/fr/c/1027888/>
- Forbes Staff. (2024). *El 'café del Canal de Panamá', la marca en crecimiento que sostiene la cuenca hídrica*. Forbes Centroamérica. Recuperado de: <https://forbescentroamerica.com/2024/09/04/el-cafe-del-canal-de-panama-la-marca-en-crecimiento-que-sostiene-la-cuenca-hidrica>
- Garibaldi, L. A. Muchhala, N., Motzke, I., Bravo-Monroy, L., Olschewski, R. y Klein, A-M. (2011). Services from Plant–Pollinator Interactions in the Neotropics. En B. Rapidel, F. De Clerck, J. F. Le Coq y J. Beer (Eds.), *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment*, Chapter 5 [pp. 119-140]. Earthscan. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/234139072_Services_from_plant-pollinator_interactions_in_the_Neotropics
- Gil-Palacio, Z. N., Maldonado-Cepeda, J. D., Gómez L., J. H., Constantino C., L. M. y Benavides Machado, P. (2023). *Los insectos visitantes florales del cultivo del café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0028>
- Gómez, J. H., Benavides, P., Maldonado, J. D., Jaramillo, J., Acevedo, F. E. y Gil, Z. N. (2023). Flower-Visiting Insects Ensure Coffee Yield and Quality. *Agriculture*, 13, 1392. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071392>
- IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá). (2024). *Convocatoria interna para la presentación de pre-propuestas de Investigación e Innovación Agropecuaria 2025-2029*. Relaciones Públicas. <http://www.idiap.gob.pa/convocatoria-interna-para-la-presentacion-de-pre-propuestas-de-investigacion-e-innovacion-agropecuaria-2025-2029/>
- IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá). (2022). *Manejo integral del cultivo de café de bajura (Coffea canephora) en la República de Panamá*. Iniciativas y Proyectos. Recuperado de: https://proyectos.idiap.gob.pa/proyectos/Manejo_integral_del_cultivo_de_cafe_de_bajura_Coffea_canephora_en_la_Republica_de_Panama/es
- Krishnan, S., Cheppudira, K. G. y Ghazoul, J. (2017). Pollinator Services in Coffee Agroforests of the Western Ghats. En J. C. Dagar y V. P. Tewari (Eds.), *Agroforestry: Anecdotal to Modern Science*, Chapter 32 [pp. 771-795]. Springer, Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_32



- Maldonado-Cepeda, J. D., Gómez, J. H., Benavides, P., Jaramillo, J. y Gil, Z. N. (2024). Taxonomic and Functional Diversity of Flower-Visiting Insects in Coffee Crops. *Insects*, 15, 143. <https://doi.org/10.3390/insects15030143>
- Munyuli, T. (2011). Farmers' perceptions of pollinators' importance in coffee production in Uganda. *Agricultural Sciences*, 02(03), 318-333. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2011.23043>
- Mussen, E. C. (2011). *Bee and wasps stings*. Pest Notes, 7449. University California. Recuperado de: https://ipm.ucanr.edu/legacy_assets/PDF/PESTNOTES/pnbeewaspstings.pdf
- Ngo, H. T. (2008). *Bee diversity in coffee agroecosystems of Costa Rica*. [Tesis de Maestría, York University – Toronto, Ontario]. 116 p.
- Pereira Machado, A. C., Baronio, G. J., Soares Novaes, C., Ollerton, J., Wolowski Torres, M., Silva Lopes, D. N. y Rech, A. R. (2024). Optimizing coffee production: Increased floral visitation and bean quality at plantation edges with wild pollinators and natural vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 61(3), 465-475. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.14591>
- Roubik, D. (2000). Pollination System Stability in Tropical America. *Conservation Biology*, 14(5), 1235-1236. Recuperado de: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/1299/Roubik_2000.pdf
- Roubik, D. (2002a). Feral African bees augment neotropical coffee yield. En P. Kevan y V. L. Imperatriz Fonseca (Eds.), *Pollinating Bees – The Conservation Link Between Agriculture and Nature* [pp. 255-266]. Ministerio de Ambiente, Brasilia.
- Roubik, D. (2002b). Tropical agriculture: The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417(6890), 708-708. <http://dx.doi.org/10.1038/417708a>
- Serrano, N. (2023). *¿Cuál es el efecto de la polinización con abejas en las fincas cafeteras?* Perfect Daily Grind. Recuperado de: <https://perfectdailygrind.com/es/2023/11/01/efecto-polinizacion-abejas-fincas-cafeteras/>
- Setyawati, A. I., Supriyadi, Pardono, Wijayanti, R. y Putri, R. B. A. (2018). The role of flowering plants, *Hibiscus sabdariffa* and *Crotalaria juncea* in coffee ecosystem to diversity of insect pollinators and coffee fruit set. AIP Conference Proceedings, 2014(1), 020027. <https://doi.org/10.1063/1.5054431>
- Supriyadi, S., Dzikrillah, F. D., Arniputri, R. B. y Wijayanti, R. (2020). The Effect of Shade Trees in the Coffee Ecosystem to the Population and Diurnal Activity of Insect Pollinators. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, 10(4), 1743. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.10.4.12167>



“Diagnóstico ambiental en Santa Fé de Veraguas: percepción de los residentes”

“Environmental assessment in Santa Fé de Veraguas: residents' perception”

Christ-Belle Rivera Prosper

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

christ-belle.rivera@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8504-9775>

Félix Camarena

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero. Panamá

felix.camarena@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Ricardo A. Calderón R.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos. Panamá

ricardo.calderon@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-7289-9479>

Recepción: 4 de junio de 2025

Aprobación: 30 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.7420>

Resumen

El estudio tuvo como objetivo realizar un diagnóstico ambiental participativo en Santa Fé cabecera, distrito de Santa Fé, provincia de Veraguas, basado en la percepción de los residentes. Para ello, se aplicaron encuestas estructuradas a 344 habitantes seleccionados aleatoriamente, abordando variables como acceso a servicios básicos, calidad del aire y agua, manejo de residuos, presencia de vectores, exposición a sustancias químicas y radiaciones, así como percepciones sobre cambio climático y desastres naturales. El diseño fue transversal descriptivo, recolectando datos en un momento específico para analizar las condiciones ambientales y su impacto en la comunidad. El análisis descriptivo, realizado con Microsoft Excel, evidenció que la mayoría de la población encuestada es adulta en edad productiva (59%). Sin embargo, el 79% reportó deficiencias en servicios básicos, especialmente en acceso a agua potable, alcantarillado y recolección de basura. El 72% de los encuestados manifestó padecer enfermedades respiratorias asociadas a la mala calidad del aire, mientras



que el 69% reportó afecciones vinculadas al agua. Aunque el 65% recibe servicio de recolección de basura, persisten prácticas inadecuadas como la quema y entierro de residuos. En cuanto al cambio climático, el 77% percibe su impacto, aunque solo un 34% ha observado efectos directos como desastres naturales. Los resultados muestran una estrecha relación entre las condiciones ambientales y la salud pública, subrayando la necesidad de implementar políticas sostenibles, mejorar los servicios básicos y fortalecer la educación ambiental para elevar la calidad de vida de los habitantes de Santa Fé.

Palabras clave: calidad, contaminación, sostenible

Abstract

The study aimed to conduct a participatory environmental assessment in the Santa Fé district of Veraguas, based on residents' perceptions. To this end, structured surveys were administered to 344 randomly selected residents, addressing variables such as access to basic services, air and water quality, waste management, presence of vectors, exposure to chemicals and radiation, as well as perceptions of climate change and natural disasters. The design was cross-sectional and descriptive, collecting data at a specific time point to analyze environmental conditions and their impact on the community. The descriptive analysis, conducted using Microsoft Excel, showed that the majority of the surveyed population was adults of working age (59%). However, 79% reported deficiencies in basic services, especially access to drinking water, sewage treatment, and garbage collection. Seventy-two percent of respondents reported suffering from respiratory illnesses associated with poor air quality, while 69% reported water-related conditions. Although 65% of the population receives garbage collection services, inadequate practices such as burning and burying waste persist. Regarding climate change, 77% perceive its impact, although only 34% have observed direct effects such as natural disasters. The results show a close relationship between environmental conditions and public health, underscoring the need to implement sustainable policies, improve basic services, and strengthen environmental education to improve the quality of life of Santa Fe residents.

Keywords: quality, pollution, sustainable

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico ambiental es una herramienta fundamental para evaluar las condiciones ecológicas de un territorio y proponer estrategias sostenibles de manejo ambiental. En este contexto, la percepción de los residentes adquiere un valor significativo, ya que permite integrar el conocimiento local en los procesos de análisis y toma de decisiones (Morúa, A., 2010).

El distrito de Santa Fé de Veraguas es una región montañosa ubicada en el occidente de Panamá. Se caracteriza por su riqueza en biodiversidad y su papel relevante en la conservación de los recursos naturales, ya que en el Parque Nacional Santa Fé nace el río Santa María (Ministerio de Ambiente de Panamá (Mi ambiente, 2020).

No obstante, el crecimiento de actividades humanas como la agricultura intensiva, el turismo no regulado y la deforestación ha generado preocupaciones entre los habitantes en torno a los cambios en su entorno natural (Camarena y Camargo, 2024), (Camarena et al., 2025) (Landau, 2024)

Estudios recientes resaltan que la percepción ambiental de las comunidades locales puede influir en el éxito de las políticas de conservación, al reflejar tanto los impactos visibles como los valores culturales asociados al ambiente (Matos & Flores, 2020). Por ello, comprender cómo los residentes de Santa Fé perciben los cambios ambientales permite identificar problemáticas prioritarias, fortalecer la educación ambiental y fomentar la participación comunitaria en la gestión ecológica (Rodríguez & Pérez, 2019). Este estudio tiene como objetivo realizar un diagnóstico ambiental participativo en Santa Fé de Veraguas, basado en las percepciones de sus habitantes, para contribuir al diseño de estrategias sostenibles contextualizadas y culturalmente pertinentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló en Santa Fé Cabecera, distrito de Santa Fé, provincia de Veraguas (figura 1), la población total de la comunidad asciende a 3,220 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá, 2020), de los cuales se determinó una muestra representativa de 344 personas, calculada con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Para la aplicación de las encuestas se seleccionó al azar a los residentes disponibles al momento del estudio.

Figura 1

Aplicación de encuestas en la comunidad de Santa Fé cabecera, provincia de Veraguas.



En la figura 1, se observa la participación de los pobladores de la comunidad de Santa Fé, Veraguas en la entrevista realizada por los profesores Christ-Belle Rivera Prosper y Félix Camarena.

Este estudio siguió un diseño transversal descriptivo, adecuado para recolectar datos en un momento determinado y analizar las percepciones ambientales y condiciones asociadas en la comunidad de Santa Fé (Arias, 2012).

El instrumento fue validado mediante revisión por expertos en gestión ambiental y aplicado en entrevistas cara a cara por encuestadores previamente capacitados.

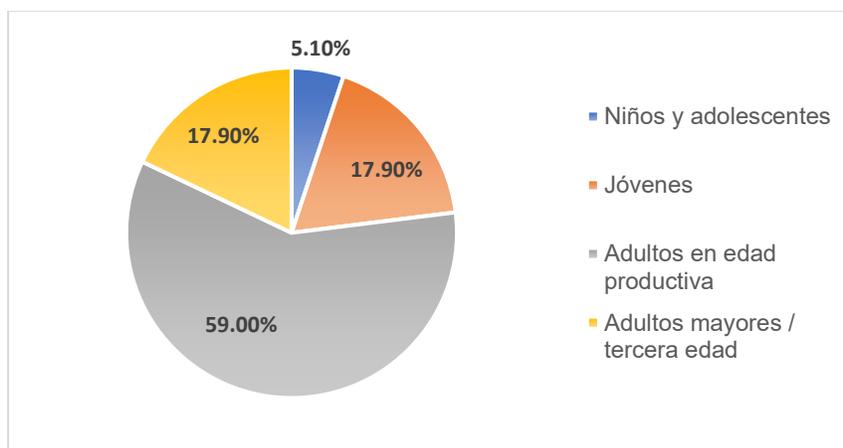
La herramienta principal fue una encuesta estructurada compuesta por siete preguntas cerradas, diseñadas para recopilar información sobre la percepción ciudadana respecto a diversos aspectos ambientales. Las variables incluidas en el instrumento abarcaron: edad del encuestado, acceso a servicios básicos (agua potable, energía eléctrica, recolección de residuos), calidad del aire y del agua, manejo de residuos sólidos, presencia de vectores (mosquitos, roedores), exposición a sustancias químicas y radiaciones, así como conocimiento y percepción sobre el cambio climático y los desastres naturales.

La estadística utilizada es de tipo descriptiva y los datos fueron procesados utilizando el software Microsoft Excel, para su presentación (Hernández-Sampieri et al., 2014; Triola, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 2

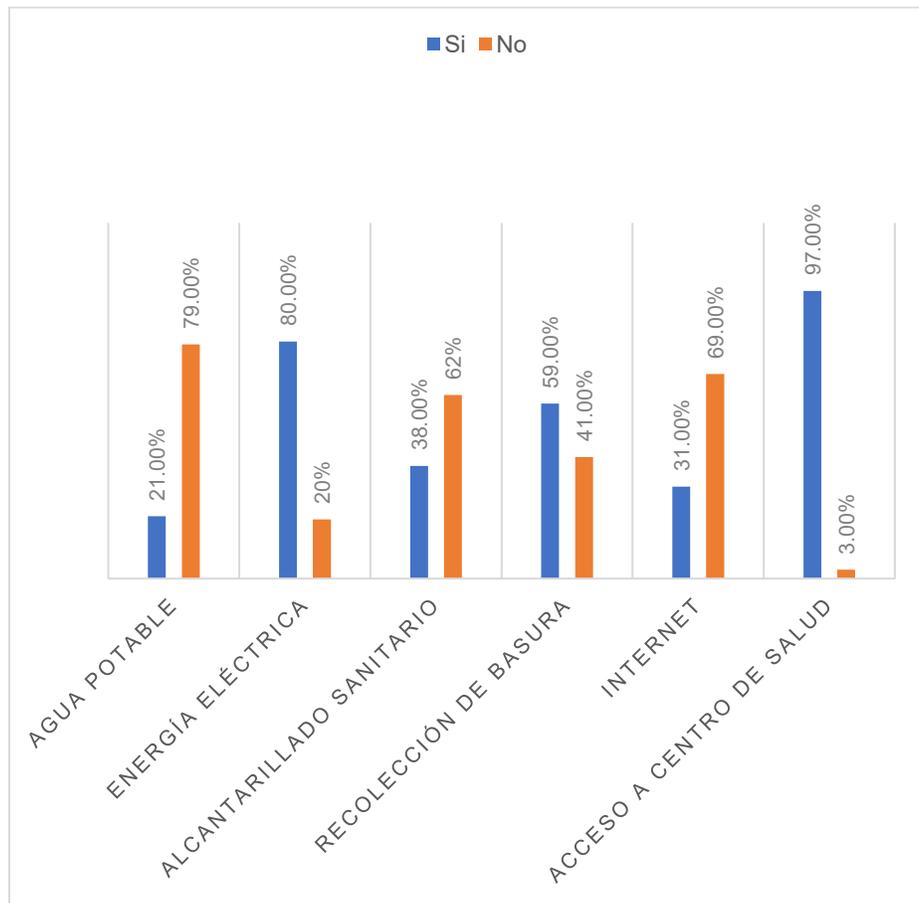
Distribución porcentual de la población por grupos etarios en Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 2, se observa que un 59 % de los adultos con edad productiva, 17.90 % tanto de adultos mayores y jóvenes.

Figura 3

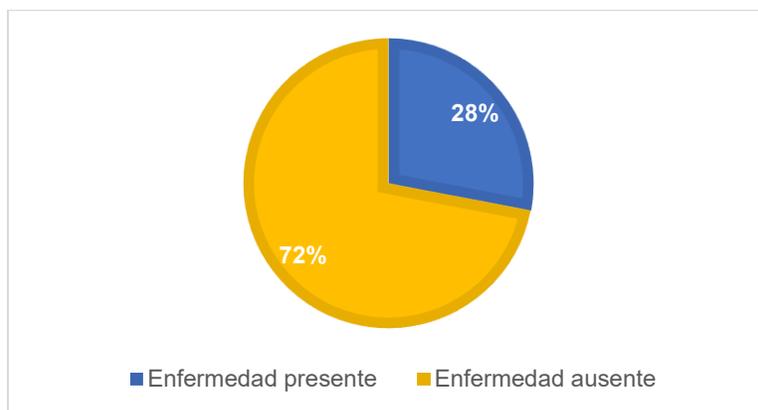
Acceso a servicios básicos en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



Como se observa en la figura 3, en cuanto a acceso a servicios básicos el 79 % manifestó que no tiene agua potable y el 62 % alcantarillado, en cuanto a la recolección de la basura un 62%, el servicio de internet representó el 69.0 %.

Figura 4

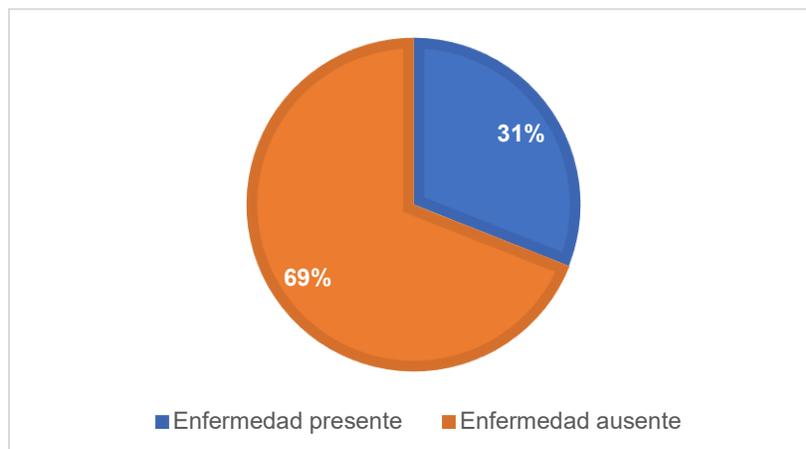
Relación de la calidad del aire con las enfermedades respiratoria en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 4, se aprecia que el 72 % comentan que no han presentado alguna enfermedad respiratoria relacionada con la calidad del aire y el resto no presentó enfermedad.

Figura 5

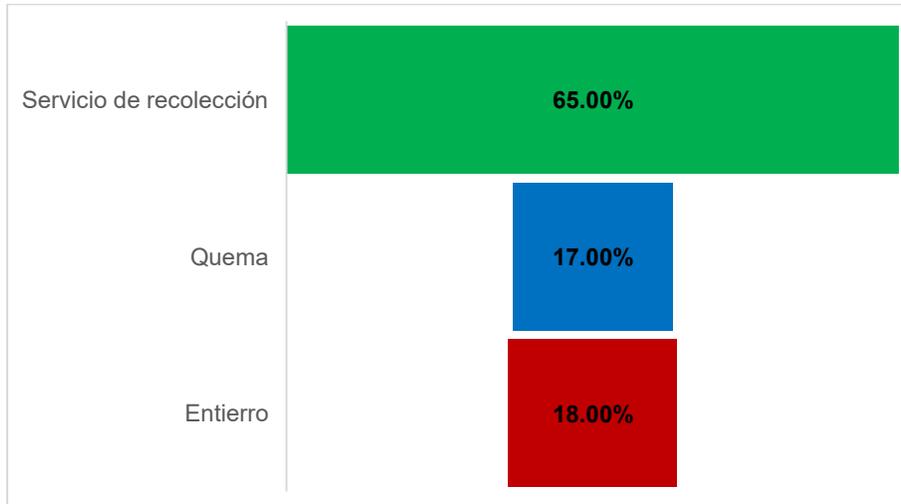
Relación de la calidad del agua con las enfermedades gastrointestinales en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 5, el 69% no presenta enfermedades relacionadas con la calidad de agua, mientras que el grupo restante ha sido afectado por la calidad de agua.

Figura 6

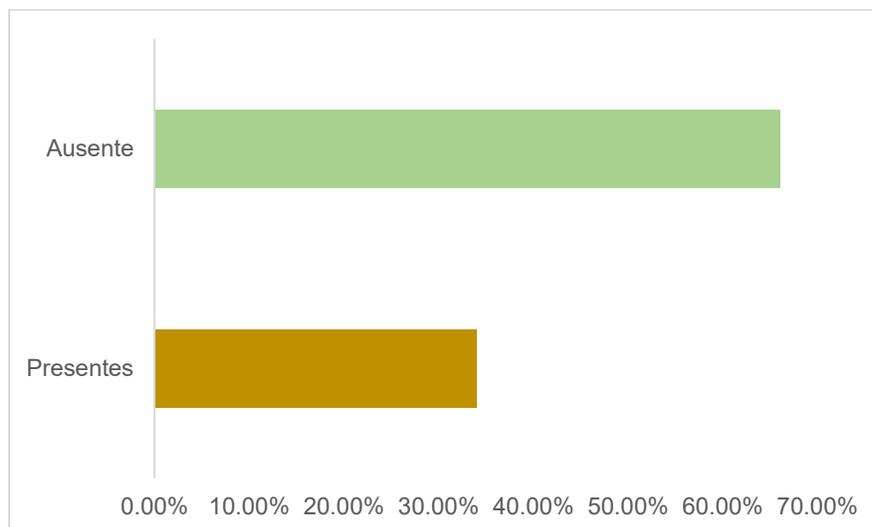
Prácticas de disposición final de residuos sólidos en Santa Fé, provincia de Veraguas.



La figura 6, muestra que el 65 % de los encuestados tienen el servicio de recolección de la basura, el 18 % la entierra y el 17 % la quema (incinera).

Figura 7

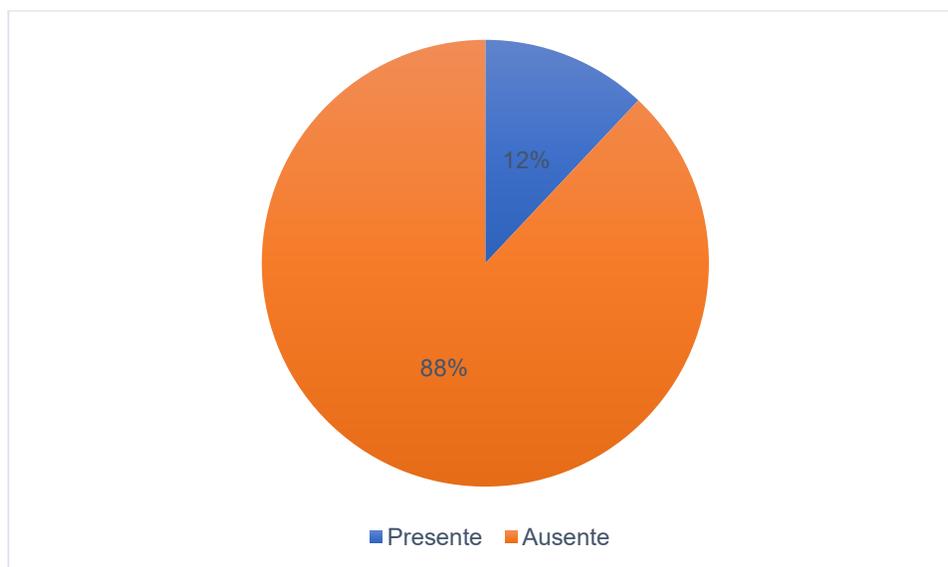
Prevalencia de insectos y roedores en viviendas de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 7, se muestra que el 70 % no es afectado por insectos y roedores, mientras que el 30 % si presenta.

Figura 8

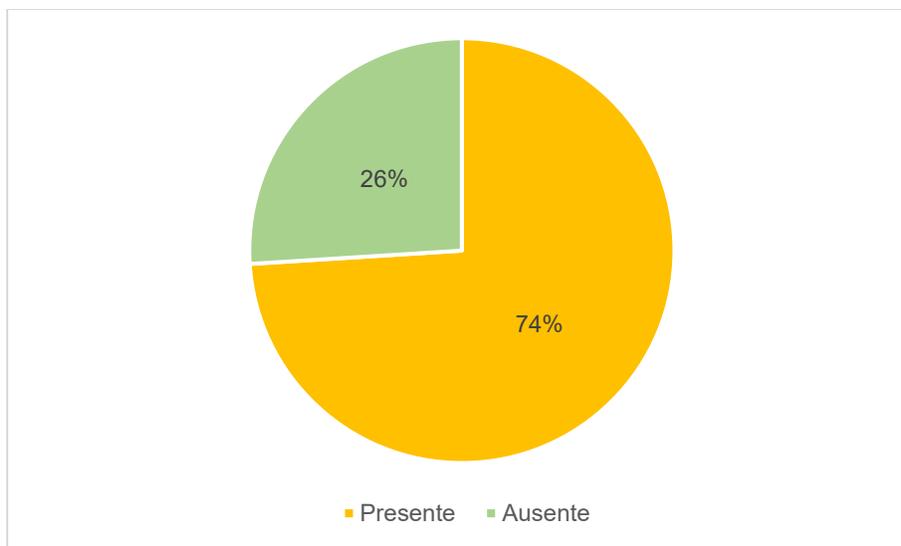
Distribución de la presencia y ausencia de sustancias químicas en las viviendas de la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 8, el 88 % afirma que no hay sustancias químicas en el hogar y un 12 % si presenta.

Figura 9

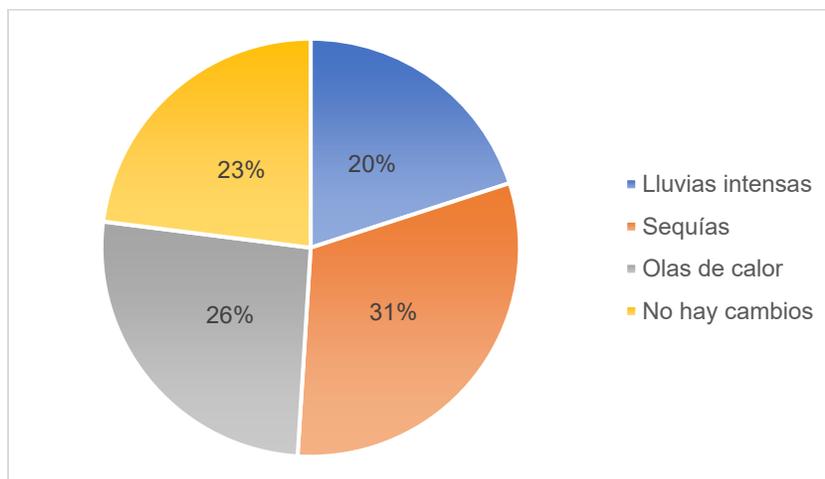
Distribución porcentual de la presencia de antenas satelitales en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 9, se aprecia que el 74 % del área residencial tienen antenas satelitales.

Figura 10

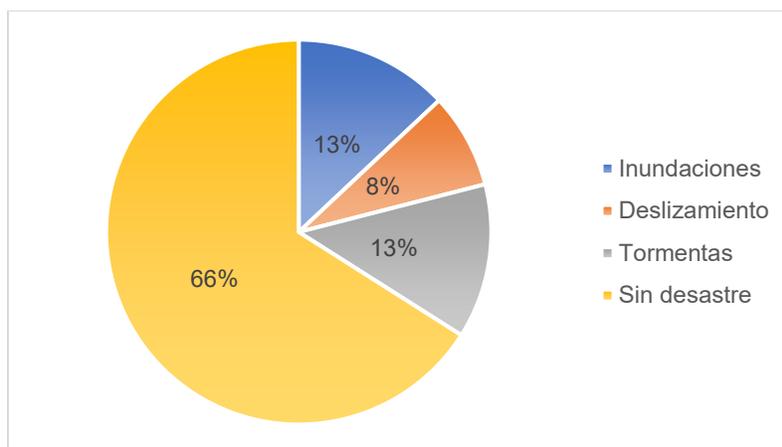
Diferentes manifestaciones referentes a el cambio climático en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



En la figura 10, se distingue que un 23% de los encuestados respondieron que no hay cambio climático, el 31 % comentaron que la sequía los afectó, el 26 % señala que ha sido afectado por las olas de calor, el 20% en algún momento por las lluvias intensas.

Figura 11

Efectos de los desastres naturales en los últimos cinco años en la comunidad de Santa Fé, provincia de Veraguas.



Como se aprecia en la figura 11, un 66% de los encuestados indica que en los últimos cinco años no ha sido afectados por desastre naturales, el 13% indica que hay inundaciones y tormentas, y un 8 % manifiesta que ha presenciado deslizamientos.

Los resultados obtenidos en el diagnóstico ambiental de Santa Fé cabecera revelan una serie de problemáticas ambientales y sociales que afectan la calidad de vida de sus residentes. En primer lugar, la composición etaria de la población, con un 59% en edad productiva, representa un potencial importante para la participación activa en procesos de mejora ambiental (figura 1), esto coincide con los datos de estadística y censo (INEC,2019). Sin embargo, esta capacidad se ve limitada por la falta de acceso a servicios básicos, donde el 79



% de los encuestados señalaron no contar con estos, siendo críticos los casos del agua potable (62%), alcantarillado (62%), y acceso a internet (69%) (figura 2), según la (World Health Organization, 2020). los estudios previos han señalado que el acceso al agua potable, el saneamiento y la conectividad digital son fundamentales para la salud pública, la educación y la productividad, ya que al comparar con (Prüss-Ustün et al., 2019) y la Organización Mundial de la Salud (2023) indican que diversos estudios han demostrado que la escasez de agua potable y saneamiento contribuyen significativamente a la propagación de enfermedades; además, que la falta de acceso a internet limita la educación y oportunidades laborales en comunidades marginadas. Esta carencia afecta directamente la salud, la educación y la participación comunitaria, aspectos esenciales para el desarrollo sostenible (Quintero, 2019).

Los datos de la (figuras 3) revelan una clara relación entre la deficiente calidad ambiental y los problemas de salud pública. El 72% de los encuestados manifestó no haber padecido enfermedades respiratorias, y un 28 % afirma que sí, lo que podría estar relacionado con la contaminación del aire. Diversas investigaciones han demostrado que la exposición a contaminantes atmosféricos, como partículas suspendidas y dióxido de nitrógeno, está directamente asociada con enfermedades respiratorias crónicas y agudas (World Health Organization [WHO], 2021). Según Guarnieri y Balmes (2014), comunidades con altos niveles de contaminación presentan una prevalencia superior de afecciones como asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Los resultados del estudio reflejan esta tendencia, sugiriendo que la calidad del aire es un factor determinante en la salud respiratoria de la población.

El 69 % de los encuestados (ver la figura 4), reportó problemas de salud relacionados con el consumo de agua, lo que evidencia deficiencias en la potabilidad del recurso. La Organización Mundial de la Salud (2023) señala que la presencia de contaminantes microbiológicos y químicos en el agua potable puede provocar enfermedades gastrointestinales y otros trastornos. Prüss-Ustün et al., (2019) argumentan que el acceso a agua segura es fundamental para la prevención de infecciones y la reducción de la mortalidad infantil. En este contexto, los datos presentados refuerzan la necesidad de una mejora en la

infraestructura hídrica para garantizar el bienestar de la población (Ministerio de Salud de Panamá, 2024).

En cuanto al manejo de residuos sólidos, si bien el 65% afirma contar con recolección de basura (figura 5), el hecho de que un 35% aún recurra a prácticas como la quema (17%) o el entierro (18%) representa un riesgo ambiental y sanitario. Camarena, F. & Camargo, A. (2024) comentan que estudios han demostrado que la inversión en infraestructura adecuada y en campañas de concienciación puede mejorar significativamente la disposición de residuos y reducir los riesgos ambientales (Camarena & Camargo, 2024). Estas prácticas pueden contribuir a la emisión de contaminantes atmosféricos y a la degradación del suelo (Iberdrola, s.f.). Por otro lado, la presencia reducida de vectores como insectos y roedores (30%) puede estar asociada a factores estacionales o a medidas de control puntuales (figura 6), aunque sigue siendo un indicador para monitorear. Como lo manifiestan diversos estudios, la variabilidad estacional influye directamente en la población de vectores, afectando su reproducción y distribución geográfica (Organización Panamericana de la Salud, 2017). Además, la implementación de estrategias de control focalizado puede contribuir significativamente a la disminución de estos organismos en áreas urbanas y rurales (WHO, 2021).

Respecto a la exposición a contaminantes dentro del hogar, el 88% de los encuestados afirmó no tener contacto con sustancias químicas, lo cual es un dato alentador (figura 7), lo que no contrasta con (Camarena et al., 2025), la percepción de los habitantes sobre la presencia de sustancias químicas en sus hogares puede estar influenciada por factores como el tipo de vivienda, el acceso a información sobre contaminación y las prácticas de limpieza utilizadas.

No obstante, la presencia de antenas en el 74% del área residencial (figura 8) podría generar inquietudes sobre los efectos de la exposición prolongada a radiaciones, aunque aún no hay consenso científico definitivo sobre sus impactos en salud (OMS, 2023).

La percepción del cambio climático es un indicador clave para evaluar la conciencia ambiental de la población. Según los datos presentados, en la (figura 9), el 74 % de los



encuestados reconoce manifestaciones como sequías, olas de calor e intensas lluvias, lo que sugiere una creciente sensibilización ante los efectos del calentamiento global. Estudios recientes han demostrado que la frecuencia e intensidad de estos fenómenos han aumentado significativamente en las últimas décadas debido al incremento de las temperaturas globales y la alteración de los patrones climáticos (NASA, 2023). Las sequías prolongadas y las olas de calor afectan la disponibilidad de agua y la productividad agrícola, generando consecuencias económicas y sociales importantes. Investigaciones han señalado que la variabilidad climática extrema puede debilitar la capacidad de los ecosistemas para absorber dióxido de carbono, lo que agrava el problema del calentamiento global (Infobae, 2025). Asimismo, el aumento de precipitaciones intensas incrementa el riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra, afectando la infraestructura y la seguridad de las comunidades (Greenpeace, 2023).

A pesar de ello, en los últimos cinco años, el 66% no ha experimentado desastres naturales, (figura 10) lo cual puede influir en una baja percepción del riesgo y limitar la preparación comunitaria ante eventos extremos (Martínez & Torres, 2022).

CONCLUSIONES

El diagnóstico ambiental realizado en Santa Fé de Veraguas, la percepción de los residentes refleja una preocupación significativa por las condiciones que afectan su entorno y calidad de vida. Una de las principales problemáticas identificadas es la limitada cobertura de servicios básicos. El 79% de los encuestados señaló no contar con acceso adecuado a agua potable, alcantarillado o internet, lo cual no solo compromete el bienestar general, sino que obstaculiza la participación activa de la población en edad productiva en iniciativas ambientales y de desarrollo.

Los problemas de salud pública percibidos también son un reflejo directo de las condiciones ambientales. Un porcentaje significativo de la población reportó enfermedades respiratorias (28 %) y afecciones relacionadas con el consumo de agua (69%), lo que pone de manifiesto



vínculo de la contaminación del aire y la falta de potabilidad del recurso hídrico. Estas percepciones están respaldadas por estudios que demuestran los efectos negativos de los contaminantes atmosféricos y microbiológicos en la salud humana.

En cuanto al manejo de residuos sólidos, aunque la mayoría indicó contar con servicio de recolección (65%), persisten prácticas inadecuadas como la quema y el entierro, las cuales generan impactos ambientales y sanitarios. Esta situación evidencia la necesidad de mejorar la infraestructura y fortalecer la educación ambiental en la comunidad.

La percepción sobre el cambio climático es alta, el 74% de los residentes reconoce signos como sequías, olas de calor e intensas lluvias. Sin embargo, el hecho de que un 66% no haya experimentado desastres naturales recientemente puede limitar su percepción de riesgo y preparación ante eventos extremos. Por último, aunque la mayoría no reporta exposición directa a químicos en el hogar, existe preocupación por la instalación de antenas en zonas residenciales, lo que muestra una sensibilidad creciente ante los posibles riesgos ambientales, incluso cuando la evidencia científica aún no es concluyente.

Los desafíos ambientales que enfrentan los residentes de la comunidad de Santa Fé, y que repercuten directamente en su salud, representan una oportunidad para promover acciones comunitarias orientadas a la construcción de un entorno más saludable y sostenible.

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes de salud ocupacional del CRUA por su apoyo en la aplicación de las encuestas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.^a ed.). Editorial Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Camarena, F., & Camargo, A. (2024). Análisis de la disposición de residuos en un transecto en el Parque Nacional Santa Fé, Panamá. *Revista Semilla Del Este*, 5(1), 102–119. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v5n1.6075>
- Camarena, F., Arosemena Preciado, L., Calderón R., R.A. (2025). Efecto de la actividad antropogénica de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Santa Fe, Panamá. *Revista Científica de la Universidad Especializada de las Américas*, Núm.17, ene-dic. 2025, pp.138-158. DOI: <https://doi.org/10.57819/j8se-wr70>
- Greenpeace. (2023). *Cambio climático | Sequías y lluvias torrenciales*. <https://es.greenpeace.org/es/en-profundidad/estas-seran-las-consecuencias-del-cambio-climatico-en-espana/sequias-y-lluvias-torrenciales/>
- Guarnieri, M., & Balmes, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581–1592. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60617-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60617-6)
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf
- Iberdrola. (s.f.). *¿Qué es la contaminación del suelo? Causas, efectos, soluciones*. Recuperado el 2 de junio de 2025, de: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-suelo-causas-efectos-soluciones>
- Infobae. (2025, 7 de mayo). Las olas de calor y las sequías en los ecosistemas debilitan su capacidad para absorber dióxido de carbono. *Infobae*. <https://surli.cc/rhfoig>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2019). *Encuesta Nacional de Salud de Panamá (ENSPA) 2019: Características de la población y distribución por grupos etarios*. Ministerio de Salud de Panamá. <https://www.gorgas.gob.pa/wp-content/uploads/external/SIGENSPA/Inicio.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá. (2020). *Estimaciones y proyecciones de población por corregimiento, 2010–2020*. <https://www.inec.gob.pa/>

Landau, M. A. (2024). *Verificación de la aplicación y eficiencia de medidas de mitigación para el Estudio de Impacto Ambiental del Tercer Juego de Esclusas durante la fase de operación – Décimo Sexto Informe Semestral: enero a junio 2024*. Autoridad del Canal de Panamá.

https://pancanal.com/wp-content/uploads/2024/10/0722635_ACP_16to-Reporte_Final.pdf

Martínez, R., & Torres, L. (2022). Estudio de resiliencia socioecológica frente al cambio climático en comunidades costeras: una apuesta desde la provincia de Cienfuegos. *Revista Panameña de Ciencias Sociales*, (7), 56–67.

https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/rev_pma_ciencias_sociales/article/view/3863

Matos, F., & Flores, M. (2020). La influencia de la educación ambiental en la percepción del desarrollo sostenible en docentes y estudiantes de secundaria. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (10), A-007.

<https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202202.007>

Ministerio de Ambiente de Panamá. (2020). *Plan de manejo del Parque Nacional Santa Fe*. Dirección Nacional de Áreas Protegidas y Vida Silvestre.

<https://www.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2023/06/Borrador-de-Plan-de-Manejo-del-PNCC.pdf>

Ministerio de Salud de Panamá. (2024). *Análisis de la situación de salud en la región de Veraguas* [Informe]. https://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/asis_region_veraguas_2024_2.pdf

Morúa, A. (2010). *La participación comunitaria en la gestión ambiental*. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*, 16(2), 125-135. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/177/17731129008.pdf>

NASA. (2023). El calentamiento lleva a sequías y precipitaciones extremas. <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/el-calentamiento-hace-que-las-sequias-y-las-precipitaciones-extremas-sean-mas-frecuentes-e-intensas/>

Organización Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). *Campos electromagnéticos y salud pública: estaciones base y tecnologías inalámbricas*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health>



Organización Panamericana de la Salud. (2017). *Métodos de vigilancia entomológica y control de los principales vectores de enfermedades* (2a ed.). OPS.

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55241/9789275323953_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Prüss-Ustün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford, J. M., Cumming, O., Curtis, V., Bonjour, S., Dangour, A. D., Fewtrell, L., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Johnston, R., Mäusezahl, D., Mathers, C., Neira, M., & Stocks, M. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(5), 765–777. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>

Quintero, O. P. (2019). Participación ciudadana y gestión ambiental en comunidades rurales: un análisis desde América Latina. *Abya Yala Digital Repository*.

https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1125&context=abya_yala

Rodríguez, Y., & Pérez, M. (2019). Participación comunitaria y educación ambiental: una propuesta metodológica para la gestión local. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 16(31). <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/231>

Triola, M. F. (2018). *Estadística para administración y economía* (13.^a ed.). Pearson Educación. <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-13-Estadistica-para-administracion-y-economia.pdf>

World Health Organization. (2020). *Global report on water and sanitation accessibility*. WHO Publications. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240013391>

World Health Organization. (2021). *Vector control and disease prevention strategies*. WHO Publications. <https://surl.li/jylgur>



Cultivo casero de Espirulina en Panamá con enfoque de bajo costo y alto contenido nutricional

Home cultivation of Spirulina in Panama with a low cost, high-nutritional approach

Diego Ponce De La Cruz

Colegio Bilingüe de Panamá. Panamá

ponce.diego.andres@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-5097-619X>

Laura De La Cruz Calderón

Universidad Especializada de las Américas. Panamá

laurajaneth04@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-0304-2222>

Liliana Aponte González

Autoridad de Recursos Acuáticos de Panamá. Panamá

yimeth11@gmail.com <https://orcid.org/0009-0008-6667-9403>

Recepción: 3 de enero de 2025

Aprobación: 27 de agosto de 2025

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v6n1.6655>

Resumen

Este estudio busca promover el consumo de espirulina en entornos escolares y universitarios, integrándola en alimentos, bebidas saludables y como fuente de vitaminas para animales y/o plantas. De este modo, se fomenta una nutrición más adecuada, abordando problemas alimentarios comunes en Panamá. La espirulina una cianobacteria con alto contenido proteico y valor nutricional, ha sido estudiada por su potencial en la seguridad alimentaria. Este ensayo presenta los resultados de un cultivo experimental con medios de crecimiento tradicional y caseros, realizado en Panamá.

A pesar de mostrar un crecimiento más lento comparado con sistemas controlados, los niveles nutricionales se mantuvieron adecuados, lo que demuestra su viabilidad como suplemento alimenticio en contextos de bajos recursos.



Palabras clave: cepas, cultivo, cosecha, análisis proximal, nutrientes.

Abstract

This study seeks to promote the consumption of spirulina in school and university settings, integrating it into foods, healthy beverages and as a source of vitamins for animals and/or plants. In this way, more adequate nutrition is promoted, addressing common food problems in Panama. Spirulina, a microscopic algae with high protein content and nutritional value, has been studied for its potential in food safety. This trial presents the results of an experimental culture with traditional and homemade growing media, carried out in Panama.

Despite showing slower growth compared to controlled systems, nutritional levels remained adequate, demonstrating their viability as a food supplement in low-resource contexts.

Keywords: strains, crops, harvest, proximal analysis, nutrients

INTRODUCCIÓN

Panamá enfrenta desafíos importantes en seguridad alimentaria, especialmente en regiones rurales e indígenas, donde el acceso a alimentos ricos en nutrientes es limitado. Según la FAO (2023), garantizar la seguridad alimentaria es un objetivo crucial para el desarrollo sostenible del país.

En este contexto, el cultivo de espirulina representa una solución viable debido a su capacidad de crecimiento en condiciones controladas y su alta concentración de proteínas y nutrientes esenciales (Aguilar & Sánchez, 2019). Sin embargo, la falta de información detallada sobre los procesos de cultivo y cosecha de espirulina en Panamá, así como sobre su análisis nutricional y económico, ha dificultado su adopción a gran escala.

A pesar de los avances en investigación (Gómez, 2020; Mendoza & Castillo, 2021), persisten dudas sobre la rentabilidad y escalabilidad de la producción de espirulina en comunidades rurales. Es fundamental comprender cómo las condiciones climáticas y económicas específicas de Panamá influyen en su producción.



En Panamá, muchas comunidades rurales y urbanas enfrentan limitaciones para acceder a alimentos nutritivos. Al mismo tiempo, el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura sigue siendo una práctica común, lo que representa un riesgo para la salud humana y el ambiente. En este contexto, es importante encontrar soluciones sostenibles, accesibles y seguras.

Este ensayo propone una forma de cultivo de la espirulina con recursos de uso común en el hogar, logrando una producción de bajo costo y alta calidad nutricional. Además de su uso como complemento alimenticio para las personas, la espirulina puede utilizarse como suplemento natural en cultivos, ayudando a reducir el uso de químicos, y como fuente de vitaminas en la alimentación animal, lo que amplía sus beneficios y aplicaciones dentro de un modelo de sostenibilidad agrícola y alimentaria.

DESARROLLO

Localización geográfica

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitoplancton de la Estación de Maricultura del Pacífico de la Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá, ubicada en el Puerto de Vacamonte en la Provincia de Panamá Oeste.

Escalamiento gradual

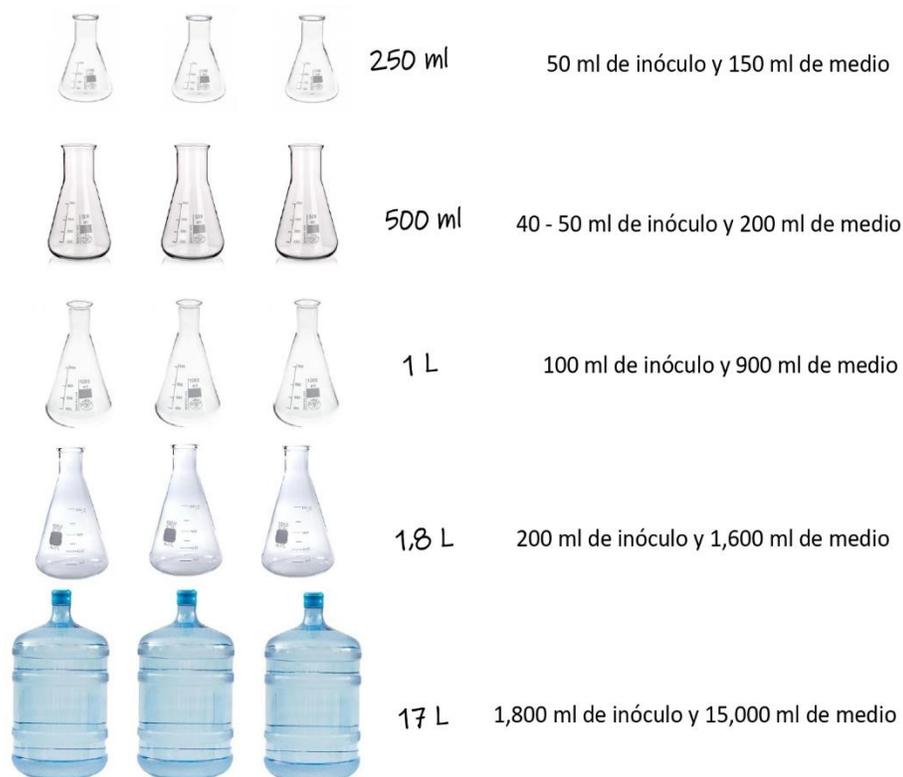
Durante el experimento se utilizó el medio de cultivo RM6 (Tabla 1), también conocido como medio de bajo costo de acuerdo con Raof et al., 2006. Para la preparación del medio de cultivo RM6, en un matraz se añadieron los cinco primeros componentes del medio, y posteriormente se aforó a 1 litro con agua destilada. En un segundo matraz se preparó por separado el superfosfato, también aforado a 1 litro con agua destilada. Ambos matraces fueron esterilizados en autoclave. Una vez finalizado el proceso de esterilización, las soluciones se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se homogenizaron y, por último, se añadió el componente final (bicarbonato de sodio) del medio de cultivo.

Tabla 1.*Composición del medio RM6.*

Componentes	Composición
Cloruro de calcio (CaCl₂)	0.04 g/L
Cloruro de sodio (NaCl)	0.50 g/L
Cloruro de potasio (KCl)	0.89 g/L
Sulfato de magnesio (Mg SO₄·7H₂O)	0.15 g/L
Nitrato de sodio (NaNO₃)	2.50 g/L
Súper fosfato simple (Ca(H₂PO₄)₂)	1.25 g/L
Bicarbonato de sodio (NaHCO₃)	8.0 g/L

Para incrementar el volumen de cultivo de 250 ml a 16.5 L, se empleó la técnica de escalamiento, que consiste en transferir un inóculo desde volúmenes menores a recipientes de mayor capacidad en etapas sucesivas (Jonte et al., 2013). Cada escalado duró aproximadamente 15 días y se realizaron tres réplicas; los primeros dos escalados se mantuvieron sin aireación, pero con agitación manual periódica, mientras que los volúmenes superiores a 1 L recibieron aireación continua. La iluminación fue provista por lámparas fluorescentes con un fotoperiodo continuo (24:0 h) y la temperatura se mantuvo entre 29 y 32 °C (Wen-qing et al., 2016; Kuhnholz et al., 2024).

Figura 1.
*Escalado del cultivo de *Arthrospira máxima* utilizado en el experimento*



Los matraces de 250 ml y 500 ml pasaron por el proceso de esterilización en una autoclave (Tuttnauer modelo 3870EL). La inoculación de los cultivos, hasta el segundo escalado, se llevó a cabo dentro de una cámara de bioseguridad Labconco. Por último, se realizó la cosecha de los filamentos utilizando una malla (colocar material), con un tamaño (colocar las micras - μm) y un diámetro de (colocar si se mantiene este dato - 47 mm).

Análisis del crecimiento celular

Para determinar el crecimiento celular en cada fase del escalado del cultivo de la espirulina, se realizó el recuento de filamentos en las réplicas utilizando una cámara de Sedgwick-Rafter, mediante un microscopio Leica ICC50E con objetivo de 10x.

Análisis proximal

Las muestras de biomasa fueron enviadas a un laboratorio especializado, donde se determinaron los valores de componentes clave como nitrógeno total, extracto etéreo, carbohidratos totales, humedad y contenido de cenizas complementar brevemente la técnica empleada en el laboratorio.

Figura 2.

Escalamiento en el cultivo de la espirulina con parámetros físicos y químicos controlados.



El cultivo de espirulina alcanzó una densidad visualmente aceptable entre la cuarta y quinta semana, observándose una coloración verde intenso y un olor indicativo de un crecimiento saludable. Aunque el crecimiento fue más lento en comparación con cultivos en condiciones controladas, esto era esperable al utilizar medios caseros, sin equipos sofisticados ni control de temperatura o luz, como se realizan en producción de gran escala. No obstante, a pesar de estas limitaciones, el análisis nutricional de la biomasa cosechada en muestra húmeda mostró un contenido de carbohidratos totales de 4.84%, nitrógeno total de 0.25%, humedad de 93.4%, y cenizas de 0.063% (Tabla 2).

Tabla 2.*Composición del análisis proximal de la espirulina*

Parámetros	Resultados
<i>Nitrógeno Total</i>	0.25 %
<i>Extracto Etéreo</i>	0.10 %
<i>Carbohidratos Totales</i>	4.84 %
<i>Humedad</i>	93.4 %
<i>Cenizas</i>	0.063 %

Estos valores, aunque más bajos que en muestras deshidratadas, demuestran que incluso con medios sencillos, la espirulina conserva cualidades útiles para su aplicación nutricional.

La inversión inicial fue menor a B/.200.00, lo cual refuerza la viabilidad económica del cultivo casero. Además de su valor como suplemento nutricional para humanos, se comprobó que cuenta con potencial como complemento en la alimentación de animales y como biofertilizante para cultivos, gracias a su aporte de nutrientes esenciales. Esta versatilidad convierte a la espirulina en una herramienta prometedora dentro de modelos de agricultura sostenible y autosuficiencia alimentaria.

El presente ensayo busca abrir un debate sobre cómo este tipo de soluciones simples pueden integrarse en estrategias comunitarias, educativas y agrícolas. Si bien los resultados obtenidos son alentadores, se reconoce la necesidad de ampliar la investigación, incorporando ensayos a mayor escala, análisis de impacto en la salud animal y vegetal, y evaluaciones de sostenibilidad a largo plazo. También se propone investigar mecanismos de adaptación del cultivo a diferentes condiciones climáticas y sociales en el país. Estas líneas

futuras de estudio permitirán fortalecer aún más la base científica y técnica del uso de espirulina como solución accesible, sostenible y replicable en Panamá.

El cultivo de la especie de espirulina *Arthrospira* máxima en medio RM6, en un volumen de 1 L, presentó filamentos largos con aproximadamente 6-8 ondulaciones, y muy pocos filamentos menor tamaño. La coloración verde amarillenta fue indicativa de un cultivo notoriamente estresado, ya que, al retirar la aireación, la espirulina no se mantuvo suspendida en la columna de agua, sino que se sedimentó, sin embargo, el crecimiento celular se desarrolló de manera aceptable (Tabla 3). De igual forma al momento de la inoculación la espirulina presentó el estrés donde se observa una gran mortalidad a causa de dicho estrés formando un sedimento conformado de células muertas de espirulina totalmente decoloradas y cuarteadas. Este sedimento dentro del cultivo fue notorio a simple vista, este fenómeno ocurre justo al momento de inoculación, este estrés es superado en un periodo de 24 h, en donde los filamentos sobrevivientes logran aclimatarse y reproducirse rápidamente, estabilizándose así el cultivo. Posteriormente al estrés post inoculación cultivo se desarrolló con normalidad sus 15 días, realizando conteos de filamentos reflejados en la tabla 3, evaluaciones periódicas en cuanto a cantidad de ondulaciones por filamento, color de filamento de espirulina cada tres días.

Tabla 3.

Conteo de cel./ml de Arthrospira máxima en medio de cultivo RM6 en cultivo de 1000 ml.

Días / Replicas (cel./ml)	1	3	6	9	12	15
1	3030	8600	12226	17600	19766	18900
2	3433	8533	14366	19133	23000	21833
3	3888	8400	14066	20000	21766	17900

De igual manera al momento de sacar la muestra cada tres días se tomaban datos de temperatura ambiental y temperatura del cultivo, radiación fotosintética activa, pH y salinidad, llevando así una evaluación completa de los parámetros fisicoquímicos

CONCLUSIONES

El cultivo casero de espirulina en Panamá representa una alternativa viable, accesible y de bajo costo para enfrentar los desafíos actuales en alimentación y sostenibilidad. Esta microalga, conocida por su alto contenido de proteínas, minerales y vitaminas, puede ser cultivada en espacios reducidos utilizando materiales simples, lo que la hace ideal para su implementación en hogares, escuelas y comunidades rurales.

Más allá de su valor como suplemento alimenticio humano, la espirulina también ofrece beneficios importantes en la producción agrícola y animal. Puede utilizarse como biofertilizante natural, mejorando la calidad del suelo y la salud de las plantas sin recurrir a químicos que dañan el ambiente. En el ámbito pecuario, su uso como aditivo en la alimentación animal aporta vitaminas esenciales que fortalecen el sistema inmunológico y mejoran la salud general de especies como aves, peces y cerdos.

Por su capacidad de adaptarse a diferentes entornos, su valor nutricional y sus múltiples aplicaciones, el cultivo de espirulina puede convertirse en una herramienta poderosa para fortalecer la seguridad alimentaria, reducir la dependencia de productos industriales y promover prácticas sostenibles en diversas áreas de la vida cotidiana.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J. & Sánchez, M. (2019). Evaluación del cultivo de espirulina (*Spirulina platensis*) en Panamá: Una opción para el desarrollo sostenible. *Revista Panameña de Ciencias Ambientales*, 7(2), 45-58.
- FAO. 2023. El camino hacia la seguridad alimentaria y nutricional en Panamá. Panamá. <https://doi.org/10.4060/cc8714es>
- Gómez, R. (2020). La producción de espirulina en Panamá: Oportunidades y desafíos en el mercado internacional. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Panamá, 24-37. Jonte-Gomez, L.; Rosales-Loaiza, N.L.; Bermúdez-González & J.L.;
- Morales-Avendaño, E.D. (2013). Cultivos discontinuos alimentados con urea de la cianobacteria *Phormidium* sp. en función de la salinidad y edad del cultivo. *Revista colombiana de Biotecnología*, v. 15, n. 2, 2013, p. 38-46. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v15n2.28125>
- Kuhnholz, J., Glockow, T., Siebecke, V. et al. (2024). Comparación de diferentes métodos de extracción de ficocianina de la cianobacteria *Arthrospira maxima* (*Spirulina*). *J Appl Phycol* 36: 1725-1735. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03224-y>
- Mendoza, P. & Castillo, S. (2021). Estudio sobre la viabilidad económica de la producción de espirulina en las comunidades rurales de Panamá. *Revista Economía Rural y Desarrollo Sostenible*, 15(4): 67-82.
- Raof B., Kaushik B.D., Prasanna R. (2006): Formulation of a low-cost medium for mass production of *Spirulina*. *Biomass and Bioenergy*, 30: 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.09.006>
- Wen-quin, S., Si-dong, L., Gao-rong, L., Wen-hua, W., Quing-xiang, C., Young-quiang, L., Xu, L. (2016): Investigación de los principales factores que afectan la tasa de crecimiento de la espirulina. *Optik*, 127 (16): 6688 -6694. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.04.125>